

УДК 621.32



АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПУСКОВЫХ ТОКОВ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

А. С. Дурманов, студент,
e-mail: alioshadurmanoff@ya.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

М. С. Харитонов, канд. техн. наук,
e-mail: mskharitonov@mail.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Широкое внедрение энергосберегающих источников света в системы освещения обуславливает актуальность вопросов электромагнитной совместимости осветительных приборов. В частности, актуальной задачей является измерение и учет пусковых характеристик осветительных приборов при проектировании и эксплуатации систем освещения. Однако в условиях многообразия технических решений в области пускорегулирующей аппаратуры осветительных приборов к методам и средствам измерений пусковых токов предъявляются особые требования по обеспечению достоверности результатов. В работе приводится анализ методов измерения пусковых токов осветительных приборов. Представлены результаты экспериментальных исследований и дана оценка метода со случайным моментом включения осветительного прибора. Получены функции распределения пиковых действующих значений пускового тока осветительных приборов для ряда светодиодных ламп.

Ключевые слова: осветительный прибор, пусковой ток, методы измерения, экспериментальное исследование, функция распределения.

ВВЕДЕНИЕ

Для подавляющего большинства приемников электрической энергии характерны пусковые процессы, в том числе для осветительных приборов (ОП). Максимальные мгновенные значения пусковых токов некоторых современных ОП на основе светодиодов могут быть до трехсот раз больше номинального значения тока [1]. Основная проблема наличия значительных пусковых токов у осветительных приборов заключается в сложности подбора защитных аппаратов в системах освещения.

В Постановлении Правительства РФ № 1356 от 10 ноября 2017 г. присутствовал пункт следующего содержания: «пусковой ток светильников на этапе 2 не должен быть более 5-кратного рабочего тока источника питания.» [2, с. 18]. В Постановлении № 2255 от 24 декабря 2020 года [3], введённом взамен утратившего силу, упоминание про пусковые токи отсутствует. Одной из вероятных причин для подобного отказа послужило отсутствие нормативно закреплённого метода измерения пускового тока для осветительных приборов.

В работе произведен анализ методов измерения пусковых токов осветительных приборов: метод со случайным моментом включения; методы постоянного и метод переменного тока, описанные в ПНСТ 639-2022 [4]; метод, описанный в статье А. В. Абрамова и др. [5] на основе СТО.69159079–02–2018 [6] и два метода фиксации стартового тока с источником питания постоянного или переменного тока.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы измерения пусковых токов осветительных приборов.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель – сравнительный анализ методов исследования процессов при пуске осветительных приборов с учетом универсальности и требований к техническому оснащению.

Задачи:

- 1) На основе анализа нормативных документов и источников научной информации выявить возможные подходы к измерению пусковых токов осветительных приборов.
- 2) Провести анализ преимуществ и недостатков выявленных методов.
- 3) Оценить метод со случайным моментом включения с помощью проведения экспериментального исследования и получения функции распределения пиковых действующих значений пускового тока.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее доступным и широко применяемым методом измерения пусковых токов является метод со случайным моментом включения. На рисунке 1 показана структурная схема экспериментальной установки для реализации данного метода [1].

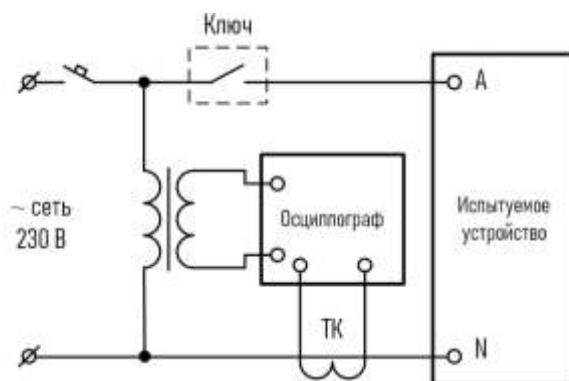


Рисунок 1 – Структурная схема реализации метода со случайным моментом включения

Преимущества метода заключаются в доступности и простоте схемы, её универсальности, т. е. возможности исследовать любые ОП, включаемые в сеть переменного тока промышленной частоты, с любым характером пусковых токов. Основной недостаток – случайность получаемых данных.

