

# Исследование режимов работы системы «светодиодный источник света с управляемым УУ – симисторный светорегулятор»

Н.П. КОНДРАТЬЕВА<sup>1</sup>, Д.А. ФИЛАТОВ<sup>2</sup>, П.В. ТЕРЕНТЬЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, Ижевск

<sup>2</sup> Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, Нижний Новгород

E-mail: filatov\_da@inbox.ru

## Аннотация

Исследовано влияние светорегулятора («диммера») на работу источника света и электромагнитную совместимость управляемой системы освещения (УСО). Установлено, что при снижении активной мощности источника света  $P$  снижаются его световой поток и температура нагрева колбы, снижается коэффициент мощности и повышается токовый коэффициент нелинейных искажений УСО. Изменения носят нелинейный характер. Получены математические описания зависимостей этих параметров от  $P$ . Сделан вывод,

что при использовании светорегулятора, вместе с возможностью экономии электроэнергии и повышения срока службы УСО, ухудшаются качество электроэнергии и электромагнитная совместимость УСО. Кроме того, показано, что изменения напряжения электропитания влияют на характеристики УСО, особенно его понижение. Сильнее всего это сказывается на световом потоке и температуре нагрева источника света, а также на коэффициенте мощности УСО при значениях  $P$  25 и 50 % от номинального значения  $P_{\text{ном}}$ , и на токовом коэффициенте нелинейных искажений при  $P$  75 и 100 % от  $P_{\text{ном}}$ .

Рис. 1. Электротехнический комплекс для исследования УСО «СД ИС – светорегулятор»

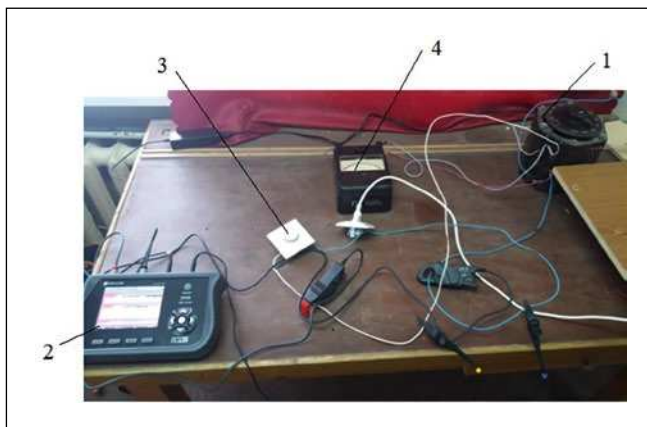
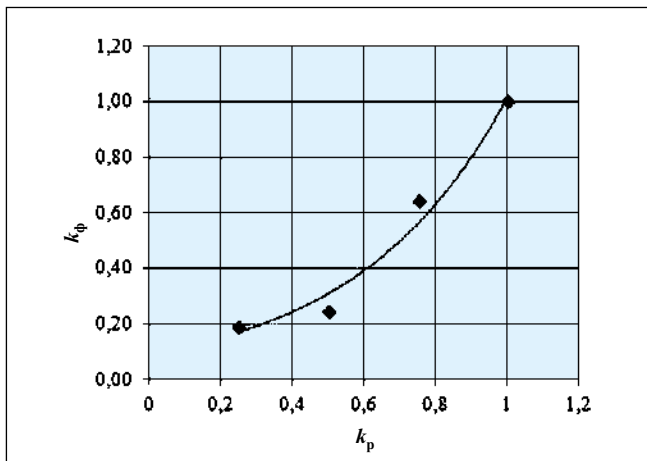


Рис. 2. Зависимость  $k_{\Phi}$  от  $k_p$



**Ключевые слова:** симисторный светорегулятор, светодиодный источник света, управляющее устройство (УУ), управляемое УУ.

