

Равномерность освещения в птичнике при низковольтном электропитании светодиодных светильников

Гладин Д.В., кандидат сельскохозяйственных наук, технический директор

ООО «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП»

Кавтарашвили А.Ш., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник – зав. лабораторией технологии производства яиц

ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук (ФНЦ «ВНИТИП» РАН)

Аннотация: Изучены физические принципы и технические основы современной организации низковольтного светодиодного освещения в птичниках. Рассмотрены технические решения обеспечения равномерности освещения в птичнике за счет сохранения одинакового светового потока низковольтных светодиодных светильников при их различной удаленности от источников питания.

Ключевые слова: низковольтные светодиодные светильники, стабилизация рабочего тока и светового потока, размеры птичников, равномерность освещенности птичников.

Внедрение светодиодных источников света многократно повышает энергоэффективность освещения на птицефабриках [1-3]. Как показала практика, сокращение расходов на электроэнергию системами светодиодного освещения в птичниках, установленными компанией «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП», за последние несколько лет в сравнении с лампами накаливания и люминесцентными светильниками, составила более 0,4 млрд. рублей в год.

Использование светодиодных светильников с питанием от источников постоянного напряжения номиналом до 50 В в отличие от ламп накаливания и люминесцентных светильников, требующих питания от сети переменного напряжения 220 В, позволяет обеспечить высокий уровень электробезопасности при эксплуатации и, особенно, при обслуживании и мойке оборудования в птичниках. Кроме того, впервые дало возможность организовать индивидуальное освещение ка-

ждой клетки с птицей, обеспечить одинаковый световой микроклимат для всего поголовья, что существенно повышает зоотехнические показатели [4-6].

Однако снижение напряжения питания приводит к пропорциональному возрастанию рабочего тока в линиях электропитания светодиодных светильников и увеличению потерь электроэнергии [7]. Показателем этого являются потери напряжения в системе электроснабжения [8, 9], в нашем случае выраженные в различии напряжения на светильниках по линии электропитания от одного источника, в зависимости от расстояния до него. Так как световой поток светодиодов зависит от проходящего через них тока, а он, в свою очередь, имеет нелинейную зависимость от напряжения на входе светильника, то в птичниках, длина которых составляет, как правило, несколько десятков, а то и сотен метров, освещенность может отличаться в несколько раз. Все это крайне

негативно сказывается на зоотехнических показателях, так как световой микроклимат для птицы совершенно отличается в разных местах птичника или в клетках.

Целью работы являлось определение рационального способа сохранения равномерности освещения в птичниках при использовании низковольтных светодиодных светильников.

Для оценки влияния использования светодиодных светильников рабочим напряжением 48 В на равномерность освещенности в птичнике необходимо рассчитать напряжение питания на входе светильников в разных местах птичника и исходя из этого оценить световой поток источников света, непосредственно влияющий на уровень освещенности.

Потери в кабеле выражаются падением напряжения, зависящим от его длины, сечения жил, электрического сопротивления материала, а также величины протекающего электрического тока.





В общем случае, при постоянном токе для определения потерь в цепи при фиксированной нагрузке можно использовать формулу, основанную на законе Ома:

$$U_{кон} = U_{нач} - (I_{общ} \times R_{каб} \times L_{общ} \times 2) \quad (1)$$

U_{кон} – напряжение на нагрузке, удаленной на длину кабеля, В;

U_{нач} – напряжение источника питания в начале цепи, В;

I_{общ} – общий рабочий ток электрической цепи, А;

R_{каб} – электрическое сопротивление токопроводящей жилы кабеля определенного сечения, Ом/м;

L_{общ} – длина проводника электрического тока (кабеля) от источника питания до нагрузки, умножение на 2 учитывает полную длину электрической цепи, м;

Сопротивление жил кабеля (*R_{каб}*) указывается в нормативных документах [10] и производителем кабельно-проводниковой продукции, при условии, что используемый кабель имеет необходимые сертификаты соответствия.

