

УДК 621.321

П.В. Терентьев, Д.А. Филатов, М.А. Плаксин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСКУССТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

В настоящее время как в России, так и за рубежом, активно проводятся исследования светильников наружного освещения. В статье рассматривается взаимное влияние источников света и электрических сетей для оценки нормального функционирования и энергоэффективной работы при замене источников наружного освещения. Объект исследования – светильники наружного освещения с газоразрядными источниками света (с лампой ДРЛ и с лампой ДНаТ) и светодиодные светильники. Для исследований использованы: линейный автотрансформатор регулируемый РНО-250-2-М, анализатор качества электроэнергии Circutor AR-5L, люксметр Testo 545. В результате получены математические выражения изменения фактических параметров светильников при изменении уровня питающего напряжения. Получены суммарные коэффициенты гармонических составляющих тока. При изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{ном}$ для светильников с лампой ДРЛ и ДНаТ изменяется величина активной мощности тока и светового потока. Потребляемая активная мощность и световой поток светодиодных светильников остаются неизменными и равными номинальным значениям; однако суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодных светильников больше, чем у светильников с разрядными лампами. Связанные с этим возможные негативные эффекты для работы питающих электросетей требуют дальнейших исследований.

Ключевые слова: гармоники тока, изменение уровня напряжения, светодиодные светильники, светильники с разрядными лампами.

1. Введение

Потребление электроэнергии сельским хозяйством по разным оценкам составляет 15,3...16 млрд кВт·ч, из которых на долю освещения приходится 15 % [1, 2]. При этом затраты по оплате электроэнергии на наружное освещение ложатся на муниципальные органы власти. В настоящее время в ряде районов Нижегородской области постепенно идет модернизация уличного освещения на селе. Однако сельские электрические сети характеризуются физическим старением и низким качеством электроэнергии [3-5], которое может негативно влиять на нормальное функционирование осветительных установок и снижать эффективность их работы. В на-

стоящее время как в России, так и за рубежом проводятся исследования светильников наружного освещения [6-10]. Однако, мы полагаем, что этих исследований недостаточно. Целью настоящей работы является изучение взаимного влияния источников света и электрических сетей для оценки нормального функционирования и энергоэффективной работы при модернизации действующих источников наружного освещения.

II. Материалы и методы

В настоящее время в качестве источников света для наружного освещения сельских территорий преобладают светильники с лампами ДРЛ. Модернизация систем освещения сводится к замене светильников с лампами ДРЛ на светильники с лампами ДНаТ или на светодиодные светильники. Объект исследования – светильники наружного освещения с газоразрядными источниками света (с лампой ДРЛ и с лампой ДНаТ) и светодиодные светильники.

Исследования взаимного влияния источников света и электрических сетей проводились в лаборатории «Светотехника» НГСХА. Для исследований использовано следующее оборудование: амперметр, вольтметр, ваттметр, линейный автотрансформатор (ЛАТР), анализатор качества электроэнергии. Регулировка питающего напряжения для источника света осуществлялась линейным автотрансформатором. Показания снимались анализатором качества электроэнергии AR-5L. Контролировались параметры тока, питающего напряжения, потребляемой мощности амперметром, вольтметром, ваттметром и варметром соответственно.

III. Результаты

Для исключения непроизводительных затрат электроэнергии необходимо, чтобы источники света после включения в течение минимально возможного времени выходили на номинальный режим.

На рис. 1 представлены результаты замера выхода на номинальный режим светильника РКУ с лампой ДРЛ. Общее время выхода светильника РКУ с лампой ДРЛ на номинальный режим при номинальном потреблении электроэнергии составляет 180 с (0,05 ч). При этом резкий набор светового потока осуществляется через 60 с после пуска. При годовом среднесуточном режиме работы источника света 10 ч непроизводительные затраты составляют 0,5 % от годового потребления электроэнергии.