Исключить случайность получаемых данных можно с помощью методов регистрации стартового тока с источником питания постоянного [7] или переменного [8] тока. Стартовый ток не зависит от момента включения, но имеет место только в некоторых ОП на основе светодиодов, что сильно ограничивает его использование.

Помимо рассмотренных методов, для решения проблемы со случайностью получаемых величин были предложены методы, которые обеспечивают включение осветительного прибора в максимум питающего напряжения: метод постоянного и метод переменного тока в ПНСТ 639-2022 [4], метод с синхронизатором запуска [5] на основе СТО.69159079–02–2018 [6].

Схема для реализации метода постоянного тока изображена на рисунке 2. Метод заключается в имитации амплитуды напряжения конденсатором, заряженным до соответствующей величины напряжения. Метод переменного тока и метод с синхронизатором запуска показаны на рисунке 3. В них включение в максимум питающего напряжения происходит за счет специального элемента. В первом случае это триггерный блок, а во втором – синхронизатор запуска. На рисунках 2 и 3 цифрой 1 обозначен регулируемый изолирующий транс-

форматор; 2 – выпрямитель тока; 3 – осциллограф (с датчиком тока); 4 – коммутационный блок; 5 – испытуемое устройство; 6 – триггерный блок.

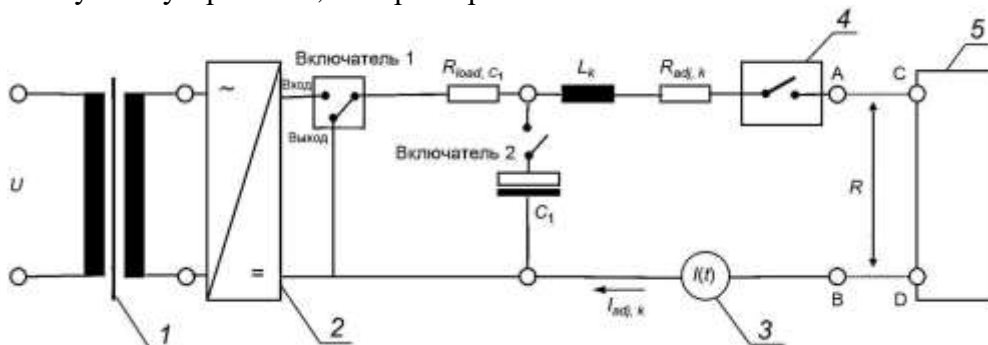


Рисунок 2 – Структурная схема метода постоянного тока, описанного в ПНСТ 639-2022

Метод постоянного тока относительно других подходит для меньшей номенклатуры осветительных приборов. Помимо этого, методы отличаются алгоритмом проведения эксперимента и обработки данных. Например, в ПНСТ 639-2022 игнорируются кратковременные импульсы, а в методе на основе СТО.69159079-02-2018 данные импульсы учитываются.

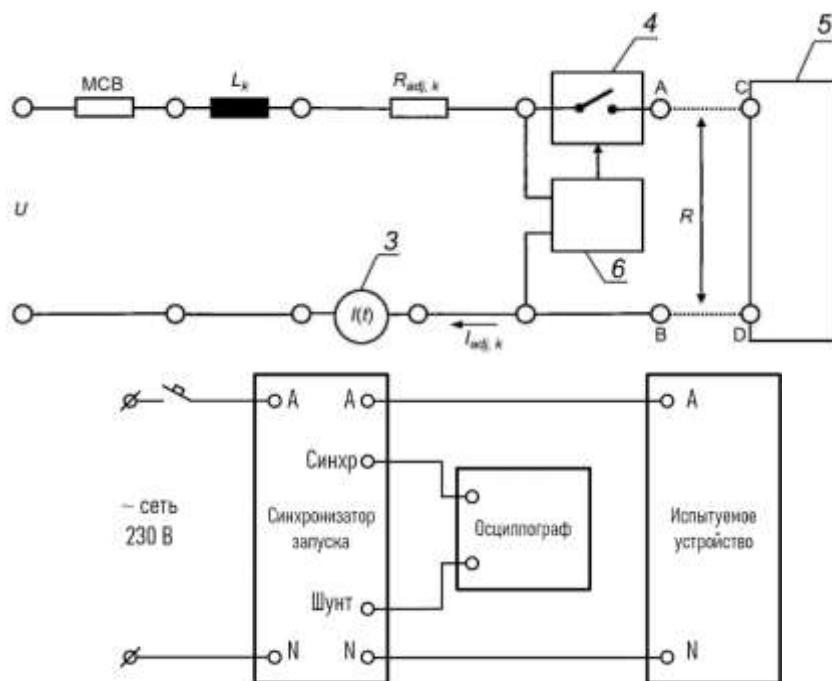


Рисунок 3 – Структурные схемы метода переменного тока, описанного в ПНСТ 639-2022 (сверху), и метода на основе СТО.69159079-02-2018 с синхронизатором запуска (снизу)