В общем случае проводник электричества (в нашем случае, электрический кабель) выступает в качестве дополнительной нагрузки. Часто производители светодиодного осветительного оборудования с напряжением питания светильников до 50 В вводят в заблуждение заказчика представляя меньшую чем на самом деле мощность светодиодных светильников без учета потерь в кабеле от источника питания до светильника, тем самым показывая не соответствующую реальным условиям эксплуатации высокую световую отдачу. Для этого достаточно использовать при расчетах значение напряжения не в начале электрической цепи у источника питания, а в ее конце у самого светильника.

Общий ток (*I_{общ}*) в линии освещения будет равен сумме рабочих токов всех светильников, его можно определить из общей мощности источников света и напряжения на выходе источника питания.

Длина проводника электрического тока (кабеля) от источника питания до нагрузки (*L_{общ}*) соответствует длине линии освещения до светильника. Для упрощения ее расчетов целесообразно создать математическую модель, в которой общая линия освещения от блока питания до любого из светильников будет разбита на два участка. Первый участок от блока питания до первого в линии светильника характеризуется максимальным током – суммой значений рабочих токов всех светильников в линии освещения. Максимальная длина первого участка в общем случае зависит от ширины птичника, так как электропроводка (серверная) с оборудованием электропитания напряжением на выходе до 50 В, как правило, находится с одной из сторон птичника. Второй участок от первого до последнего в линии светильника, характеризуется тем, что через промежутки равные расстоянию между светильниками, общий ток нагрузки в линии будет уменьшаться с кратностью равной рабочему току светильника. При этом легко показать, что эквивалентом такого участка будет длина в половину линии освещения от первого до последнего светильника с током, равным максимальному, при условии равномерного расположения источников света по всей длине птичника. Для птичника шириной *L1* и длиной *L2* максимальную протяженность линий освещения для расчета потерь при условии общего источника питания для всех светильников в ее составе можно определить по эмпирической формуле (2):

$$L_{общ} = 1,5 \times L1 + L2/2 \quad (2)$$

Для птичника размерами 18×120 метров при выносе источников питания низковольтных светодиодных светильников в щитовую (серверную), расположенную с края корпуса, при условии электроснабжения светильников в каждой линии освещения, будь то тросовая подвеска или ярус клеток вдоль всего птичника, от одного источника питания, максимальная длина для расчета составит:

$$L_{общ} = 1,5 \times 18 \text{ м} + 120 \text{ м} / 2 = 87 \text{ метров}$$

При этом напряжение в конце линии освещения на самом удаленном светильнике при общем токе 6 А и медных жилах кабеля сечением 2,5 мм² будет равно по формуле 1:

$$U_{кон} = 48 \text{ В} - (6 \text{ А} \times 0,00741 \text{ Ом/м} \times 87 \text{ м} \times 2) = 40,3 \text{ В}$$