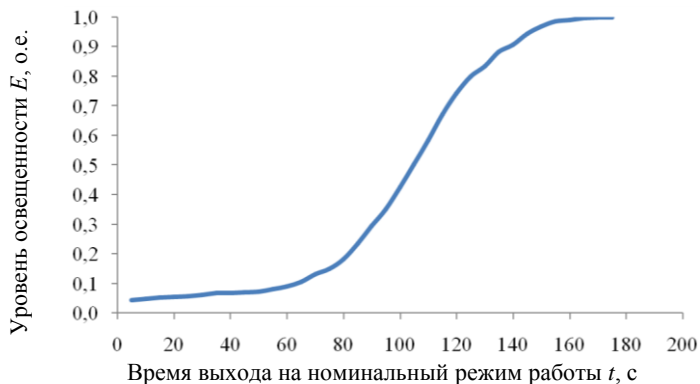


Рис. 1. Зависимость выхода светильника с лампой ДРЛ на номинальный режим от времени

На рис. 2 представлены результаты замера выхода на номинальный режим светильника ЖКУ с лампой ДНаТ. Общее время выхода светильника ЖКУ с лампой ДНаТ на номинальный режим при номинальном потреблении электроэнергии составляет 800 с (0,22 ч). При годовом среднесуточном режиме работы источника света 10 ч непроизводительные затраты составляют 2,2 % от годового потребления электроэнергии.

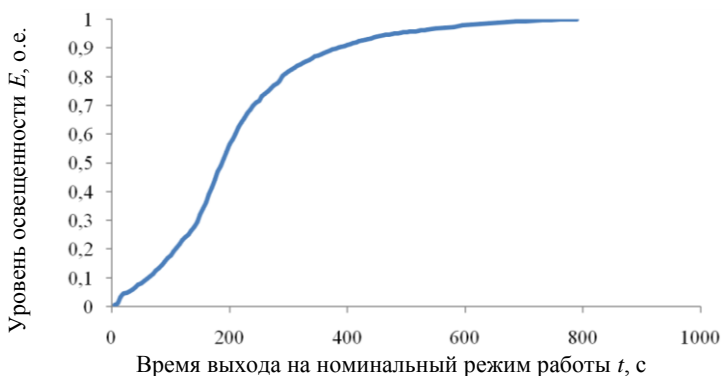


Рис. 2. Зависимость выхода светильника с лампой ДНаТ на номинальный режим от времени

На рис. 3 представлены результаты замера выхода на номинальный режим светодиодного светильника. Выход светодиодного светильника PRO STREET 100 на номинальный, т.е., заявленный производителем ре-

жим, при номинальном потреблении электроэнергии происходит мгновенно. Однако при эксплуатации световой поток за 120 мин падает до $0,956 \cdot E_{\text{ном}}$, а затем стабилизируется. При годовом среднесуточном режиме работы источника света 10 ч непроизводительные затраты составляют 4,4 % от годового потребления электроэнергии.

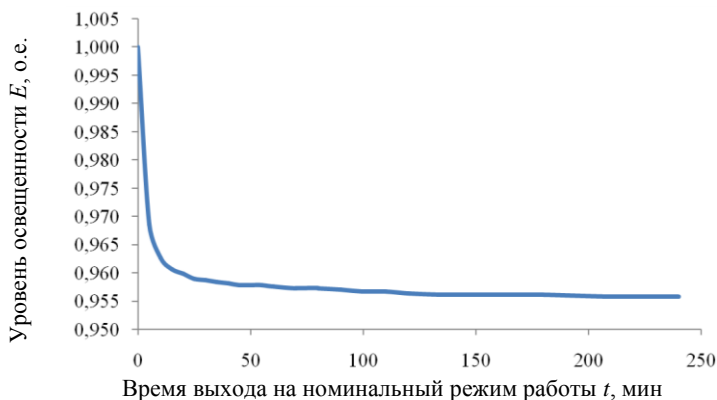


Рис. 3. Зависимость выхода светодиодного светильника на номинальный режим от времени

Необходимо отметить, что потребление мощности светильником с лампой при номинальном режиме может отличаться от номинальной мощности лампы. Это обусловлено дополнительными потерями в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА) осветительных приборов. Результаты замеров показали, что дополнительные потери в светильниках с лампами ДРЛ составили 9 % от номинальной мощности лампы, в светильниках с лампами ДНаТ – 17 %, в светодиодных светильниках – 0 %.

Сельские электрические сети характеризуются низким качеством электроэнергии. Общий диапазон изменения напряжения колеблется в интервале 15-20 % от номинального значения. Проведены исследования влияния изменения уровня питающего напряжения на параметры источников света. На рис. 4-12 точками показаны результаты исследований, сплошной линией – линия тренда.