## Введение

В России на освещение расходуется 10 % от всей производимой в стране электрической энергии [1]<sup>1</sup>. Рост тарифов на электроэнергию оставляет актуальным вопрос энергосбережения и переход на более энергоэффективные технологии в освещении. Сегодня всё активнее внедряются светодиодные (СД) источники света (ИС), одно из преимуществ которых – лёгкость в управлении. Последнее осуществляется по таким параметрам, как время работы и уровень освещения. Время работы управляется реле времени, а уровень освещения – светорегулятором («диммером»). Анализ работ по управляемым системам освещения (УСО) [2–7] показал их направленность на разработку конфигураций или отдельных элементов и повышение экономической эффективности таких систем. Исследования по влиянию светорегуляторов на работу ИС и электромагнитную совместимость (ЭМС)<sup>2</sup> УСО практически отсутствуют, и поэтому задача определения влияния светорегуляторов на работу ИС и ЭМС УСО является актуальной.

<sup>1</sup> По ряду других источников, до 15–20 %. – Прим. ред.

<sup>2</sup> ЭМС технических средств – их способность функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) другим техническим средствам [8]. Уровень ЭМС в системе электроснабжения – регламентированный уровень кондуктивной ЭМП, используемый в качестве опорного для координации между допустимым уровнем помех, вносимым техническими средствами пользователей электрических сетей, и уровнем помех, воспринимаемым техническими средствами, подключёнными к электрической сети, без нарушения их нормального функционирования. Кондуктивная ЭМП – это электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам электрической сети [9]. Кондуктивные ЭМП могут ухудшать качество функционирования устройств, электроустановок или систем или вызывать их повреждение [10,11].

Исследование УСО «СД ИС – светорегулятор» проводилось в лаборатории «Светотехника» Нижегородской ГСХА с использованием электротехнического комплекса (рис. 1), содержащего ЛАТР РНО-250–2-М 1, анализатор качества электроэнергии AR-6 фирмы Circutor 2, светорегулятор поворотный ВСП-10–1–0 фирмы IEK 3, вольтметр 4, пульсметр-люксметр ТКА-ПКМ 08 и СД ИС (лампа) PLED-DIM A60 фирмы JazzWay, с возможностью светорегулирования. Мощность светорегулятора – до 400 Вт. Диапазон светорегулирования СД ИС – (25–100)%. Регулирование потребляемой активной мощности ИС  $P$  было четырёхступенчатым:  $P = K_p \cdot P_{ном}$ , где  $P_{ном}$  – номинальная  $P$ , а  $K_p = 0,25, 0,5, 0,75$  и  $1,0$ .

Результаты и обсуждение

Исследуемыми параметрами УСО являлись световой поток ИС  $\Phi_v$ , температура нагрева колбы ИС  $T$ , коэффициент мощности УСО  $K_M$ , токочный коэффициент нелинейных искажений УСО  $THDi$  и коэффициент пульсации светового потока ИС  $K_{II}$ .

Результаты исследования зависимости этих величин – в виде долей ( $k_\Phi, k_T, k_M, k_{THDi}$  и  $k_{II}$ ) их номинальных значений ( $\Phi_{v, ном}, T_{ном}, K_{M, ном}, THDi_{ном}$  и  $K_{II, ном}$ ) – от  $P$  – в виде доли ( $k_p$ ) её номинального значения ( $P_{ном}$ ) – приведены на рис. 2–6.

Эти зависимости носят нелинейный характер и могут быть описаны математически с помощью программы «MS Excel»:

$$k_\Phi = \Phi_v / \Phi_{v, ном} \approx a \cdot \exp(b \cdot k_p), \quad (1)$$

$$k_T = T / T_{ном} \approx a \cdot k_p^2 + b \cdot k_p + c, \quad (2)$$

$$k_M = K_M / K_{M, ном} \approx a \cdot \ln(k_p) + b, \quad (3)$$

$$k_{THDi} = THDi / THDi_{ном} \approx a \cdot k_p^2 + b \cdot k_p + c, \quad (4)$$

$$k_{II} = K_{II} / K_{II, ном} \approx a \cdot k_p^2 + b \cdot k_p + c, \quad (5)$$

где  $a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от конкретного типа ИС, значения которых в этих выражениях для данно-

Значения коэффициентов в выражениях

Выражение	$a$	$b$	$c$
1	0,095	2,3689	–
2	0,3272	0,2889	0,4014
3	0,1201	1,0135	–
4	– 5,2989	4,5236	1,8197
5	– 1,5888	1,7897	0,8236

