

УДК 628.9

Г.Я. Вагин¹, Е.Н. Соснина¹, П.В. Терентьев², Д.А. Филатов²**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИСКУССТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА
ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ КОМБИНАТОВ
И ПЛОДОПИТОМНИКОВ**¹ Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева² Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Одно из ключевых направлений по повышению эффективности систем электроснабжения растениеводческих комплексов связано с внедрением светодиодных светильников. При этом важными являются вопросы взаимного влияния действующих источников света и перспективных светодиодных светильников, включая их системы электропитания. Статья посвящена экспериментальным исследованиям по взаимному влиянию светильников ЖСП с натриевыми лампами высокого давления с зеркальным отражателем (ДНаЗ) и светодиодных фитосветильников. Для указанных типов светильников получены математические модели, описывающие изменения фактического потребления активной мощности, величины тока и светового потока при изменении уровня питающего напряжения. Установлено, что светодиодные фитосветильники в 4 раза быстрее выходят на номинальный режим, чем светильники ЖСП. Потребляемая активная мощность и световой поток светодиодных фитосветильников остаются неизменными и равны номинальным значениям при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от номинального. Однако суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодных фитосветильников в 2 раза больше, чем светильников ЖСП, что может негативно сказаться на работе системы электроснабжения.

Ключевые слова: гармоники тока, изменение уровня напряжения, качество электроэнергии, натриевые лампы высокого давления, растениеводческий комплекс, светодиодные фитосветильники.

I. Введение

Развитие растениеводства является одной из приоритетных задач в развитии всего агропромышленного комплекса России [1, 2]. Одной из задач для развития растениеводства является снижение энергоемкости продукции. Наиболее эффективными отработанными технологиями в светкультуре растений на сегодняшний день являются светильники типа ЖСП с натриевыми лампами высокого давления (ДНаТ) и натриевыми

лампами высокого давления с зеркальным отражателем (ДНаЗ). В настоящее время, как в России, так и за рубежом бурно развиваются исследования по замене данных светильников на светодиодные светильники для облучения растений [3-9, 10-12]. Однако, все эти исследования посвящены влиянию систем освещения на растения. Исследования по взаимному влиянию источников света и систем электропитания отсутствуют. Изучение взаимного влияния фитосветильников и систем электропитания является целью настоящей работы.

II. Материалы и методы

Объектом исследования являются тепличные светильники типа ЖСП с электромагнитным пускорегулирующим аппаратом (ЭмПРА) с лампами ДНаЗ (ОАО «КЭТЗ») и светодиодные фитосветильники (ООО «ОКБ Луч» и ООО «Профсвет»). Исследования взаимного влияния фитосветильников и электрических сетей проводились в лаборатории «Светотехника» Нижегородской ГСХА. Для исследований использовано следующее оборудование: амперметр, вольтметр, ваттметр, линейный автотрансформатор, анализатор качества электроэнергии, люксметр. Регулировка питающего напряжения для источника света осуществлялась линейным автотрансформатором. Показания снимались анализатором качества электроэнергии AR-5L. Контролировались параметры тока, питающего напряжения и потребляемой мощности соответственно амперметром, вольтметром, ваттметром и варметром.

III. Результаты

Для исключения непроизводительных затрат электроэнергии необходимо, чтобы источники света после включения в течение минимально возможного времени выходили на номинальный режим. Результаты выхода источников света на номинальный режим представлены на рисунках 1-3. Проведенные исследования показали, что светодиодные фитосветильники выходят на номинальный режим за 120 секунд, а светильники ЖСП с лампами ДНаЗ за 480 секунд.

Важное значение имеет влияние изменения уровня питающего напряжения на параметры источников света. Согласно ГОСТ 32144-2013 допустимы отклонения напряжения на границе балансовой принадлежности $\pm 10\% U_{\text{ном}}$. На рисунке 4 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на активную мощность светильника ЖСП30Т с лампой ДНаЗ. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ мощность снижается на 20%. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ мощность увеличивается на 24%.