На рис. 4 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на активную мощность светильника с лампой ДРЛ. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ мощность снижается на 25,3 %. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ мощность увеличивается на 27,9 %. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения

фактического потребления активной мощности $P_{\text{ф. дрл}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$P_{\text{ф. дрл}} = P_{\text{ном}} \cdot (2,6 \cdot K_U - 1,6);$$

$$R^2 = 9981, \quad (1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальное потребление активной мощности, Вт; $K_U = K_{\text{ф}} / K_{\text{ном}}$ – изменение уровня питающего напряжения, о.е.

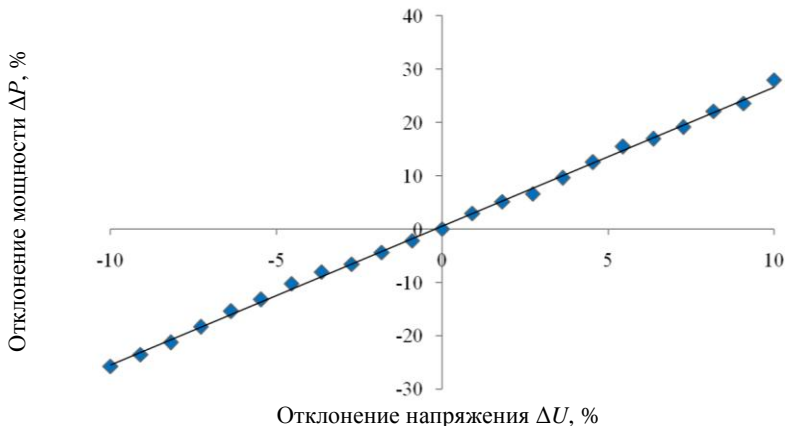


Рис. 4. Зависимость потребления активной мощности светильника с лампой ДРЛ от изменения уровня питающего напряжения

Увеличение мощности при увеличении напряжения сопровождается увеличением тока, а при уменьшении напряжения – уменьшением тока. На рис. 5 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светильника с лампой ДРЛ. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ величина тока снижается на 23,7 %. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ потребление электроэнергии увеличивается на 22,2 %. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения величины тока $I_{\text{ф. дрл}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$I_{\text{ф. дрл}} = I_{\text{ном}} \cdot (2,23 \cdot K_U - 1,23);$$

$$R^2 = 9974, \quad (2)$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток, А.

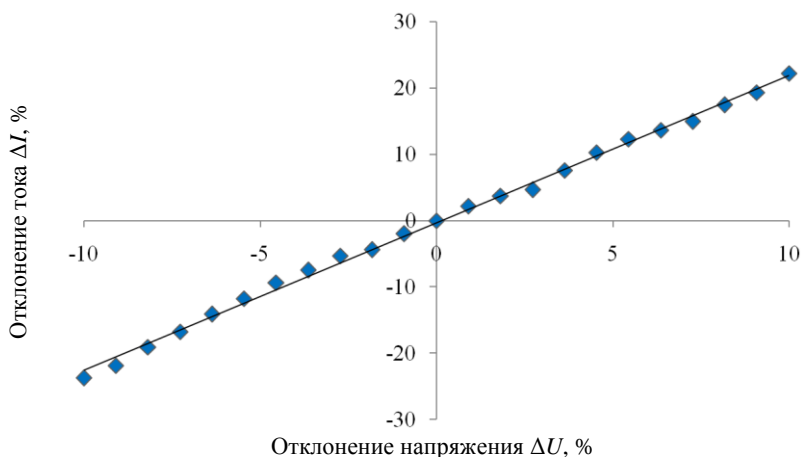


Рис. 5. Зависимость уровня тока светильника с лампой ДРЛ от изменения уровня питающего напряжения