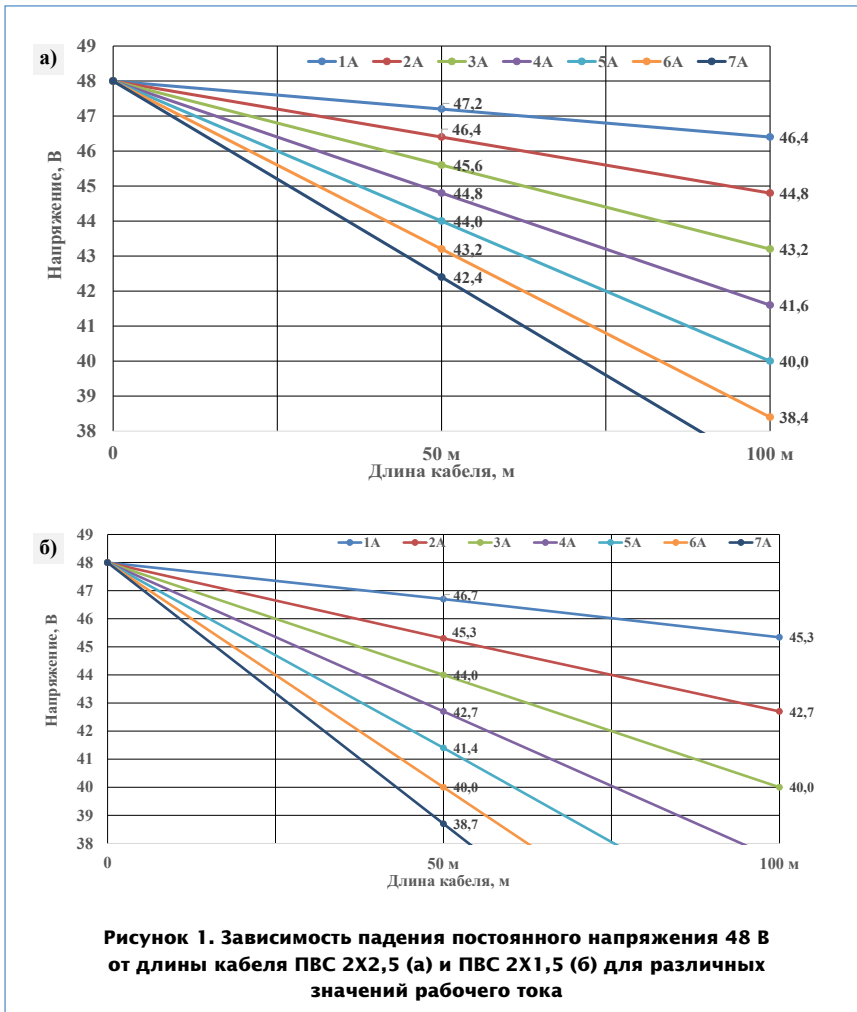
Если, как поступают некоторые производители осветительного оборудования, подключать питание не к первому ближайшему к источнику питания светильнику, а с середины линии освещения, максимальная длина составит:

$$L_{общ} = 1,5 \times 18 \text{ м} + 60 \text{ м} / 2 = 117 \text{ метров}$$

При этом напряжение в конце линии освещения на самом удаленном светильнике при общем токе 6 А и медных жилах кабеля сечением 2,5 мм² будет равно:

$$U_{кон} = 48 \text{ В} - (6 \text{ А} \times 0,00741 \text{ Ом/м} \times 117 \text{ м} \times 2) = 37,6 \text{ В}$$

Первый вариант подключения линии освещения, начиная с ближайшего к источнику питания светильника, является предпочтительным с точки зрения снижения



потерь в кабеле и обеспечения равномерности освещения. При этом максимальные потери электроэнергии для птичника 18x120 метров не превышают 15 %.

Данные о падении напряжения в зависимости от удаленности источника питания и значения электрического тока для кабеля с сечением жил 1,5 и 2,5 мм² представлены на рис. 1.

Безопасная эксплуатация и обслуживание низковольтных светодиодных светильников в птичнике сопряжена с различием рабочих напряжений на их входе, что может приводить к неравномерности освещенности в разных местах птичника. Простейшим способом снизить потери напряжения в кабеле является увеличение его сечения, при одновременном использовании более эффективных материалов, имеющих меньшее

удельное сопротивление, например, медь вместо алюминия. Однако, в этом случае стоимость кабельно-проводниковой продукции может достигать до 30-35 % в общей себестоимости системы светодиодного освещения, что увеличивает ее цену, продлевает срок окупаемости и делает ее гораздо менее привлекательной с экономической точки зрения.

Возможность сохранить одинаковый световой поток всех низковольтных светодиодных светильников в птичнике независимо от удаленности источников питания основана на технических решениях, позволяющих обеспечить одинаковый в заданных пределах рабочий ток, протекающий через светодиоды.

Простейшим и самым дешевым решением для светодиодного модуля с напряжением питания

48 В является электрическая схема, в которой регулирующим ток элементом является обычный резистор (рис.2а).