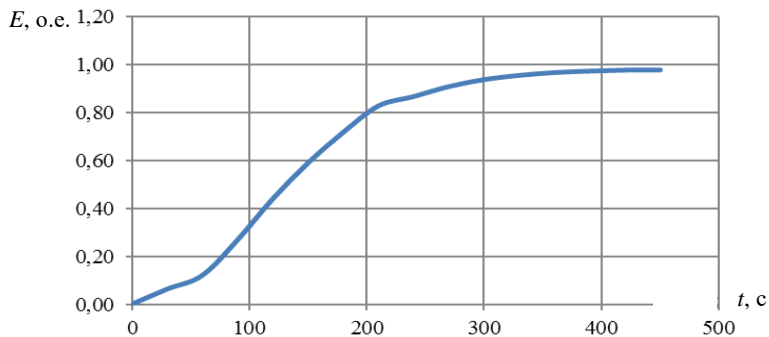


Рис. 1. Зависимость выхода светильника ЖСП30Т с лампой ДНаЗ на номинальный режим от времени

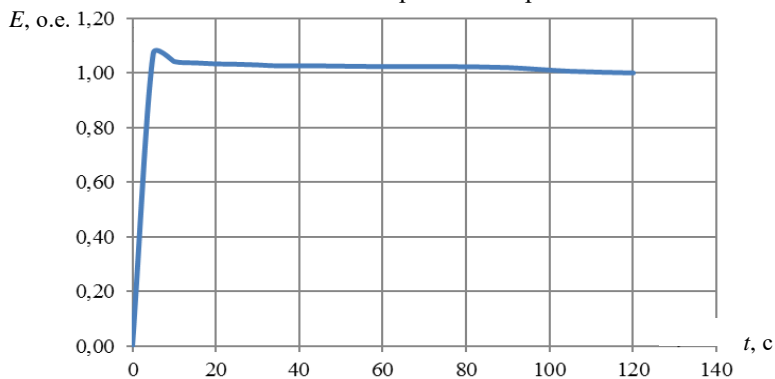


Рис. 2. Зависимость выхода светодиодного фитосветильника ООО «ОКБ Луч» на номинальный режим от времени

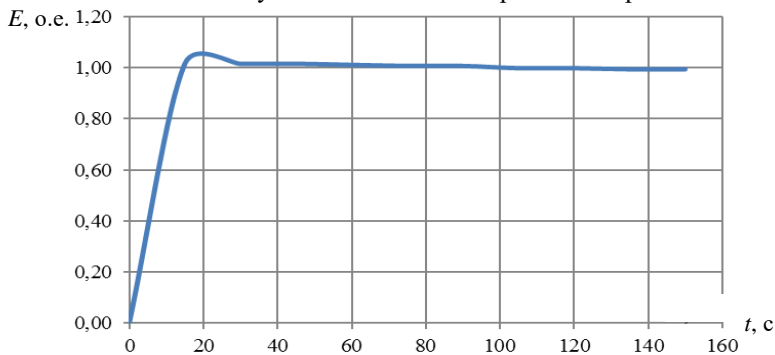


Рис. 3. Зависимость выхода светодиодного фитосветильника «ООО Профсвет» на номинальный режим от времени

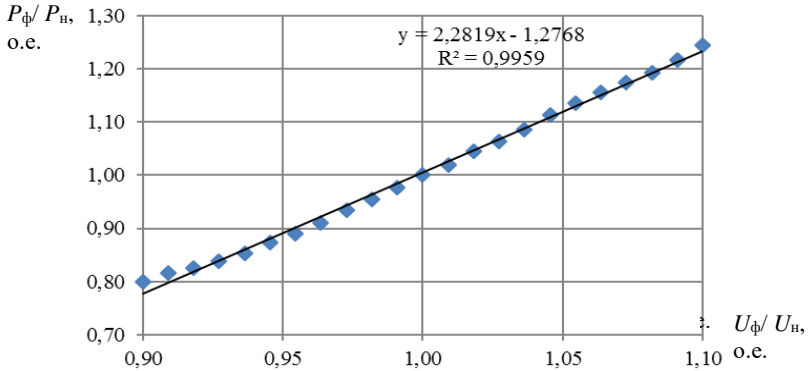


Рис. 4. Зависимость потребления активной мощности светильника ЖСП с лампой ДНаЗ от изменения уровня питающего напряжения

Необходимо отметить, что увеличение мощности при увеличении напряжения сопровождается увеличением тока, а при уменьшении напряжения – уменьшением тока. На рисунке 5 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светильника ЖСП с лампой ДНаЗ. При напряжении $0,9 \cdot U_{ном}$ величина тока снижается на 12%. При напряжении $1,1 \cdot U_{ном}$ величина тока увеличивается на 14%.

