

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛАМП

Елена Анатольевна Высоцкая
Андрей Сергеевич Корнев
Евгений Владимирович Полковников

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

В настоящее время для всех предприятий, в том числе и сельскохозяйственных, важным вопросом охраны труда является правильная организация систем освещения производственных помещений и рабочих зон. Освещение производственных помещений оказывает влияние не только на безопасность и производительность труда рабочих, но и на продуктивность животных. Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии постоянно возрастает. Проведены экспериментальные исследования, направленные на решение проблемы организации систем освещения производственных помещений и рабочих зон сельхозпредприятий, в частности за счет внедрения энергосберегающих ламп. Исследования по проверке воздействия перепадов напряжения на лампы накаливания, люминесцентные и светодиодные лампы проводили в соответствии с действующими ГОСТами. Выявлено, что при изменении напряжения освещенность от люминесцентных и ламп накаливания меняется соответственно от –14% до 4% и от –44 до 19%. Светодиодные лампы дают стабильный световой поток независимо от понижения или повышения питающего напряжения. В программе DIALux произведен расчет количества светильников, необходимых для получения требуемой освещенности рабочей поверхности, путем построения распределения линий изолюкс (при этом учитывали коэффициенты отражения стен и пола). Использование программного обеспечения DIALux на примере коровника, расположенного на ферме КРС сельскохозяйственного предприятия «ООО Паленское», и расчет экономического эффекта позволили определить рациональный режим освещения с использованием светодиодных ламп. Определена экономия денежных ресурсов за 10 лет эксплуатации при замене ламп накаливания на светодиодные лампы, которая составит 1 422 298 руб. при освещении 70 лк и 4 053 760 руб. при освещении 200 лк.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: животноводческий комплекс, расчет, освещенность, программа DIALux, светодиодная лампа.

IMPROVING THE SYSTEM OF LIGHTING OF THE PRODUCTION FACILITIES OF AGRICULTURAL ENTERPRISES THROUGH THE USE OF ENERGY-SAVING LAMPS

Elena A. Vysotskaya
Andrey S. Kornev
Evgeniy V. Polkovnikov

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

At present all enterprises (including the agricultural ones) are facing such an important issue of labor protection as the correct organization of lighting systems of the production facilities and working areas. Illumination of the production facilities influences not only the safety and productivity of workers, but also the productivity of animals. The cost of 1 kWh of electricity has been increasing steadily. The authors have conducted experimental studies in order to solve the problem of organizing the lighting systems of the production facilities and working areas of agricultural enterprises, particularly through the introduction of energy-saving lamps. Studies in order to check the effect of voltage changes on incandescent lamps, fluorescent and LED lamps were carried out according to the current GOSTs. It was revealed that when voltage changes occurred, the illumination from fluorescent and incandescent lamps varied from -14% to 4% and from -44% to 19%, respectively. LED lamps give a stable light output regardless of decreases or increases in the supply voltage. The DIALux software was used to calculate the number of lighting fixtures necessary to obtain the required illumination of the working surface by constructing the distribution of the isolux lines (taking into account the reflection coefficients of the walls and the floor). The use of the DIALux software on the example of the barn located on the livestock farm of OOO Palenskoe agricultural enterprise and the calculation of economic effect allowed determining the rational lighting regime using LED

lamps. The authors have determined the cost savings over 10 years of operation due to replacing the incandescent lamps with LED lamps; it would amount to 1,422,298 rubles under the illumination of 70 lux and 4,053,760 rubles under the illumination of 200 lux.

KEY WORDS: livestock complex, calculation, illumination, DIALux software, LED lamp.

В настоящее время для всех предприятий, в том числе и сельскохозяйственных, важным вопросом охраны труда является правильная организация систем освещения производственных помещений и рабочих зон [1]. Функционирование производственного освещения связано с его оптимальным проектированием, с эффективностью расхода электроэнергии, а также с надежностью и продолжительностью срока службы, применяемых ламп освещения.

В сельскохозяйственной сфере расход электроэнергии на нужды освещения составляет 30–40% от общего потребления, и это связано с тем, что большой объем работ проводится в темное время суток. Основное энергопотребление приходится на животноводческий комплекс, для нужд которого используются следующие виды осветительных приборов: лампы накаливания (ЛН), компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) и светодиодные (LED) [6].

Всеобщее применение в сельском хозяйстве России получили лампы накаливания, что обусловлено таким немаловажным фактором, как низкая стоимость. На данный момент наиболее перспективным способом экономии электроэнергии является качественно спроектированное производственное освещение с последующей заменой существующих светильников – ламп накаливания на энергосберегающие лампы [4]. К тому же законом № 261-ФЗ закреплены ограничения на использование ламп накаливания свыше 95 Вт на территории РФ, вплоть до полного их запрета в ближайшем будущем.