Для примера, электрическая схема состоит из 13 светодиодов LM281B+ SE с бином по падению напряжения A2 (SPMWH1228FD5WAV0SE). Используя закон Ома, электрический ток в цепи на рис.2а можно выразить формулой:

$$I_{раб} = (U_{ин} - U_{с \times 13}) / R1 \quad (3)$$

$U_{ин}$ – напряжение на входе светодиодного модуля, В;

$U_{с}$ – напряжение на каждом из 13 светодиодов, В;

$R1$ – сопротивление резистора, Ом

Исходя из напряжения на входе светодиодного модуля 48 В и вольт-амперных характеристик указанных светодиодов, найти которые можно в документации и специализированных таблицах рабочих режимов, доступных на официальном сайте «Samsung LED Co.Ltd» [11] или у официального дистрибьютора - компании ТД «НЕОН-ЭК» [12], рассчитаем номинал резистора R1 при рабочем токе 125 мА:

$$R1 = (U_{ин} - U_{с \times 13}) / I_{раб} = (48 В - 2,91 В \times 13) / 0,125 А = 82 Ом$$

Световой поток при рабочем токе 125 мА составляет 56,8 лм с каждого светодиода.

Если светильник находится в конце линии освещения для птичника 18x120 метров и напряжение на его входе будет меньше (40,3 В), упадет и рабочий ток:

$$I_{раб} = (U_{ин} - U_{с \times 13}) / R1 = (40,3 В - 2,78 В \times 13) / 82 Ом = 0,05 А$$

Световой поток каждого из светодиодов в модуле при рабо-

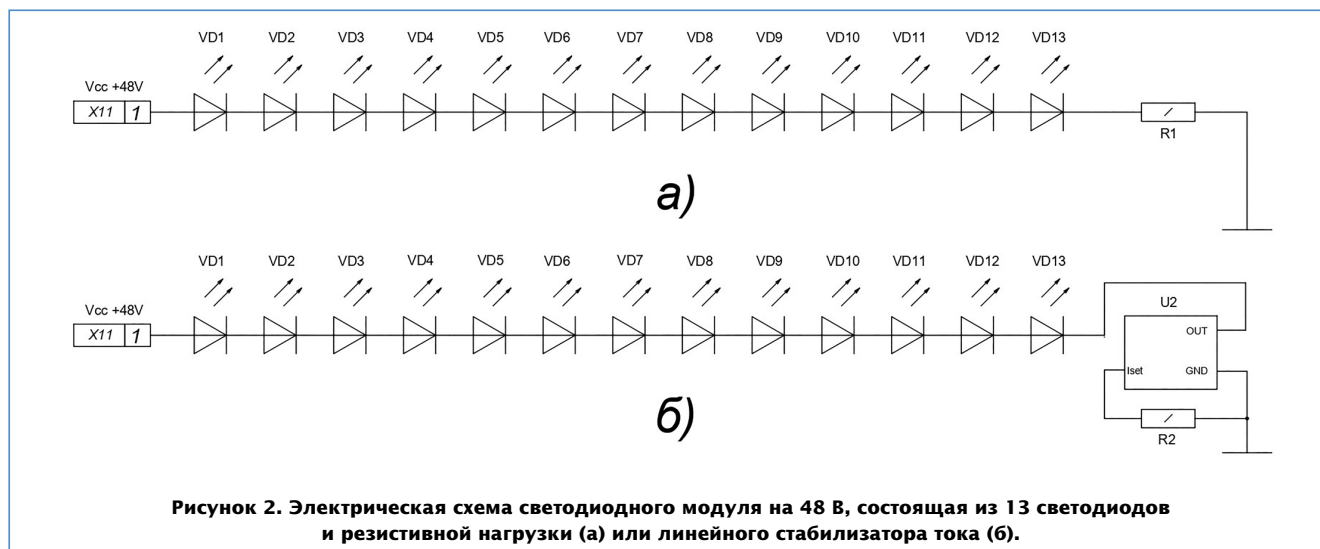


Рисунок 2. Электрическая схема светодиодного модуля на 48 В, состоящая из 13 светодиодов и резистивной нагрузки (а) или линейного стабилизатора тока (б).