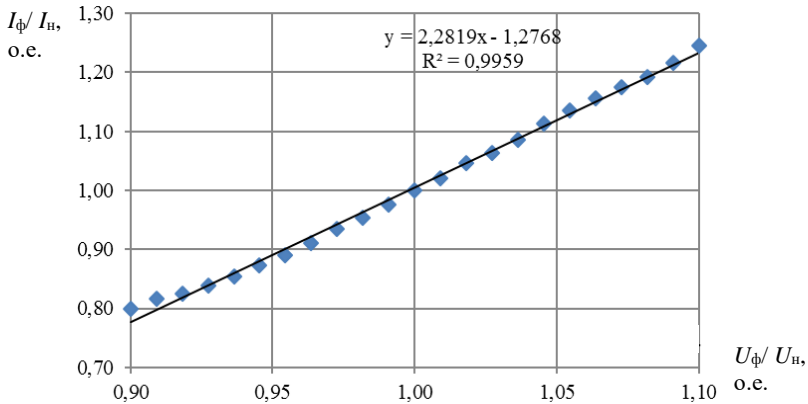


Рис. 5. Зависимость уровня тока светильника ЖСП с лампой ДНаЗ от изменения уровня питающего напряжения

На рис. 6 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на световой поток светильника ЖСП с лампой

ДНаЗ. При напряжении $0,9 \cdot U_{\text{ном}}$ световой поток снижается на 22%. При напряжении $1,1 \cdot U_{\text{ном}}$ световой поток увеличивается на 26%.

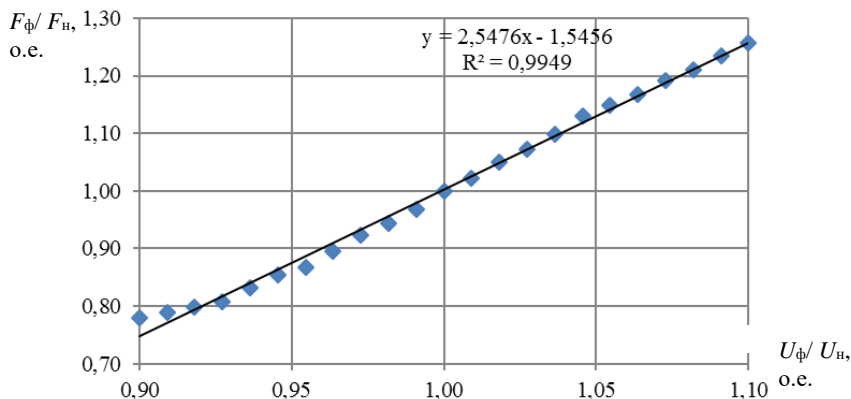


Рис. 6. Зависимость уровня светового потока светильника ЖСП с лампой ДНаЗ от изменения уровня питающего напряжения

На основании результатов исследований получены математические выражения изменения фактического потребления активной мощности $P_{\text{ф}}$, величины тока $I_{\text{ф}}$ и светового потока $F_{\text{ф}}$ при изменении уровня питающего напряжения:

$$P_{\text{ф.ДНаЗ}} = P_{\text{ном}} \cdot (2,28 \cdot K_U - 1,28); R^2 = 0,9959; \quad (1)$$

$$I_{\text{ф.ДНаЗ}} = I_{\text{ном}} \cdot (1,35 \cdot K_U - 0,35); R^2 = 0,9974; \quad (2)$$

$$F_{\text{ф.ДНаЗ}} = F_{\text{ном}} \cdot (2,54 \cdot K_U - 1,54); R^2 = 0,9949; \quad (3)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальное потребление активной мощности, Вт; $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток, А; $F_{\text{ном}}$ – номинальный световой поток, лм; $K_U = K_{\text{ф}} / K_{\text{ном}}$ – изменение уровня питающего напряжения, о.е.

Исследования влияния уровня питающего напряжения на cosφ в пределах $0,97 \dots 1$, что практически не влияет на нормальный режим работы светильника и питающей электросети.