На рис. 6 представлены результаты исследования изменения уровня питающего напряжения на активную мощность светильника с лампой ДНаТ. При напряжении $0,9 \cdot P_{\text{ном}}$ мощность снижается на 20,6 %. При напряжении $1,1 \cdot P_{\text{ном}}$ мощность увеличивается на 26,7 %. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения фактического потребления активной мощности $P_{\text{ф.днат}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$P_{\text{ф.днат}} = P_{\text{ном}} \cdot (2,42 \cdot K_U - 1,42);$$

$$R^2 = 9948. \quad (3)$$

Увеличение мощности при увеличении напряжения сопровождается увеличением тока, а при уменьшении напряжения – уменьшением тока. На рис. 7 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светильника с лампой ДНаТ. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ величина тока снижается на 13,9 %. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ потребление электроэнергии увеличивается на 6,9 %. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения величины тока $I_{\text{ф.днат}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$I_{\text{ф.днат}} = I_{\text{ном}} \cdot (0,93 \cdot K_U + 0,07);$$

$$R^2 = 9616. \quad (4)$$

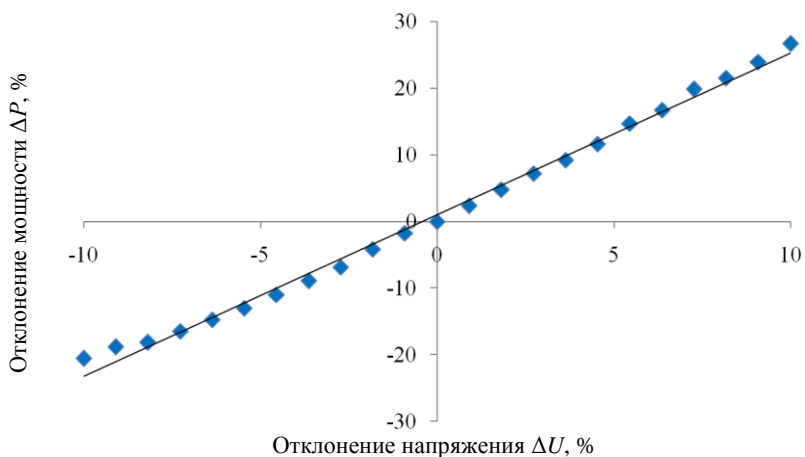


Рис. 6. Зависимость потребления активной мощности светильника с лампой ДНаТ от изменения уровня питающего напряжения

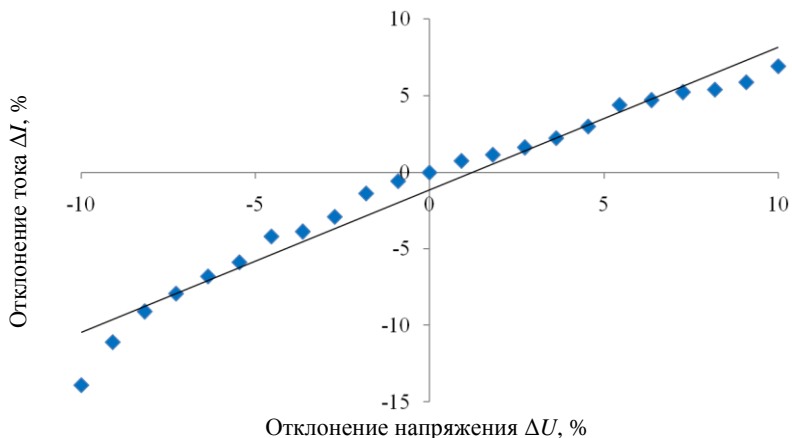


Рис. 7. Зависимость уровня тока светильника с лампой ДНаТ от изменения уровня питающего напряжения

Проведенные исследования показали, что потребляемая активная мощность для светодиодных светильников остается неизменной и равной номинальному значению при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{\text{ном}}$. Стабилизация параметров происходит главным образом за

счет изменения величины тока. На рис. 8 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светодиодного светильника PRO STREET 100. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ величина тока $1,09 \cdot I_{\text{ном}}$. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ величина тока $0,93 \cdot I_{\text{ном}}$.