Основной недостаток метода переменного тока и метода с синхронизатором запуска – необходимость использования специализированного оборудования для обеспечения требуемых условий проведения экспериментального исследования, гарантирующих включение ОП при максимальном мгновенном значении питающего напряжения.

В случае использования распространенного метода со случайным моментом включения регистрируемая величина пускового тока зависит от мгновенного значения напряжения, в момент которого происходит включение ОП. Если данная зависимость – прямая пропорциональность, то форма функции распределения величины пускового тока как случайной величины будет повторять форму функции распределения величины мгновенного значения напряжения при равновероятных моментах коммутаций, которая показана на рисунке 4.

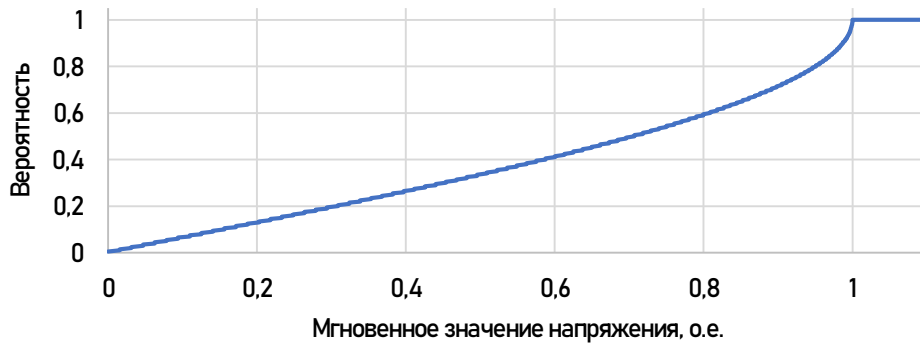


Рисунок 4 – Функция распределения величины мгновенного значения напряжения при равновероятных моментах коммутаций

Если гипотеза о характере зависимости верна, то зависимость вероятности P хотя бы трех успешных из n испытаний методом со случайным моментом включения будет иметь вид, представленный на рисунке 5. Под успешным понимается испытание, проведенное в момент, когда мгновенное значение напряжения близко к максимальному. При выборе диапазона от 0,9 от амплитудного на восходящей ветви синусоиды до 0,9 – на нисходящей в качестве успешного необходимо не менее 17 испытаний для достижения вероятности 90 % наличия в них трех успешных.

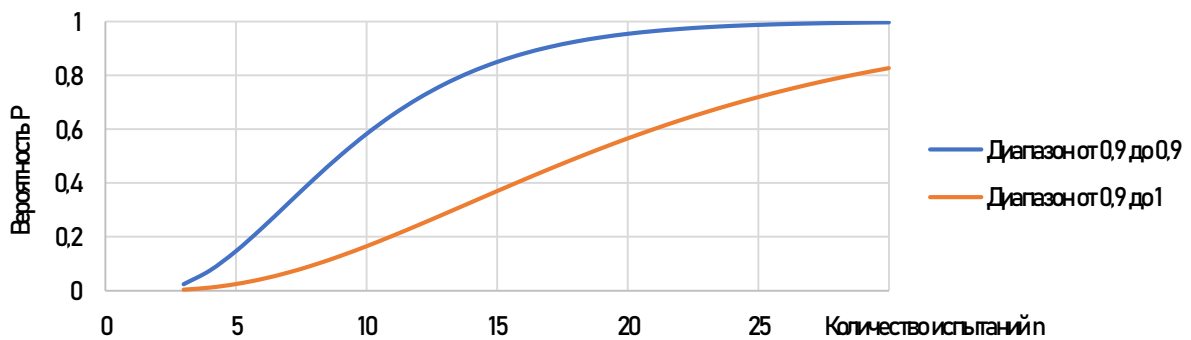


Рисунок 5 – Кривые зависимости вероятности P хотя бы трех успешных из n испытаний

Для проверки выдвинутой гипотезы было проведено экспериментальное исследование с использованием установки (рисунок 6) на основе анализатора качества электроэнергии Fluke-434, обеспечивающего фиксацию среднеквадратных значений тока во время пускового (усреднение на интервалах 10 мс). Цель эксперимента заключается в получении функции распределения пускового тока для сравнения её с функцией, изображенной на рисунке 4.