На основании результатов исследований получены математические выражения изменения фактического потребления активной мощности $P_{\text{ф}}$, величины тока $I_{\text{ф}}$ и светового потока $F_{\text{ф}}$ при изменении уровня питающего напряжения для светодиодных фитосветильников:

$$P_{\text{ф.LEDлuc}} = P_{\text{ном}} = \text{const}; R^2 = 1; \quad (4)$$

$$I_{\Phi.LEDluc} = I_{ном} \cdot (-0,93 \cdot K_U + 1,93); R^2 = 0,9976; \quad (5)$$

$$F_{\Phi.LEDluc} = F_{ном} = \text{const}; R^2 = 1; \quad (6)$$

$$P_{\Phi.LEDprof} = P_{ном} = \text{const}; R^2 = 1; \quad (7)$$

$$I_{\Phi.LEDprof} = I_{ном} \cdot (-0,61 \cdot K_U + 1,61); R^2 = 0,9804; \quad (8)$$

$$F_{\Phi.LEDprof} = F_{ном} = \text{const}; R^2 = 1. \quad (9)$$

Проведенные исследования показали, что потребляемая активная мощность и световой поток остаются неизменными и равны номинальным значениям при изменении уровня питающего напряжения $\pm 10\%$ от $U_{ном}$. Стабилизация параметров происходит главным образом за счет изменения величины тока.

На рис. 7 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светодиодного фитосветильника фирмы ООО «ОКБ Луч». При напряжении $0,9 \cdot U_{ном}$ величина тока увеличивается на 10%. При напряжении $1,1 \cdot U_{ном}$ величина тока снижается на 10%. Следует отметить, что величина $\cos\varphi$ стабильна и равна 0,99.

На рис. 8 представлены результаты исследования влияния уровня питающего напряжения на величину тока светодиодного фитосветильника фирмы ООО «Профсвет». При напряжении $0,9 \cdot U_{ном}$ величина тока увеличивается на 8%. При напряжении $1,1 \cdot U_{ном}$ величина тока снижается на 5%. Следует отметить, что величина $\cos\varphi$ изменяется: при напряжении $0,9 \cdot U_{ном}$ $\cos\varphi = 0,91$, а при напряжении $1,1 \cdot U_{ном}$ $\cos\varphi = 0,84$.

ГОСТ 32144-2013 ограничивает величину гармоник напряжения и не ограничивает величину гармоник тока. Однако большие величины этих гармоник приводят к следующим негативным, а иногда и катастрофическим последствиям:

- к перегрузке распределительных сетей из-за увеличения действующего значения тока;
- к перегрузке нулевых проводников и выходу их из строя из-за суммирования токов высших гармоник, кратным трем;
- к дополнительным потерям электрической энергии в электроприемниках и электрических сетях.

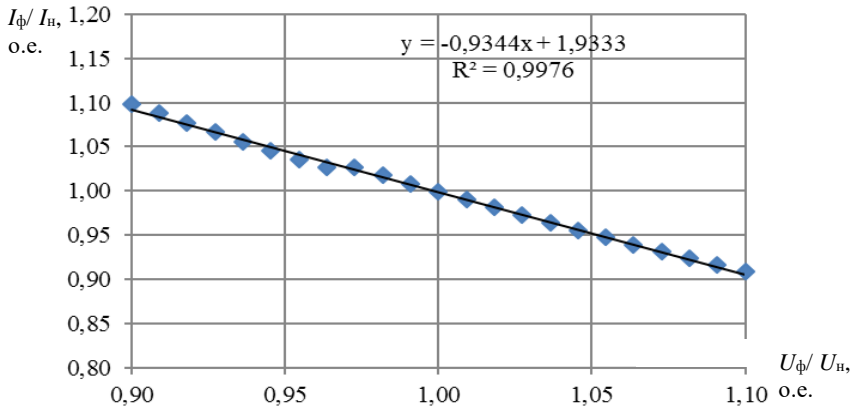


Рис. 7. Зависимость уровня тока светодиодного фитосветильника фирмы ООО «ОКБ Луч» от изменения уровня питающего напряжения