Одной из проблем агропромышленного комплекса России является состояние и эффективность работы системы энергоснабжения [5]. Во многих хозяйствах питающие воздушные линии (ВЛ) и силовые трансформаторы находятся в неудовлетворительном и ветхом состоянии, приводящем к скачкам напряжения, что может привести к аварийности на производстве и травматизму персонала [2, 7].

В таблице 1 приведены основные технические характеристики ламп накаливания, люминесцентных и светодиодных ламп.

Таблица 1. Параметры ЛН, КЛЛ и светодиодных ламп

Характеристики	Лампа накаливания (ЛН)	Компактная люминесцентная лампа (КЛЛ)	Светодиодная лампа (LED)
КПД	4–5%	20–40%	50–70%
Срок службы	До 1000 часов	До 25 000 часов	До 50 000 часов
Экологичность	Да	Содержание паров ртути, натрия	Да
Необходимость утилизации	Не требует особых мер утилизации	Требует специальных мер утилизации	Не требует особых мер утилизации
Использование во влажных и пыльных помещениях	Возможно	Нежелательно, сокращается срок службы	Возможно
Задержка включения	Нет	Да	Нет
Частое включение и отключение питания	Сокращает срок службы	Сокращает срок службы	Не влияет на срок службы
Мерцание	Нет	Есть	Нет
Нагрев поверхности лампы	120 градусов	60 градусов	30 градусов
Виброустойчивость	Нет	Нет	Да
Техническое обслуживание	Частая замена	Умеренно частая замена	Редкая замена
Цена	Низкая	Высокая	Высокая

Для проверки воздействия перепадов напряжения на лампы накаливания, люминесцентные и светодиодные, согласно ГОСТ 32144-2013 п. 4.2.2 на кафедре безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции Воронежского государственного аграрного университета провели лабораторные исследования, в которых уменьшали и повышали питающее напряжение с 198 до 242 В, что является нижней и верхней границей предельно-допустимого напряжения от 220 В [3].

В эксперименте использовались одинаково подобранные по параметрам светового потока и цветовой температуре лампы накаливания мощностью 75 Вт, эквивалентная ей компактная люминесцентная лампа мощностью 15 Вт и светодиодная лампа мощностью 9 Вт.

Замеры освещенности производились на поверхности рабочего стола на расстоянии 65 см от светильника, закрепленного к этому столу. Для определения освещенности был использован люксметр LX 1010В.

Сводные результаты лабораторных исследований по уровню освещенности рассматриваемого ряда ламп при разных уровнях напряжения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры освещенности при разных уровнях напряжения

Тип лампы	Освещенность (Лк) при напряжении		
	198 В	220 В	242 В
Лампа накаливания 75 (Вт)	313	560	666
Компактная люминесцентная лампа 15 (Вт)	336	389	405
Светодиодная лампа 9 (Вт)	611	611	611

Исследования показали, что освещенность от ЛН и КЛЛ при снижении напряжения с 220 до 198 В падает соответственно на 44 и 14%, а при увеличении до 242 В возрастает на 19 и 4%. Освещенность рабочей поверхности при использовании светодиодных ламп не изменялась с увеличением рабочего напряжения сети с 198 до 242 В и составляла 611 Лк. Это подтверждает утверждения производителей, что используемые в светодиодных лампах драйверы стабилизируют световой поток независимо от понижения или повышения питающего напряжения.

При проектировании и расчете системы производственного освещения сельскохозяйственных помещений необходимо учитывать такие факторы, как внутренняя отделка интерьера помещения (покраска, побелка стен и потолка, цвет облицовочной плитки), от которого зависят характер отражаемой поверхности и коэффициенты отражения стен, потолка и пола.

Сегодня среди всего многообразия информационно-программных систем по расчету и проектированию освещения лидирует универсальный программный комплекс DIALux, который соответствует всем стандартам наружного и внутреннего освещения [8].

Выбор источников света и системы производственного освещения во многом определяется показателями экономической целесообразности и эффективности, учитывающая максимальную световую отдачу при сравнительно большом сроке службы [5].

Для реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности помещений сельскохозяйственной отрасли России, в соответствии с СанПиН «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» и СанПиН ОСН-АПК «Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений», используя программное обеспечение DIALux, произвели сравнительный расчёт освещения от ламп накаливания, люминесцентных ламп и светодиодных [9, 10].