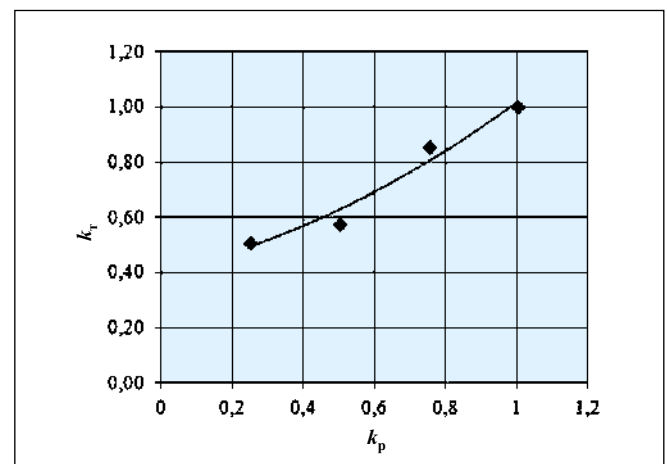
Таблица 2

Результаты абсолютных измерений характеристик

$P, Вт$	$K_M$	$THDi, \%$	$E^*, лк$	$K_{II}, \%$	$T, ^\circ C$
$U = U_{ном} 220 В$					
3	0,84	92,7	50,2	25,6	41,9
6	0,94	91,3	65,4	26,7	47,1
9	0,99	82,3	171,3	28,8	70
12	1	34,8	266	21,4	81,9
$U 198 В$					
3	0,66	91,9	20,9	22	40,2
6	0,88	90,9	47,9	25,2	46,2
9	0,99	78,3	150,7	27,5	69,3
12	1	29,2	266	20,9	81,9
$U 242 В$					
3	0,9	93	63,5	26,7	43,6
6	0,97	92,1	80	27,2	48,1
9	0,99	86,7	187	29,7	70,7
12	0,9	40	266	21,1	82

\* Максимальная освещённость на расстоянии 0,8 м от ИС (её уровень соответствует уровню  $\Phi_v$ ).