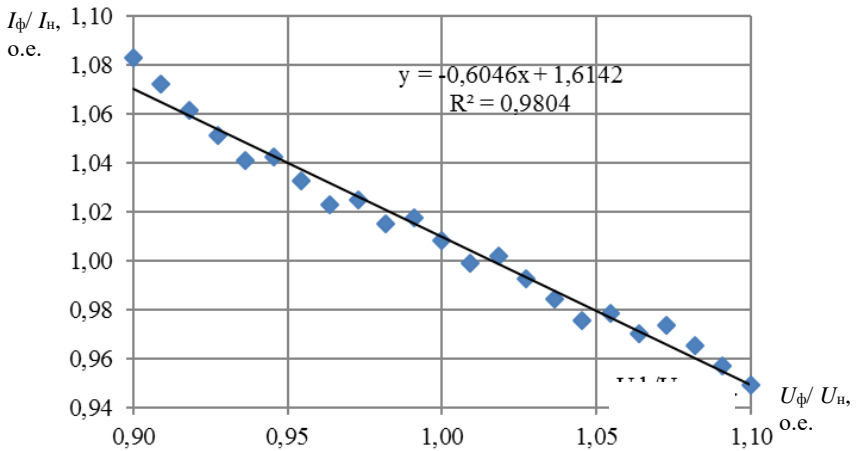


Рис. 8. Зависимость уровня тока светодиодного фитосветильника фирмы «ООО Профсвет» от изменения уровня питающего напряжения

Результаты исследований величин генерируемых гармоник тока фитосветильниками представлены на рис. 9-11.

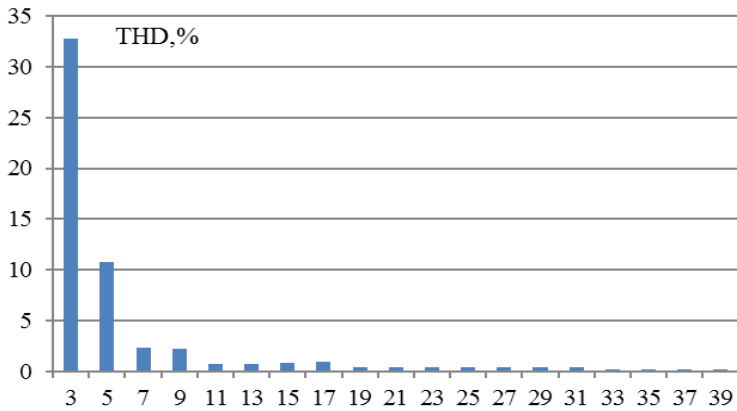


Рис. 9. Спектрограмма токов высших гармоник светильника ЖСП с лампой ДНаЗ

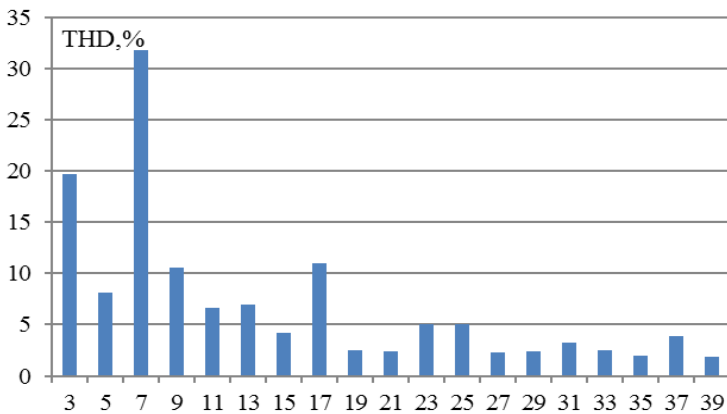


Рис. 10. Спектрограмма токов высших гармоник фитосветильника ООО «ОКБ Луч»

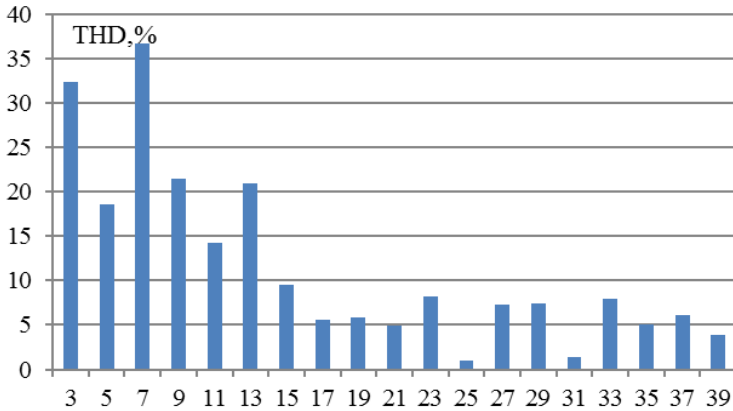


Рис. 11. Спектрограмма токов высших гармоник фитосветильника «ООО Профсвет»

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока для светильника ЖСП с лампой ДНаЗ равен 34,8%. Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока для фито светильника ООО «ОКБ Луч» равен 49,5%. Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока для фито светильника «ООО Профсвет» равен 68,7%.