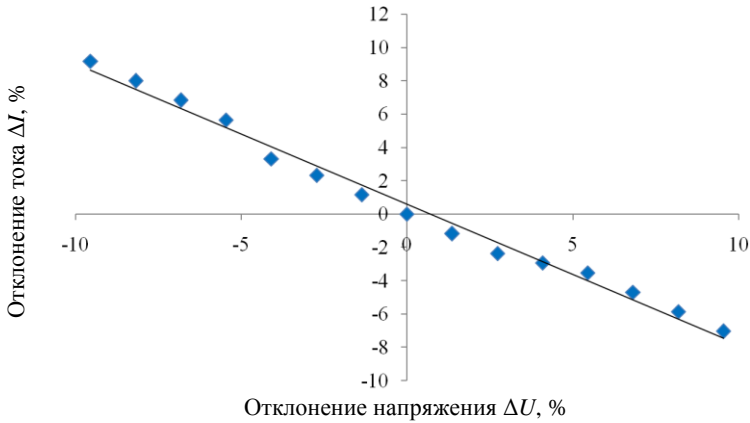


Рис. 8. Зависимость уровня тока светодиодного светильника PRO STREET 100 от изменения уровня питающего напряжения

На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения величины тока $I_{\text{ф.днат}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$I_{\text{ф.лед}} = I_{\text{ном}} \cdot (-0,84 \cdot K_U + 1,84); \quad (5)$$

$$R^2 = 9889.$$

Проведены исследования по влиянию изменения питающего напряжения на световой поток источников света. На рис. 9 представлены результаты влияния изменения уровня питающего напряжения на световой поток светильника с лампой ДРЛ. При напряжении $0,9 \cdot P_{\text{ном}}$ световой поток снижается на 31,7 %. При напряжении $1,1 \cdot P_{\text{ном}}$ световой поток увеличивается на 29,9 %. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения фактического светового потока $F_{\text{ф.дрл}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$F_{\text{ф.дрл}} = F_{\text{ном}} \cdot (3,07 \cdot K_U - 2,07); \quad (6)$$

$$R^2 = 9997.$$

На рис. 10 представлены результаты влияния изменения уровня питающего напряжения на световой поток светильника с лампой ДНаТ. При напряжении $0,9 \cdot P_{\text{ном}}$ световой поток снижается на 19,4 %. При напряжении $1,1 \cdot P_{\text{ном}}$ световой поток увеличивается на 34,4 %. Получено математическое выражение изменения $F_{\text{ф.днат}}$ при изменении питающего напряжения:

$$F_{\text{ф.днат}} = F_{\text{ном}} \cdot (2,67 \cdot K_U - 1,67);$$

$$R^2 = 9719. \quad (7)$$

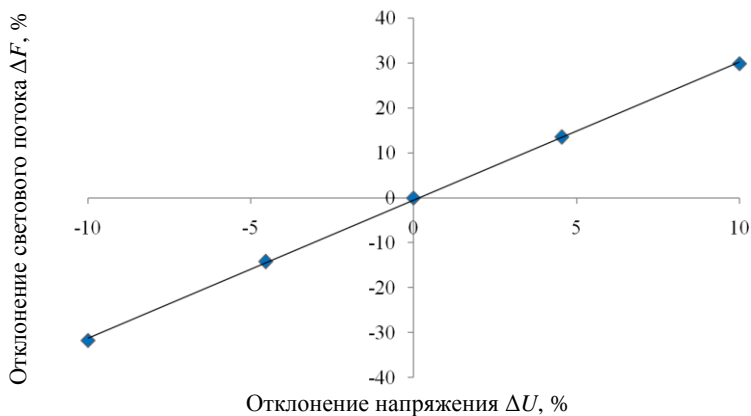


Рис. 9. Зависимость светового потока светильника с лампой ДРЛ от изменения уровня питающего напряжения

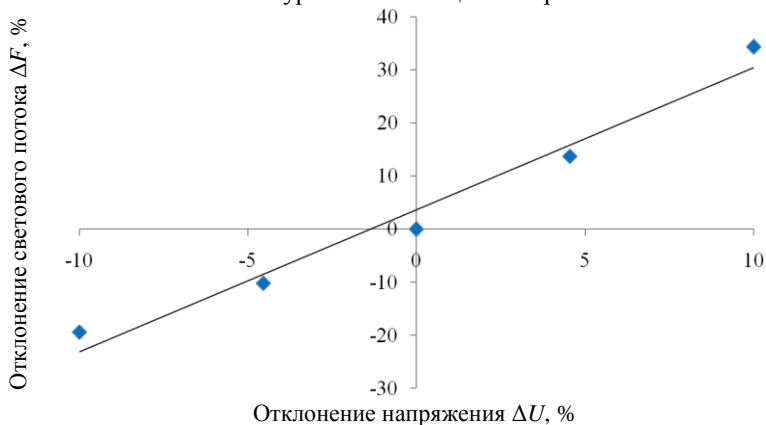


Рис. 10. Зависимость светового потока светильника с лампой ДНаТ от изменения уровня питающего напряжения

Проведенные исследования показали, что световой поток для светодиодных светильников остается неизменным и равным номинальному значению при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{\text{ном}}$.