Рис. 3. Зависимость  $k_T$  от  $k_p$



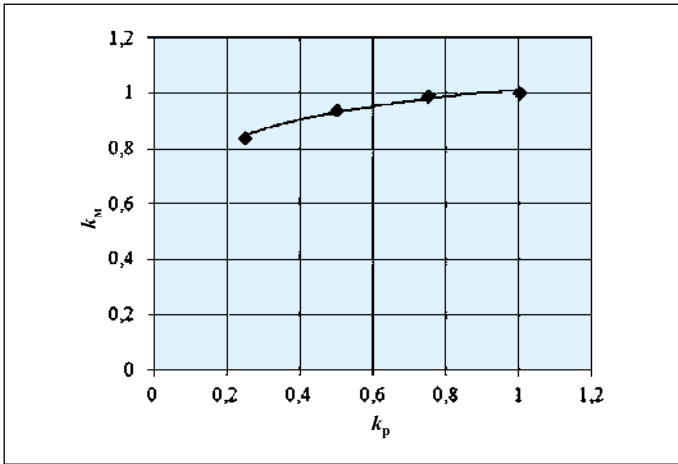


Рис. 4. Зависимость  $k_M$  от  $k_p$

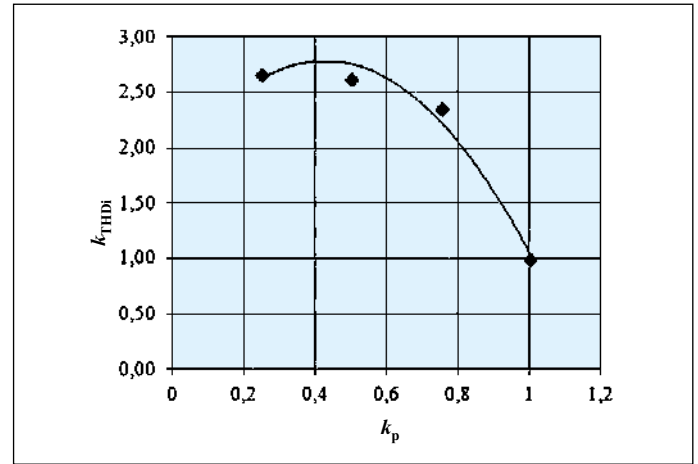


Рис. 5. Зависимость  $k_{TNDi}$  от  $k_p$

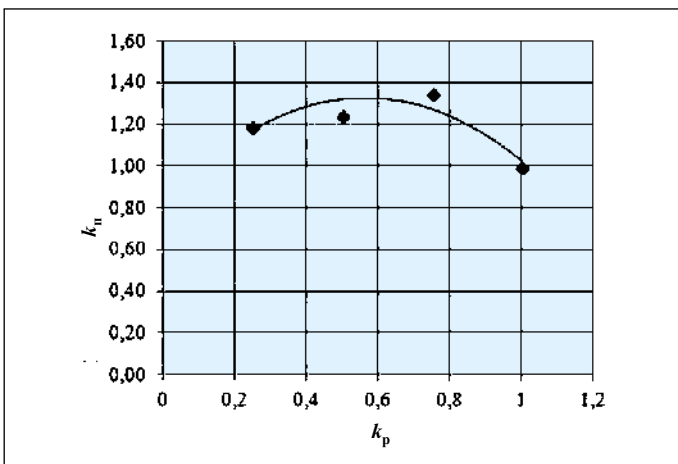


Рис. 6. Зависимость  $k_n$  от  $k_p$

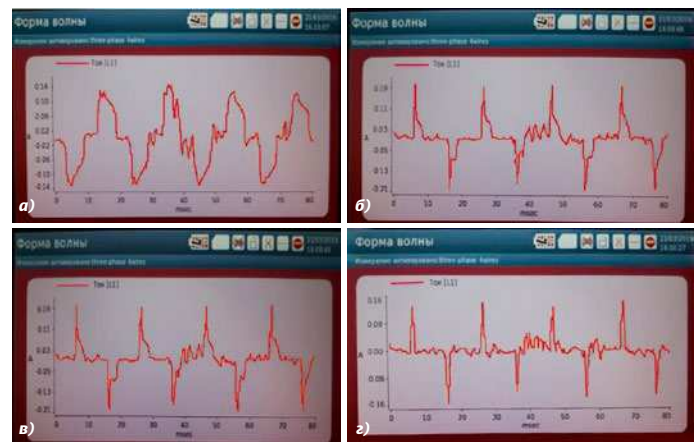


Рис. 7. Осциллограммы тока УСО при  $k_p = 1,0$  (а),  $0,75$  (б),  $0,5$  (в) и  $0,25$  (г)