Исследования проводили в коровнике, расположенном на ферме КРС сельскохозяйственного предприятия «ООО Паленское», где нами был предложен вариант замены светильников в помещении для содержания крупного рогатого скота молочного и мясного направлений. Габаритные размеры помещения 60×18 м, стены и потолок побелены известковым раствором, окна и двери окрашены белой краской. Полы – бетонные, а непосредственно под животными – деревянные. Высота подвеса светильников – 4м.

На анализируемом коровнике светильники установлены в три ряда: один ряд светильников над сквозным проходом, два других ряда непосредственно над животными или рабочей зоной обслуживающего персонала. В качестве источников освещения используются лампы накаливания со стандартным цоколем E27. Первоначальным этапом стало определение фактического уровня освещенности коровника. Освещение коровника в темное время суток недостаточно и неравномерно распределено по площади помещения. Это связано с недостаточным количеством светильников, распределенных по периметру коровника.

В качестве базового расчета освещенности и определения количества светильников для помещения примем светильник отечественного производителя Ардатовского светотехнического завода НСП17-200-001 со стандартной для промышленных помещений лампой накаливания 200 Вт и сроком службы 1000 часов.

Наиболее распространенным и простым методом расчета искусственного освещения, который применяется в инженерных расчетах, является метод светового потока. Суть метода заключается в вычислении коэффициента освещенности внутри помещений, зная основные параметры помещения и светоотражающие характеристики отделочных материалов.

В программе DIALux был произведен расчет количества светильников, необходимых для получения требуемой освещенности рабочей поверхности, путем построения распределения линий изолукс, при этом учитывали отражения стен и пола [8]. Расчет выполняется при нормативной величине освещенности 70 и 200 лк.

Расчеты количества компактных люминесцентных и светодиодных ламп проводили на примере ламп отечественной светотехнической компании «КОСМОС», характеристика которых представлена в таблице 3.

Таблица 3. Характеристика исследуемых ламп

Характеристики	LED лампа LksmHWLED40WE2765	КЛЛ SPC 85W E27 4200K T5
Рабочее напряжение	220 В	220-240 В
Мощность	40 Вт	85 Вт
Цоколь	E27	E27
Форма колбы	Цилиндр	Спираль
Цветовая температура	6500 К	4200 К
Световой поток	3500 Лм	6400 лм
Диаметр	118 мм	83 мм
Длина	218мм	250 мм
Срок службы	40 000 часов	8000 часов
Цена	782 р	531 р

Результаты расчета количества ламп для светильников со стандартным цоколем приведены в таблице 4.

На основе полученных данных (табл. 4) рассчитали экономию электрической энергии на освещение коровника и экономию денежных средств от внедрения энергосберегающих ламп. Расчетный период принимался 10 лет при работе каждого светильника 10 часов в день.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Таблица 4. Результаты расчета количества светильников для освещения коровника

Тип светильника	Вид лампы	Количество ламп, шт.
Для освещенности 70 лк		
НСП17-200-001	Лампа накаливания	45
	КЛЛ	26
	LED лампа	32
Для освещенности 200 лк		
НСП17-200-001	Лампа накаливания	128
	КЛЛ	74
	LED лампа	90

Учитывая, что за 10 лет система освещения проработает 36 500 часов, следовательно, необходимо определить количество замененных в каждом светильнике ламп за период эксплуатации и стоимость всех замененных ламп:

- ЛН в каждом светильнике: $36\ 500 / 1000 = 37$ шт.; суммарное количество при освещении 70 лк: $37 \times 45 = 1665$ шт. и при освещении 200 лк: $37 \times 128 = 4736$ шт.;

- КЛЛ в каждом светильнике: $36\ 500 / 8000 = 5$ шт.; суммарное количество при освещении 70 лк: $5 \times 26 = 130$ шт. и при освещении 200 лк: $5 \times 74 = 370$ шт.;

Примем, что затраты на ремонт светодиодных ламп освещения равны 0, так как их ресурс работы 40 000 часов, что составляет более 10 лет при работе 10 часов в день.

Расчет затрат денежных средств за период 10 лет при освещенности соответственно 70 и 200 лк представлен в таблице 5.