IV. Обсуждение

Проведенные исследования по взаимному влиянию действующих тепличных светильников (ЖСП с лампами ДНаЗ) и перспективных светодиодных фитосветильников и систем электропитания показали следующие, представленные ниже, результаты.

Светодиодные фитосветильники в 4 раза быстрее выходят на номинальный режим, чем светильники ЖСП с лампами ДНаЗ. Потенциальные непроизводительные затраты составляют ЖСП с лампами ДНаЗ 0,5-1% от годового потребления электроэнергии.

Изменение уровня питающего напряжения приводит к изменениям фактического потребления активной мощности P_{ϕ} , величины тока I_{ϕ} и светового потока F_{ϕ} для тепличных светильников ЖСП с ЭмПРА и лампами ДНаЗ. Получены математические модели. Потребляемая активная мощность и световой поток светодиодных фитосветильников 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. Следует отметить, что при хорошем качестве корректора мощности в составе светодиодных светильников изменение уровня тока происходит плавно. При некачественном корректоре мощности изменение

уровня тока происходит ступенчато и сопровождается изменением потребления реактивной мощности.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодных фитосветильников в 1,4...2 раза больше, чем светильников ЖСП с лампой ДНаЗ.

У. Заключение

Светодиодные тепличные светильники в сравнении со светильниками ЖСП с лампой ДНаЗ лучше по скорости выхода на номинальный режим, стабилизации потребляемой активной мощности и светового потока при изменении уровня питающего напряжения. Однако суммарный коэффициент гармонических составляющих тока светодиодных фитосветильников в 1,4...2 раза больше, чем светильников ЖСП с лампой ДНаЗ, что может негативной сказаться на работе питающих электросетей, что требует дальнейших исследований.

© Вагин Г.Я., 2018

© Соснина Е.Н. 2018

© Терентьев П.В. 2018

© Филатов Д.А., 2018

Библиографический список

- [1] План реализации государственной программы Развитие АПК на 2017 – 2019 гг. [Электронный ресурс]. URL: http://www.mcx-pnov.ru/programma_razv_apk. ap (дата обращения 04.04.2017).
- [2] Постановление Правительства Нижегородской области от 06. 03. 2015 №118 «Развитие агропромышленного комплекса Нижегородской области». [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/465505664>. (дата обращения 04.05.2017).
- [3] Мартиросян Ю.Ц., Полякова М.Н., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 1. С. 107-112.
- [4] Ракутько С.А., Маркова А.Е., Судаченко В.Н., Колянова Т.В. Определение эффективности светодиодных источников облучения при выращивании рассады томата и огурца // Сборник научных трудов ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 2013. № 84. С. 82-89.
- [5] Тертышная Ю.В., Левина Н.С. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 5. С. 24-29.
- [6] Нечаева Е.Х., Царевская В.М. Перспективы использования светодиодного досвечивания // Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения. Сборник трудов. Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. С. 158-161.
- [7] Прокофьев А., Туркин А., Яковлев А. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5. С. 60-63.

- [8] Стукс А., Поляковский В. Выращивание со светодиодами // Мир теплиц. 2015. № 4. С. 32-33.
- [9] Мишанов А.П., Маркова А.Е., Ракутько С.А., Бровцин В.Н., Ракутько Е.Н. Влияние соотношения долей зеленого и красного излучения на биометрические показатели салата // Технологии и технические средства. 2015. № 87. С. 264-272.
- [10] Philips GreenPower LED toplighting 2015. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lighting.philips.ru> (дата обращения 07.05.2018).
- [11] Britse kwekerij APS Salads zet 100% LED boven tomaten. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.groentennieuws.nl/artikel/132730/Britse-kwekerij-APS-Salads-zet-100-percent-LED-boven-tomatens> (дата обращения 07.05.2018).
- [12] Анализ технического оснащения и внедрения пилотного проекта «Фитодиодное освещение для теплиц» в поселке Арнасай в рамках проекта ПРОО/ГЭФ «Продвижение энергоэффективного освещения в Республике Казахстан. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/59888922-Fitodiodnoe-osveshchenie-dlya-teplic.html> (дата обращения 07.05.2018).