Проведены исследования по влиянию изменения питающего напряжения на коэффициент мощности источников света. На рис. 11 представлены результаты влияния изменения уровня питающего напряжения на коэффициент мощности светильника с лампой ДРЛ. При напряжении $0,9 \cdot P_{\text{ном}}$ коэффициент мощности увеличивается на $8,9\%$. При напряжении $1,1 \cdot P_{\text{ном}}$ коэффициент мощности уменьшается на $5,41\%$. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения коэффициента мощности $\cos\varphi_{\text{ф.дрл}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$\cos\varphi_{\text{ф.дрл}} = \cos\varphi_{\text{ном}} \cdot (-0,67 \cdot K_U + 1,67); \quad (8)$$

$$R^2 = 9798.$$

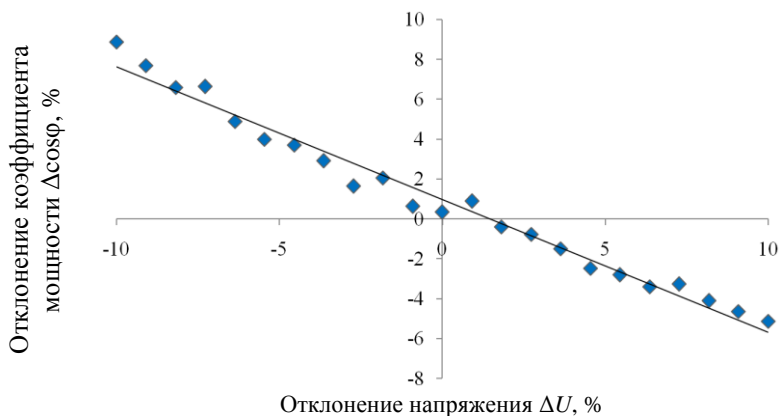


Рис. 11. Зависимость коэффициент мощности светильника с лампой ДРЛ от изменения уровня питающего напряжения

На рис. 12 представлены результаты влияния изменения уровня питающего напряжения на коэффициент мощности светильника с лампой ДНаТ. При напряжении $0,95 \cdot P_{\text{ном}}$ коэффициент мощности уменьшается на 1% , а при напряжении менее $0,95 \cdot P_{\text{ном}}$ коэффициент мощности возрастает. При напряжении $1,1 \cdot P_{\text{ном}}$ коэффициент мощности увеличивается на $7,8\%$. На основании результатов исследования получено математическое выражение изменения коэффициента мощности $\cos\varphi_{\text{ф.днат}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$\cos \varphi_{\text{ф.днат}} = \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot (0,8 \cdot K_U + 0,2);$$

$$R^2 = 9917. \quad (9)$$

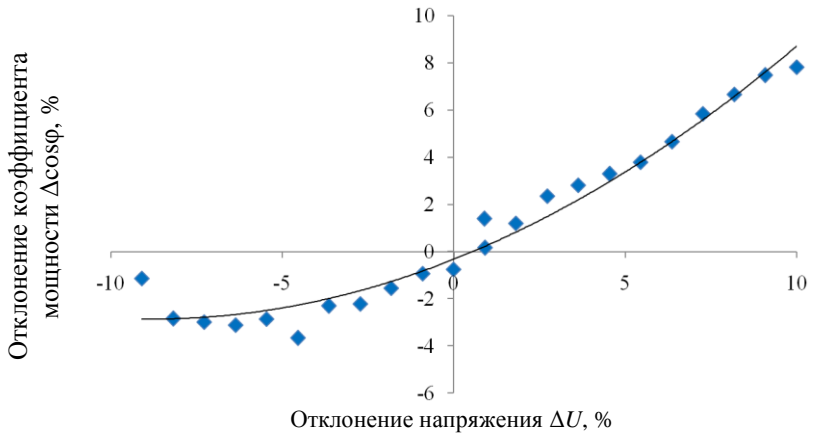


Рис. 12. Зависимость коэффициент мощности светильника с лампой ДНаТ от изменения уровня питающего напряжения