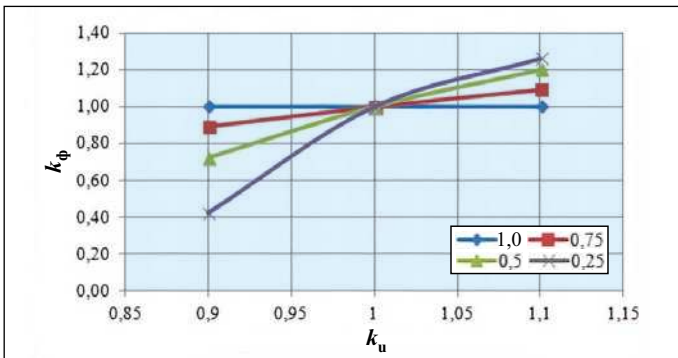


Рис. 8. Зависимость  $k_\phi$  от  $k_u$  при  $k_p = 1,0, 0,75, 0,5$  и  $0,25$

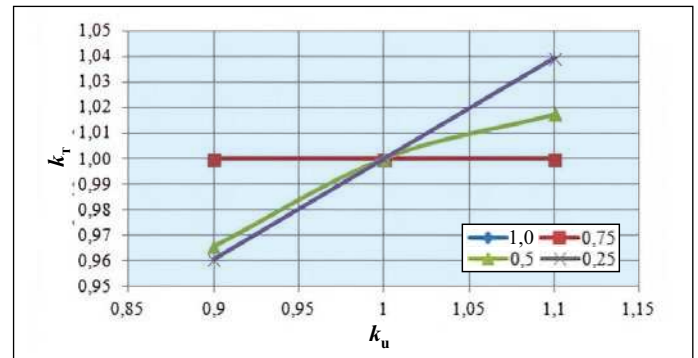


Рис. 9. Зависимость  $k_T$  от  $k_u$  при  $k_p = 1,0, 0,75, 0,5$  и  $0,25$

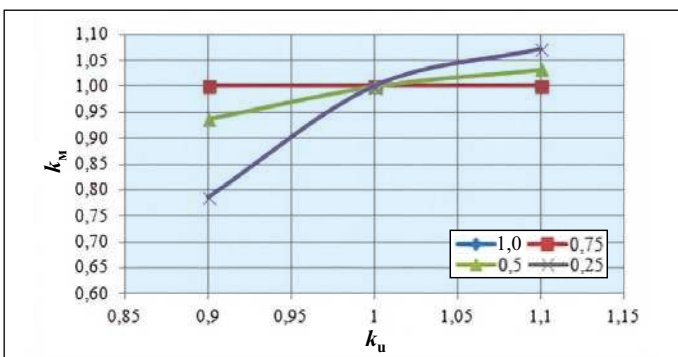


Рис. 10. Зависимость  $k_M$  от  $k_u$  при  $k_p = 1,0, 0,75, 0,5$  и  $0,25$

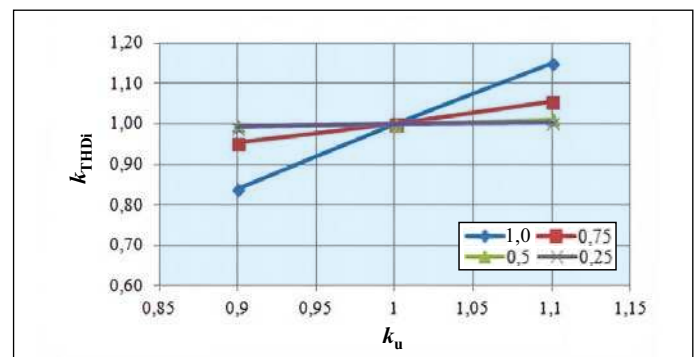
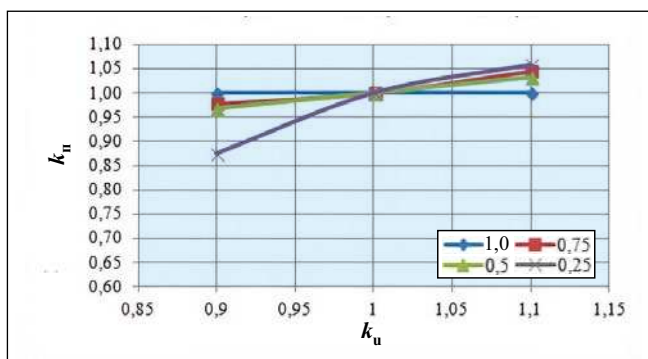


Рис. 11. Зависимость  $k_{TNDi}$  от  $k_u$  при  $k_p = 1,0, 0,75, 0,5$  и  $0,25$

Рис. 12. Зависимость  $k_{п}$  от  $k_u$  при  $k_p = 1,0, 0,75, 0,5$  и  $0,25$



го исследованного СД ИС приведены в табл. 1.

Отдельно заметим, что пониженные  $k_p$  и соответствующее повышение  $k_{THDi}$  (рис. 5) снижают качество электроэнергии (рис. 7).

Одними из главных показателей этого качества, характеризующих ЭМС, являются медленные изменения напряжения электропитания  $U$ . Согласно ГОСТ [9], допустимы отклонения  $U$  на границе балансовой принадлежности  $\pm 10\%$  от его номинального уровня  $U_{ном}$ .

Исследования показали отсутствие влияния  $U$  на  $\Phi_v$ ,  $T$  и  $K_M$  в случае СД ИС без светорегулятора.

Результаты подобных исследований УСО со светорегулятором в виде зависимостей  $k_{\Phi}$ ,  $k_T$ ,  $k_M$ ,  $k_{THDi}$  и  $k_{п}$  от  $k_u$ , где  $k_u = U/U_{ном}$ , приведены на рис. 8–12 (для четырёх значений  $k_p$ ).