G.Ya. Vagin ¹, E.N. Sosnina ¹, P.V. Terentiev ², D.A. Filatov ²

EXPERIMENTAL STUDIES OF ENERGY CHARACTERISTICS OF ARTIFICIAL LIGHT SOURCES FOR GREENHOUSE COMBINES AND FRUIT FARM

¹ Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

² Nizhny Novgorod State Agricultural Academy,
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the key areas to improve the efficiency of power supply systems of plant-growing complexes is associated with the introduction of LED-based lamps. At the same time, the issues of mutual influence of existing light sources and advanced LED lamps, including their power supply systems, are important. The article is devoted to experimental studies on the mutual influence of «ZhSP» luminaires with high-pressure sodium lamps with a mirror reflector («DNaZ») and LED phyto lights. For these types of luminaires, mathematical models have been obtained that describe the changes in the actual consumption of active power, the magnitude of current and luminous flux with a change in the level of the supply voltage. It has been established that the LED phyto-illumination lamps go to the nominal mode 4 times faster than the «ZhSP» lamps. The consumed active power and the light flux of LED phyto – lamps remain unchanged and are equal to nominal values when the supply voltage level changes $\pm 10\%$ of the nominal value. However, the total harmonic current component ratio of the LED phyto-illumination lamps is 2 times greater than the life – support lamps, which can adversely affect the operation of the power supply system.

Keywords: current harmonics, electric power quality, high-pressure sodium lamps, LED phyto-fans, plant-growing complex, voltage level change.

References

- [1] The plan for the implementation of the state program Development of the AIC for 2017 – 2019. [Online]. Available at: http://www.mcx-nnov.ru/programma_razv_apk. [Accessed: April 4, 2017].
- [2] Resolution of the Government of the Nizhny Novgorod Region dated 06. 03. 2015 No. 118 "Development of the agro-industrial complex of the Nizhny Novgorod Region". [Online]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/465505664>. [Accessed: May 4, 2017].
- [3] Y. Martirosyan, M.N. Polyakova, T.A. Dilovarova, A.A. Kozobryukhov. Photosynthesis and productivity of potato plants under different spectral irradiation // Agricultural Biology, vol. 1, pp. 107-112, 2013.
- [4] Rakutko S.A., Markova A.E., Sudachenko V.N., Kolyanova T.V. Determination of the effectiveness of LED irradiation sources in growing seedlings of tomato and cucumber // Collection of scientific works of the GNU SZNIIMESH Rosselkhozadakhademii, vol. 84, pp. 82-89, 2013.
- [5] Tertysna Yu.V., Levina N.S. The influence of the spectral composition of light on the development of crops // Agricultural machinery and technology, vol. 5, pp. 24-29, 2016.
- [6] E.Kh. Nechaeva, V.M. Tsarevskaya. Prospects for the use of LED light-emitting // Actual problems of agrarian science and ways to solve them. Collection of works, pp. 158-161, 2016.
- [7] A. Prokofiev, A. Turkin, A. Yakovlev. Prospects for the use of LEDs in crop production // Semiconductor lighting engineering, vol. 5, pp. 60-63, 2016.
- [8] A. Stuks, V. Polyakovskiy. Cultivation with LEDs // World of Greenhouses, vol. 4, pp. 32-33, 2016.
- [9] A. Mishanov, A.E. Markova, S.A. Rakutko, V.N. Brovtzin, E.N. Rakutko. The influence of the ratio of the shares of green and red radiation on the biometric indicators of lettuce // Technologies and technical means, vol. 87, pp. 264-272, 2017.
- [10] Philips GreenPower LED toplighting 2015. [Online]. Available at: <http://www.lighting.philips.com>. [Accessed: May 7, 2018].
- [11] Britse kwekerij APS Salads zet 100% LED boven-tomaten. [Online]. Available at: <http://www.groentennieuws.nl/artikel/132730/Britse-kwekerij-APS-Salads-zet-100-procent-LED-boven-tomaten>. [Accessed: May 7, 2018].
- [12] Analysis of the technical equipment and the implementation of the pilot project «Phytodiode lighting for greenhouses» in the village of Arnasai in the framework of the project of the PROO / GEF Pro-motion of energy-efficient lighting in the Republic of Kazakhstan. [Online]. Available at: <https://docplayer.ru/59888922-Fitodiodnoe-osveshchenie-dlya-teplic.html>. [Accessed: May 7, 2018].