Проведенные исследования показали, что коэффициент мощности для светодиодных светильников остается неизменным и равным номинальному значению при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{\text{ном}}$. ГОСТ 32144-2013 ограничивает величину гармоник напряжения и не ограничивает величину гармоник тока. Однако большие величины этих гармоник приводят к негативным, а иногда и катастрофическим последствиям: перегрузке распределительных сетей из-за увеличения действующего значения тока; перегрузке нулевых проводников и выходу их из строя из-за суммирования токов высших гармоник, кратным трем; дополнительным потерям электрической энергии в электроприемниках и электрических сетях.

Измеренный суммарный коэффициент гармонических составляющих тока TND_i для светильника с лампой ДРЛ равен $10,3\%$, для светильника с лампой ДНаТ – $17,5\%$, для светодиодного светильника – $24,8\%$.

IV. Обсуждение

Проведенные исследования по электромагнитной совместимости различных типов светильников для наружного освещения с питающими электрическими сетями дали следующие результаты:

- 1) светодиодные фитосветильники в 4 раза быстрее выходят на номинальный режим, чем светильники ЖСП с лампами ДНаЗ; потенци-

- альные непроизводительные затраты составляют ЖСП с лампами ДНаТ 0,5-1 % от годового потребления электроэнергии;
- 2) изменение уровня питающего напряжения приводит к изменениям фактического потребления активной мощности, величины тока и светового потока для светильников с лампой ДРЛ и ДНаТ; получены математические модели этих процессов;
 - 3) потребляемая активная мощность и световой поток светодиодных светильников остаются неизменными и равны номинальным значениям при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{\text{ном}}$; стабилизация параметров происходит главным образом за счет изменения величины тока, получены математические модели;
 - 4) суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодного светильника больше, чем у светильников с разрядными лампами.

В. Заключение

Светодиодные светильники наружного освещения обладают большими преимуществами по сравнению со светильниками с разрядными лампами с ЭмПРА в отношении стабилизации потребляемой активной мощности и светового потока при изменении уровня питающего напряжения. Однако суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодных светильников больше, чем у светильников с разрядными лампами. Это может негативно сказаться на работе питающих электросетей и требует дальнейших исследований.

© Терентьев П.В., 2019

© Филатов Д.А., 2019

© Плаксин М.А., 2019

Библиографический список

- [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] Юферев Л.Ю. Энерго-ресурсосберегающие осветительные и облучательные системы и установки сельскохозяйственного назначения на основе резонансной системы электропитания: автореферат дисс. док. техн. наук, МичГАУ, Мичуринск, 2015. – 43 с.
- [3] Филатов Д.А., Терентьев П.В. Электромагнитная совместимость систем электроснабжения и электрооборудования сельскохозяйственных предприятий при изменении уровня питающего напряжения // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 3 (11). С. 57-62.
- [4] Филатов Д.А., Соснина Е.Н. О повышении энергоэффективности сельскохозяйственных предприятий // Материалы X юбилейной международ-

- ной научной конференции «Тинчуринские чтения». 25-27 марта 2015 г. Казань, КГЭУ, 2015. С. 163-164.
- [5] Филатов Д.А., Терентьев П.В. Качество электроэнергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетике сельского хозяйства: учеб. пос.: Нижегородская ГСХА, 2017. – 116 с.
- [6] Товаров С.Ш., Маджидов Г.Х. Влияние отклонения напряжения на электрические величины осветительных ламп // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11 (54). С. 117-119.
- [7] Евминов Л.И., Кизева В.С. Сравнительный анализ различных источников света и оценка электромагнитной совместимости безэлектродных (индукционных) и светодиодных источников света // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2013. № 1 (52). С. 60-66.
- [8] Евминов Л.И., Кизева В.С. Область применения и экспериментальные исследования электрических и светотехнических характеристик светильников для наружного и внутрицехового освещения // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2014. № 3 (58). С. 36-44.
- [9] Боярская Н.П., Довгун В.П. Влияние светодиодных источников света на спектры токов и напряжений питающей сети // Вестник КрасГАУ. 2014. № 3 (90). С. 195-199.
- [10] Боярская Н.П., Темербаев С.А., Довгун В.П., Кабак А.Л., Колмаков В.О. Анализ спектрального состава токов и напряжений светодиодных и газоразрядных источников света // Вестник КрасГАУ. 2013. № 8. С. 180-184.