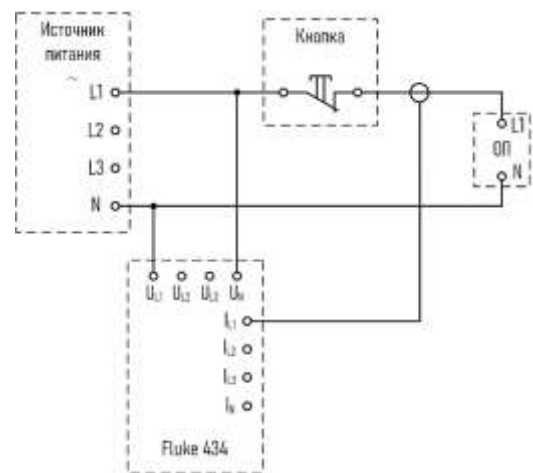


Рисунок 6 – Внешний вид и электрическая схема установки для регистрации пускового процесса

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рисунке 7 показаны фрагменты временных диаграмм максимальных действующих значений токов в ходе пусковых процессов трех светодиодных ламп различной мощности.

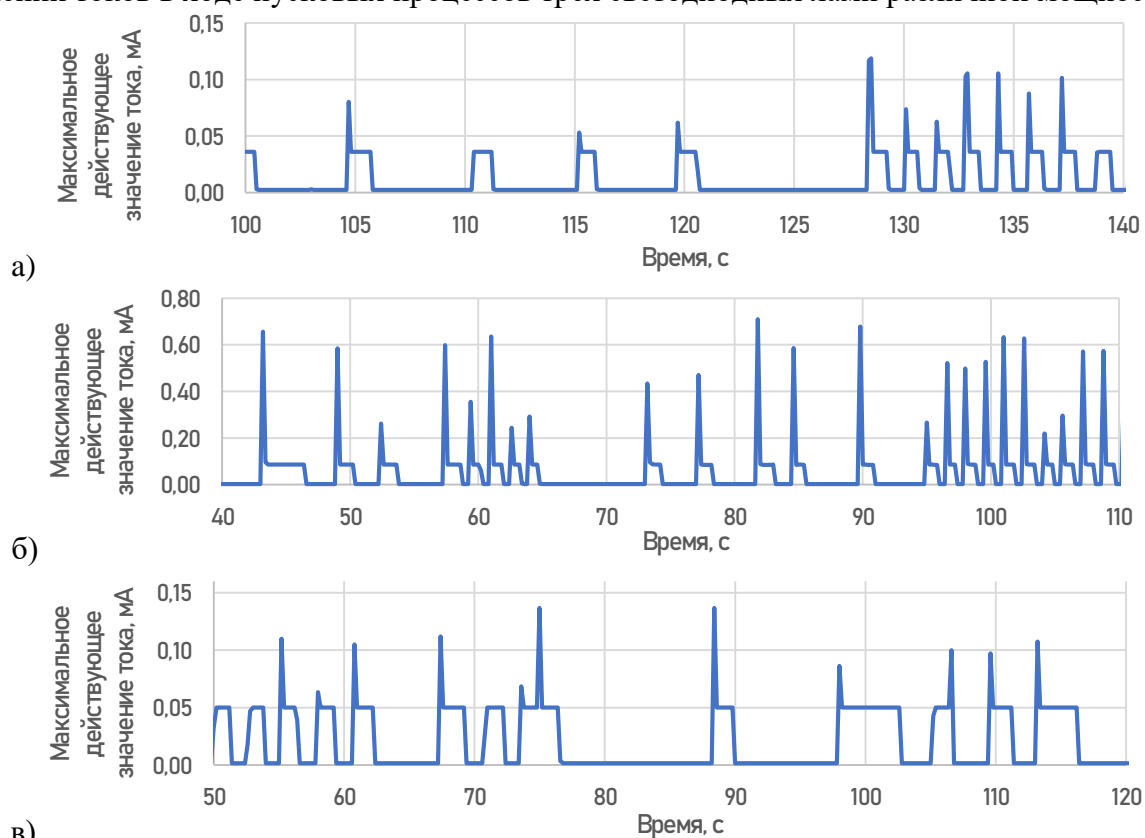


Рисунок 7 – Фрагменты временных диаграмм максимальных действующих значений токов исследуемых светодиодных ламп мощностью: 6 Вт (а); 11,5 Вт (б); 9 Вт (в)