Таблица 5. Результаты экономического расчета для освещения коровника за 10 лет

Показатели	ЛН		КЛЛ		LED лампа	
	70	200	70	200	70	200
Освещенность, лк	70	200	70	200	70	200
Количество установленных ламп (N_n), шт.	45	128	26	74	32	90
Количество замененных ламп, шт.	1665	4736	130	370	-	-
Стоимость одной лампы, руб. с НДС	40		531		782	
Потребляемая мощность одной лампой, Вт	200		85		40	
Срок эксплуатации одной лампы, ч	1000		8000		40 000	
Стоимость 1 кВт·ч для производственного сектора экономики, руб.	4,9		4,9		4,9	
Суммарное количество электроэнергии, потребленной за расчетный период (10 лет), кВт·ч	328 500	934 400	80 665	229 585	46 720	131 400
Затраты на покупку ламп, руб.	1800	5120	13 806	39 294	25 024	70 380
Затраты на ремонт, замену и утилизацию, руб.	66 600	189 440	70 460	200 540	Не требуются затраты на замену и утилизацию	
	С учетом замены перегоревших ламп		11 руб. за 1 лампу (с учетом замены перегоревших ламп и их утилизации)			
Затраты на оплату электроэнергии за расчетный период, руб.	1 609 650	4 578 560	395 258	1 124 966,5	228 928	643 860
Общие затраты за расчетный период, руб.	1 676 250	4 768 000	465 718	1 325 506	253 952	714 240

Выводы

Экономия денежных ресурсов за 10 лет составит:

- при замене ламп накаливания на светодиодные лампы при нормативной величине освещенности 70 лк и при комфортной величине освещенности 200 лк – соответственно 1 422 298 и 4 053 760 руб.;

- при замене ламп накаливания на светодиодные лампы при нормативной величине освещенности 70 лк и при комфортной величине освещенности 200 лк – соответственно 211 766 и 3 442 494 руб.

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что для освещения помещения коровника целесообразнее всего заменить светильники со стандартными лампами накаливания на светодиодные лампы.

Применение программного обеспечения DIALux и расчет экономического эффекта позволяют определить оптимальный режим освещения с использованием светодиодных ламп для помещений сельскохозяйственного сектора народного хозяйства.

Также отметим, что правильно спроектированная и выполненная система производственного освещения способствует улучшению зрительной работы человека, снижает утомляемость, повышает безопасность и снижает травматизм.

Библиографический список

1. Абрамова Л.В. Влияние оптических свойств объектов наблюдения на степень зрительного утомления при светодиодном освещении / Л.В. Абрамова, Е.М. Гальцова // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании : сб. науч. тр. SWorld. – Саранск : Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – 2013. – № 9-2. – С. 3–5.
2. Безопасность жизнедеятельности : учеб. пособие / Е.А. Андрианов, А.В. Полуэктов, А.А. Андрианов, Е.А. Галкин ; под общ. ред. проф. Е.А. Андрианова. – Воронеж : ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. – 361 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения – Введ. 2014–07–01. – Москва : Стандаринформ, 2014. – 16 с.
4. Копейкина Т.В. Применение светодиодных осветительных приборов для освещения производственных помещений / Т.В. Копейкина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9–3. – С. 419–422.
5. Полковников Е.В. Инновационные разработки оптимизации и нормирования освещения рабочих мест в отраслях АПК / Е.В. Полковников, Е.А. Высоцкая, А.С. Корнев // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве : матер. международной науч.-практ. конф., посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, д-ра техн. наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – Ч. I. – С. 118–124.
6. Полковников Е.В. Проблема выбора осветительных ламп для производственных помещений / Е.В. Полковников, Е.А. Высоцкая, А.С. Корнев // Молодежный вектор развития аграрной науки : матер. 67-й студ. науч. конф. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – Ч. III. – С. 374–376.
7. Практикум по безопасности жизнедеятельности : учеб. пособие / Е.А. Андрианов и др. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 213 с.
8. Программное обеспечение DIALux International [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dialux-help.ru> (дата обращения: 05.01.2017).
9. СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.04.2003, постановление № 34 [с изм. от 15.03.2010] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 05.12.2017).
10. СанПиН ОСН-АПК 2.10.24.001-04. Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений. Утв. Министерством сельского хозяйства РФ от 10.11.2004 № 22 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200037961> (дата обращения: 05.12.2017).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Елена Анатольевна Высоцкая – доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-71-36, e-mail: murka1979@mail.ru.

Корнев Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, тел. 8(473) 253-71-36, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Евгений Владимирович Полковников – магистрант кафедры безопасности жизнедеятельности, механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Российская Федерация, г. Воронеж, e-mail: polkan1994@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.01.2018

Дата принятия к печати 20.02.2018

AUTHOR CREDENTIALS

Affiliations

Elena A. Vysotskaya – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-71-36, e-mail: murka1979@mail.ru.

Andrey S. Kornev – Candidate of Engineering Sciences, Senior Lecturer, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, tel. 8(473) 253-71-36, e-mail: kornev.andr@mail.ru.

Evgeniy Vladimirovich Polkovnikov – Master' Degree Student, the Dept. of Health & Safety and Mechanization of Animal Husbandry and Agricultural Products Processing, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russian Federation, Voronezh, e-mail: polkan1994@yandex.ru.

Received January 16, 2018

Accepted February 20, 2018