чем токе 50 мА составляет 24,7 лм, что более чем в два раза меньше, чем при токе 125 мА!

Для напряжения 37,8 В на входе светильника со светодиодными модулями и резистивной нагрузкой рабочий ток уже 30 мА, а световой поток светодиодов 15,2 лм каждый:

$$I_{\text{раб}} = (37,8 \text{ В} - 2,72 \text{ В} \times 13) / 82 \text{ Ом} = 0,03 \text{ А}$$

Электрическая схема светодиодных модулей с использованием резистивной нагрузки не позволяет обеспечить одинаковый световой поток низковольтных светодиодных светильников вне зависимости от удаленности источников питания. Как показывают расчеты, освещенность может отличаться в несколько раз, а единого светового микроклимата в птичнике в этом случае не существует.

В светодиодных светильниках компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» используются технические решения, позволяющие обеспечить их стабильный световой поток в диапазоне напряжений на входе от 40 до 55 В. Для этого в электрической схеме светодиодного модуля (рис.26) используется стабилизатор тока NEO500, технические характеристики которого

можно найти на сайте поставщика - компании ТД «НЕОН-ЭК» [13]. При токе стабилизации цепи светодиодов 125 мА токозадающее сопротивление R2 имеет номинал 10 Ом, а минимальное возможное падение напряжение на стабилизаторе тока и резисторе R2 составляет 2,5 В. Для электрической схемы, состоящей из 13 светодиодов LM281B+ SE (бин по падению напряжения A2) с падением напряжения (U_c) при заданном токе 125 мА на каждом из них 2,91 В и минимальном падении напряжения (U_{cm}) на стабилизаторе тока и резисторе R2 2,5 В, минимально необходимое напряжение на входе светодиодного модуля $U_{ип}$ должно быть:

$$U_{ип} = U_{cm} + U_c \times 13 = 2,5 \text{ В} + 2,91 \text{ В} \times 13 = 40,3 \text{ В}$$

Как показано выше, минимальное напряжение на входе самого удаленного от источников питания светильника в птичнике размерами 18x120 метров составляет 40,3 В, что обеспечит рабочий ток его светодиодов 125 мА и световой поток 56,8 лм. По мере приближения светильников к источнику питания напряжение на их входе будет возрастать до 48 В. При этом на стабилизаторе тока светодиодного модуля на-

пряжение, при рабочем токе 125 мА, с учетом падения напряжения U_{R2} на резисторе R2 составит:

$$U_{cm} = U_{ип} - U_c \times 13 - U_{R2} = 48 \text{ В} - 2,91 \text{ В} \times 13 - 0,125 \text{ А} \times 10 \text{ Ом} = 8,9 \text{ В}$$

При этом рассеиваемая мощность на стабилизаторе тока:

$$P_{рст} = U_{cm} \times I_{\text{раб}} = 8,9 \text{ В} \times 0,125 \text{ А} = 1,12 \text{ Вт}$$

Такие характеристики светодиодных модулей напряжением питания 48 В позволяют обеспечить их использование в птичниках длиной до 120 метров включительно с расположением оборудования электропитания вне помещений с птицей и сохранение при этом одинакового светового потока всех светильников, а значит и равномерности освещения.

Таким образом, использование стабилизаторов тока в каждом низковольтном светодиодном светильнике, электрических кабелей сечением медных жил до 2,5 мм² включительно, позволяют специалистам компании «ТЕХНОСВЕТ ГРУПП» обеспечить равномерность освещения при высоком классе электробезопасности в птичниках длиной до 120 метров с расположением оборудо-



дования электропитания вне помещений с птицей. Кроме того, в настоящее время существуют современные технические решения, позволяющие сохранять равномерность освещения и при больших размерах корпусов с птицей.

Линейный стабилизатор тока в светодиодных светильниках рабочим напряжением 48 В позволяет использовать в птичниках относительно небольших размеров (длинной до 96 метров) кабель с меньшим, чем в схеме с резистором (рис.2а), сечением жил, что существенно снижает стоимость систем светодиодного освещения.