В ходе обработки данных, полученных при исследовании лампы 6 Вт, были выделены пиковые действующие значения пусковых токов двумя способами. В первом учитывались все значения пусковых бросков, в том числе меньше либо равные рабочему, поэтому имеется искажение в области точки рабочего тока в связи с несовершенством способа измерения. Во втором варианте значения меньше рабочего были исключены как неуспешные, при этом функция распределения практически идентична прямой. Графики полученных функций распределения изображены на рисунке 8. Так как коэффициент определения R^2 линейной аппроксимации для первого и второго варианта равен 0,9961 и 0,9989 соответственно, имеет место равномерное распределение.

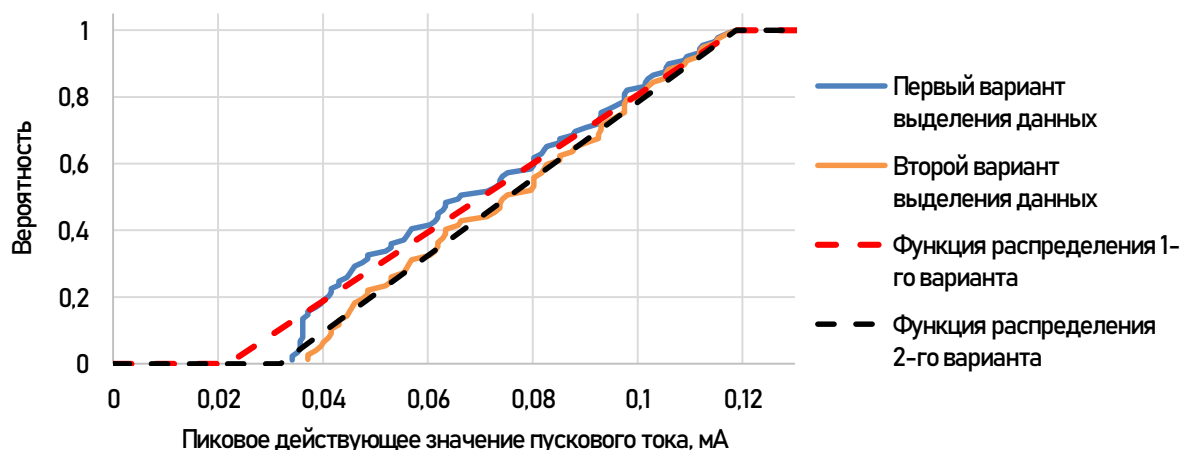


Рисунок 8 – Графики полученных функций распределения пусковых токов Philips 6 Вт

Полученные функции распределения и их аппроксимации для светодиодных ламп мощностью 11,5 Вт и 9 Вт показаны на рисунке 9. В таблице представлены полученные параметры пусковых характеристик ОП методом со случайным моментом включения. В таблице образцом № 1 является лампа мощностью 6 Вт, № 2 – 11,5 Вт, № 3 – 9 Вт.