P.V. Terentev, D.A. Filatov, M.A. Plaksin

**COMPARATIVE EXPERIMENTAL ANALYSIS
OF ARTIFICIAL LIGHT SOURCES FOR ILLUMINATION
OF RURAL TERRITORIES**

Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Currently, both in Russia and abroad, various studies of outdoor light fixtures are being conducted. However, these studies are not enough. The paper deals with mutual influence of light sources and electrical networks to assess the normal functioning and energy-efficient operation while upgrading existing sources of outdoor lighting to new ones. The object of study is outdoor lighting fixtures with gas-discharge light sources and LED lamps. The following equipment was used: linear adjusting autotransformer RNO-250-2-M, electric power quality analyzer Circutor AR-5L, lux meter Testo 545. Based on the results, mathematical expressions were obtained for changing the actual parameters of light fixtures when the supply voltage changes. The total harmonic components of the current are obtained. The magnitude of active power, current and luminous flux for light fixtures with DRL and HPS lamps were changed when changing the

supply voltage level $\pm 10\%$ of U_{nom} . The active power consumed and luminous flux of LED light fixtures remains unchanged and equal to nominal values. However, the total harmonic current component of LED lamps is larger than light fixtures with discharge lamps, which may adversely affect the operation of the power supply networks, which requires further research.

Keywords: current harmonics, discharge lamps, LED lights, voltage level change.

References

- [1] G.Ya. Vagin, E.B. Solntsev and O.Yu. Malafeev, «Estimation of characterization of lighting systems in Russia», *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, vol. 3, no. 51, pp. 78-86, 2016.
- [2] L.Yu. Yuferev, «*Ehnergo-resursosberegayushchie osvetitel'nye i obluchatel'nye sistemy i ustanovki sel'skohozyajstvennogo naznacheniya na osnove rezonansnoj sistemy ehlektropitaniya*», Doct. of Tech. S. thesis, Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, 2015 (in Russian).
- [3] D.A. Filatov and P.V. Terentyev, «Electromagnetic compatibility of systems of power supply and electric equipment of agricultural enterprises in case of change of level of the feeding tension», *Vestnik of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy*, vol. 3, no. 11, pp. 57-62, July-Sept. 2016.
- [4] D.A. Filatov and E.N. Sosnina, «O povyshenii ehnergoehffektivnosti sel'skohozyajstvennykh predpriyatij», in proc. *2015 Tinchurinskie chteniya*, 2015, Kazan, Russia, pp. 163-164 (in Russian).
- [5] D.A. Filatov and P.V. Terent'ev, *Kachestvo ehlektroehnergii i ehlektromagnitnaya sovmestimost' v ehlektroehnergetike sel'skogo hozyajstva*. Nizhegorodskaya GSKHA, 2017 (in Russian).
- [6] S.Sh. Tovarov and G.H. Madjidov, «Influence of the deviation of tension on electrical quantities of lighting lamps», *International Research Journal*, vol. 11, no. 54, pp. 117-119, 2016.
- [7] L.I. Evminov and V.S. Kizeva, «Comparative analysis of various light sources and evaluation of electromagnetic compatibility of nonelectrode (induction) light sources and LED light sources», *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Suhogo*, vol. 1, no. 52, pp. 60-66, 2013.
- [8] L.I. Yevminov and V.S. Kizeva, «Field of application and experimental studies of electric and light characteristics of lighting fittings for outdoor and intrashop lighting», *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Suhogo*, vol. 3, no. 58, pp. 36-44, 2014.
- [9] N.P. Boyarskaya and V.P. Dovgun, «The light-emitting diode light source influence on the current spectra and the supply net voltages», *The Bulletin of KrasGAU*, vol. 3, no. 90, pp. 195-199, March 2014.
- [10] N.P. Boyarskaya, S.A. Temerbaev, V.P. Dovgun, A.L. Kabak and V.O. Kolmakov, «Spectral composition analysis of the current and voltage of led and gas-discharge light sources», *The Bulletin of KrasGAU*, vol. 8, no. 83, pp. 180-184, Aug. 2013.