Не стоит забывать, что спектр излучения светодиодов в определенной степени зависит от режима их работы и стабилизация тока в каждом светильнике позволяет сохранить одинаковые оптические характеристики всех источников света в птичнике.

Следует также отметить, что стабилизатор тока в светодиодных модулях выполняет в определенных пределах и функции защиты светодиодов от превышения напряжения и перегрева.

Литература

1. Промышленное птицеводство: монография / под общей редакцией В.И. Фисинина. – Сергиев Посад, 2016. – 531 с.

2. Адаптивная ресурсосберегающая технология производства яиц: монография / В.И. Фисинин, А.Ш. Кавтарашвили, И.А. Егоров, В.С. ЛукашенкоВ.С. Буяров, О.Н. Сахно и др.; под общ. ред. В.И. Фисинина и А.Ш. Кавтарашвили. – Сергиев Посад, 2016. – 351 с.

3. Кавтарашвили А.Ш. Наставления по использованию светодиодного освещения в птицеводстве / А.Ш. Кавтарашвили, Д.В. Гладин, Е.Н. НовоторовС.В. Суwegeин, Д.В. Аншаков и др.; под общ. ред. А.Ш. Кавтарашвили и Д.В. Гладина. – Москва, 2020. – 172 с.

4. Клеточная батарея для содержания птицы: пат. № 154984 Рос. Федерация: МПК А01К31/06. / В.А. Гусев, А.В. Дубровин, И.П. Салеева, О.И. Гусева, А.Ш. Кавтарашвили, Д.В. Гладин, Е.Н. Новоторов, В.Г. Шоль; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИТИП. № 2015122846/13; заявл. 15.06.2015; опубл. 20.09.2015. 4 с.

5. Гладин Д.В. Использование светодиодных технологий в сельском хозяйстве//Полупроводниковая светотехника. 2012. № 2. С.60-65.

6. Гладин Д. Локальное светодиодное освещение для клеточного выращивания цыплят-бройлеров//Полупроводниковая светотехника. 2013. № 6. С. 54-60.

7. Справочная книга по светотехнике / Под. Ред. Ю.Б. Айзенберга. Г.В. Бооса. 4-е изд. Перераб и доп – М., 2019 – 892 с.

8. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – М. Стандартинформ, 2014. – 28 с.

9. ГОСТ Р 50571.5.52-2011/МЭК 60364-5-52:2009. Электроустановки низковольтные. Часть 5-52. Выбор и монтаж электрооборудования. – М. Стандартинформ, 2013. – 67 с.

10. ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004). Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров. – М. Стандартинформ, 2014. – 14 с.

11. Сайт компании «Samsung LED Co.Ltd» URL: <https://www.samsung.com/led/search/?q=SP-MWH1228FD5WAV0SE&category=>

12. Сайт компании ТД «НЕОН-ЭК» URL: <https://e-neon.ru/files/calculator-samsulg-led.xlsm>

13. Сайт компании ТД «НЕОН-ЭК» URL: https://e-neon.ru/catalog_files/pdf2/neo500.pdf

Для контакта с авторами:

Гладин Дмитрий Викторович

E-mail: info@ntp-ts.ru

Тел.: +7 921 255 61 51

Кавтарашвили

Алексей Шамилович

E-mail: alexk@vnitip.ru

Тел.: +7 926 319 43 82

The Uniformity of Lighting within a Poultry House with Low-Voltage Power Supply of LED Lamps

Gladin D.V.¹, Kavtarashvili A.Sh.²

¹TECHNOSVET GROUP, Ltd.; ²Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Institute of Poultry" of Russian Academy of Sciences

Summary: The physical principles and technical design of modern LED lighting systems with low-voltage power supply for poultry houses are summarized. The technical decisions providing the uniformity of lighting within a poultry house are described involving the maintenance of uniform luminous power of low-voltage LED lamps mounted at different distances from the power source.

Keywords: low-voltage light-emitting diode (LED) lamps, stabilization of operating current and luminous power, size of poultry house, uniformity of lighting within poultry house.