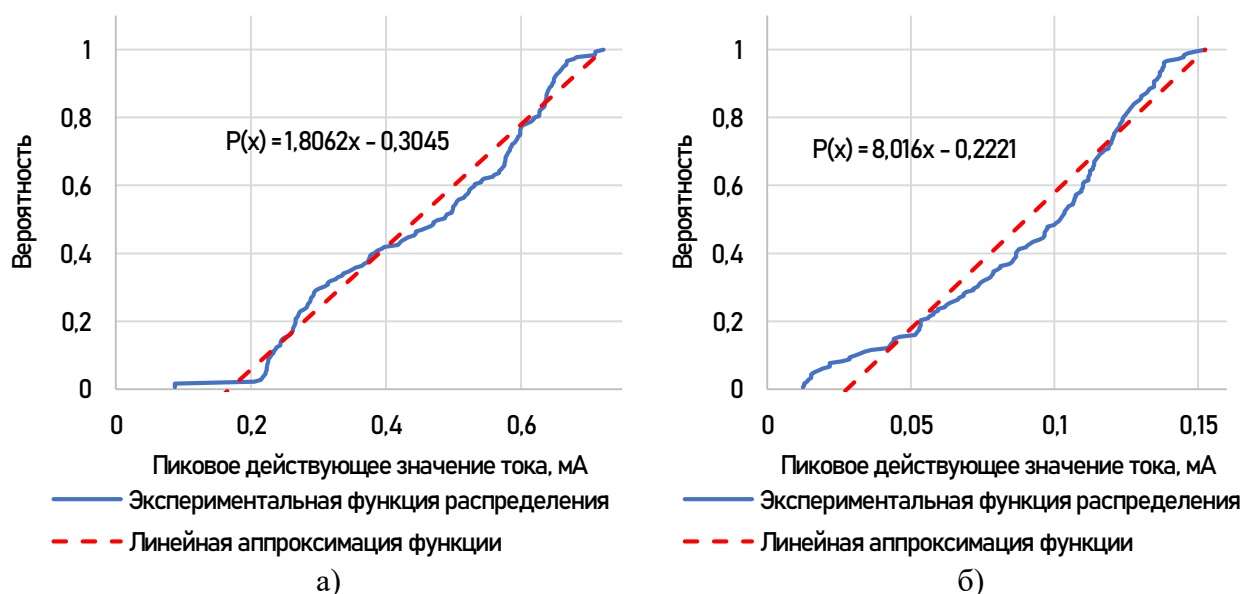


Рисунок 9 – Графики полученных функций распределения пусковых токов светодиодных ламп мощностью 11,5 Вт (а) и 9 Вт (б)

Результаты исследования пусковых характеристик ОП методом со случайным моментом включения

Наименование характеристики	Значение для образца		
	№ 1	№ 2	№ 3
Максимальное значение тока при выдержке паузы больше 5 с, мА	118,8	722,2	146,5
Максимальное значение тока при выдержке паузы меньше 5 с, мА	116,8	710,3	152,5
Кратность максимального значения тока относительно номинального	2,97	6,88	2,93
Закон распределения	Равномерный		
Плотность равномерного распределения	10,31	1,806	8,016
Медиана, мА	69,9	445	90,1
Коэффициент определения γ^2	0,9961	0,9934	0,9872
Вероятность попадания в интервал $(0,9-1) X_{\max}$	0,123	0,13	0,122

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе результатов экспериментальных исследований трех светодиодных ламп можно сделать вывод, что полученные экспериментальные зависимости значительно отличаются от теоретической функции, представленной на рисунке 2. Из этого следует, что величины пусковых токов ОП зависят не только от мгновенного значения напряжения, в момент которого происходит включение ОП. В связи с разницей форм полученных функций (рисунки 8 и 9) можно предположить, что на действующее значение пускового тока ОП оказывают влияние и другие факторы, помимо момента включения.

На рисунке 10 приведен график зависимости вероятности хотя бы трех успешных из n испытаний с учетом полученной функции распределения, при этом под успешным принимается испытание, в ходе которого полученное значение входит в интервал $(0,9-1)$ от макси-

мального достоверного значения тока X_{\max} , т. е. полученного в ходе испытаний с намного большей выборкой. Видно, что необходимо большее количество испытаний, чем было оценено ранее (рисунок 5). Применительно к исследуемым образцам ОП необходимо не менее 42 испытаний для достижения вероятности 90 % наличия среди них трех успешных.

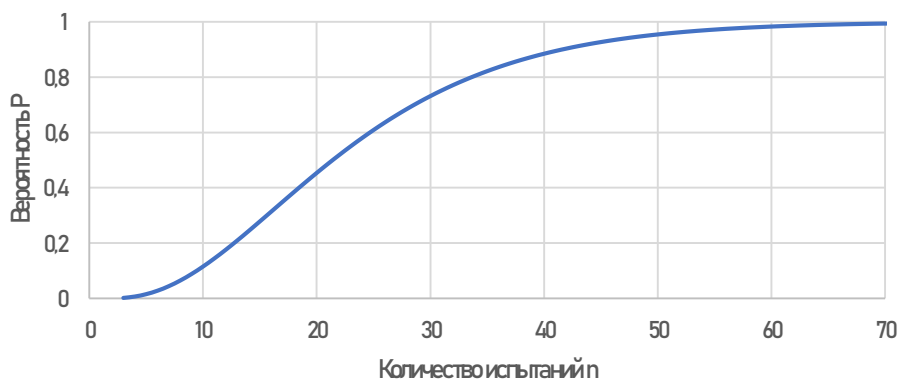


Рисунок 10 – График зависимости вероятности Р хотя бы трех успешных из n испытаний для интервала (0,9-1) X_{\max} для светодиодной лампы мощностью 6 Вт