Соответствующие общие результаты измерений в абсолютных единицах приведены в табл. 2.

## Заключение

Проведённые исследования показали, что симисторный светорегулятор влияет на работу УСО с СД ИС.

При этом при снижении  $P$  снижаются  $\Phi_v$ ,  $T$  и  $K_M$  и повышаются  $THDi$  и  $K_{п}$ . Эти изменения нелинейны. Получены математические описания зависимостей  $\Phi_v$ ,  $T$ ,  $K_M$ ,  $THDi$  и  $K_{п}$  от  $P$ . Можно заключить, что использование светорегулятора («диммера»), наряду с возможностью экономии электроэнергии и увеличения срока службы УСО, даёт снижение качества электроэнергии и повышение  $K_{п}$ .

Исследование влияния изменения  $U$  на характеристики УСО показало нежелательность пониженных уровней  $U$ . При  $k_p = 0,25$  и  $0,5$  это сильнее всего влияет на  $\Phi_v$ ,  $T$ ,  $K_M$  и  $K_{п}$ , а при  $k_p = 0,75$  и  $1,0$  – на  $THDi$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин Г.Я., Солнцев Е.Б., Малафеев О.Ю. Оценка характеристик систем освещения в России // Вестник Самарского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – № 3 (51). – С. 78–86.
2. Николаев П.Л. Архитектура интегрированной в облачную среду системы управления умным домом // Программные продукты и системы. – 2015. – № 2 (110). – С. 65–69.
3. Галлиулин Р.Р., Каримов И.И. Эффективность использования светодиодных светильников в тепличных хозяйствах // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 1. – С. 34–39.
4. Степанчук Г.В., Юдаев И.В., Жарков А.В. Энергоэффективная система облечения в теплице // Технологии, средства механизации и энергетическое оборудование. – 2016. – № 1 (33). – С. 5–12.
5. Минаев И.Г., Молчанов А.Г., Самойленко В.В. Энергосберегающая система управления источниками оптического облучения в теплицах / Материалы региональной научно-практической конференции «Инновационные разработки молодых учёных Юга России». – Ставрополь: Ставропольский науч.-исслед. ин-т животноводства и кормопроизводства, 2012. – С. 37–40.
6. Асонова М.Л., Ольховой А.А., Ильин С.В. Энергосберегающие технологии для систем освещения промышленных теплиц // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2014. – № 17. – С. 456–459.
7. Плотников В.В., Кураמיшина Л.Ф., Вахитов А.Р. Некоторые аспекты проектирования систем управления светом // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 4, С. 235–239.
8. ГОСТ Р 50397–2011 «Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения».
9. ГОСТ 32144–2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
10. Кондратьева Н.П., Терентьев П.В., Филатов Д.А. Сравнительный экспериментальный анализ по электромагнитной совме-

стимости разрядных и светодиодных искусственных источников света для растениеводства // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 12 (91). – С. 39–49.

11. Кондратьева Н.П., Филатов Д.А., Терентьев П.В. Выбор кабельных линий 0,4 кВ для тепличных комбинатов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2019. – № 2 (35). – С. 17–25.



**Кондратьева Надежда Петровна**, доктор техн. наук, профессор. Окончила в 1978 г. Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. Зав. кафедрой «Автоматизированный электропривод» Ижевской государственной сельскохозяйственной академии (ИжГСХА). Имеет свою научную школу в области сельскохозяйственной светотехники и занимается разработкой энергосберегающих световых технологий для предприятий АПК. Имеет звание «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»



**Филатов Дмитрий Алексеевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 2009 г. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Доцент кафедры «Механизация жи-

вотноводства и электрификация сельского хозяйства» Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов: источники света, электромагнитная совместимость, качество электроэнергии



**Терентьев Павел Валерьевич**, кандидат техн. наук. Окончил в 2009 г. Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Доцент кафедры «Механизация жи-

вотноводства и электрификация сельского хозяйства» Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. Область научных интересов: источники света, электромагнитная совместимость, качество электроэнергии