С учетом результатов проведенных экспериментальных и аналитических исследований были определены дальнейшие перспективы исследований. Актуальным вопросом является оценка влияния времени паузы между испытаниями на величину пускового тока ОП. Проведение аналогичных испытаний на установке, дополненной осциллографом, позволит получить сведения о степени корреляции действующего значения пускового тока, получаемого с помощью Fluke-434 с усреднением на интервале 10 мс, с величинами мгновенного значения пускового тока ОП. Для определения наиболее универсального метода измерения пускового тока ОП необходимо провести сравнительный анализ по результатам серии экспериментов применительно к группе ОП с различными пусковыми характеристиками и элементной базой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О реле замолвим мы слово [Электронный ресурс] // Компания Wiren Board : [сайт]. [2018]. – URL: <https://habr.com/ru/company/wirenboard/blog/422197/> (Дата обращения: 16.04.2023).
2. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения: Постановление Правительства РФ от 10.11.2017 г. № 1356 (ред. от 03.11.2018).
3. Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения: Постановление Правительства РФ от 24.12.2020 г. № 2255.
4. ПНСТ 639-2022/МЭК 63129:2020. Светотехнические изделия. Методы измерения пусковых токов. – Введ. 2022-07-01. – 17 с.
5. Абрамов, А. В., Богданов А.А., Данилко А.В., Дмитриев П.Б., Карев А.В., Степанов А.В. Методика измерения пусковых токов в осветительных приборах со светодиодами / А. В. Абрамов, А. А. богданов, А. В. Данилко [и др.] // Светотехника: электронный журнал. – 2020. – № 5 – С. 9–14. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44097131> (Дата обращения: 04.04.2023).
6. СТО.69159079–02–2018. Приборы осветительные светодиодные. Требования к подтверждению технических и эксплуатационных параметров. Методы испытаний. - Протокол № 3-18-01 от «12» января 2018 г.
7. Пономарев, Д. В. Пусковые токи led-драйверов, их значение и измерение // сайт компании ООО «ПТК "АРГОС-ЭЛЕКТРОН"»: [сайт]. [2020]. – URL: <https://argos->

electron.ru/news/puskovye_toki_led_dravverov_ikh_znachenie_i_izmerenie/ (Дата обращения: 14.02.2023).

8. Сапрыкин А., Уелин В., Волгарев К. Пусковой и/или стартовый ток / А. Сапрыкин, В. Уелин, К. Волгарев // «Полупроводниковая светотехника»: электронный журнал. – 2020. – № 3(65). – С. 26. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_43895461_32193429.pdf (Дата обращения: 13.04.2023).

ANALYSIS OF THE METHODS FOR MEASURING INRUSH CURRENTS OF LIGHTING DEVICES

A. S. Durmanov, student,
e-mail: alioshadurmanoff@ya.ru
Kaliningrad State Technical University

M. S. Kharitonov, Doctor of Engineering
e-mail: msharitonov@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

Widespread introduction of energy-saving light sources in lighting systems determines the relevance of the issues of electromagnetic compatibility of lighting devices. In particular, for the reliable operation of lighting systems, it is necessary to measure and take into account the starting characteristics of lighting devices when designing and upgrading lighting systems. However, in the context of a variety of technical solutions of drivers for lighting devices, special requirements are imposed on the methods and means of measuring inrush currents to ensure the results reliability. The paper provides an analysis of methods for measuring the starting currents of lighting devices. The results of experimental studies are presented and an assessment of the method with a random moment of turning on the lighting device is given. The distribution functions of the peak effective values of the starting current of lighting devices for a number of LED lamps have been obtained.

Keywords: *lighting devices, inrush current, measurements methods, experimental study, distribution functions*