

УДК 628.94-047.37

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ F6040

Л. И. ЕВМИНОВ, Т. В. АЛФЁРОВА, М. Д. АСТАПЕНКО

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
г. Гомель, Республика Беларусь*

Представлены результаты экспериментального исследования работы светодиодной матрицы F6040. Определены ее электрические и световые характеристики и возможная область применения: общее освещение улиц, подсобные помещения, коридоры, склады с высотой подвеса не более трех метров, подсветка зданий и сооружений.

Ключевые слова: источники света, светодиодная матрица, электрические и световые характеристики, область применения.

FIELD OF APPLICATION AND EXPERIMENTAL STUDY OF ELECTRIC AND LIGHT CHARACTERISTICS OF LED MATRIX F6040

L. I. EVMINOV, T. V. ALFEROVA, M. D. ASTAPENKO

*Educational institution "Sukhoi State Technical University
of Gomel", the Republic of Belarus*

Authors present the results of experimental study of operation of LED matrix F6040. Its electrical and light characteristics and possible field of application are determined: general street lighting, utility rooms, corridors, warehouses with a suspension height of no more than three meters, lighting of buildings and structures.

Keywords: light sources, LED matrix, electrical and light characteristics, field of application.

Введение

Проблемы электроснабжения и энергоэффективности являются одними из наиболее актуальных в мировой энергетике, а с учетом тенденции роста цен на энергоносители – одними из главных проблем экономики. В Республике Беларусь вопросам энергосбережения и энергоэффективности уделяется значительное внимание. В целях обеспечения эффективного использования топлива и энергии реализуется Государственная программа «Энергосбережение» на 2021–2025 гг. [1]. В соответствии с данной программой предусмотрено повышение энергоэффективности, методы достижения которой отражены в подпрограмме 1. Повышение энергоэффективности предлагается реализовать через модернизацию систем освещения мест общего пользования жилых домов с внедрением энергоэффективных осветительных устройств, в том числе светодиодных, и автоматических систем управления освещением.

В настоящее время пятая часть энергии, произведенной в мире, расходуется на освещение, причем основная доля приходится на уличное, промышленное и освещение торгово-производственных площадей [2]. Большие затраты энергии на эти цели связаны в первую очередь с применением устаревших источников света. Следует отметить, что эти расходы сегодня не являются неизбежными, поскольку прогресс в создании новых высокоэффективных источников света дает возможность карди-

нального решения проблемы и задача экономии электроэнергии состоит во внедрении более экономичных и прогрессивных источников света при одновременном создании оптимальной освещенности.

Целью данной работы является определение области применения светодиодной матрицы F6040 в системах освещения на основе экспериментального исследования ее электрических и световых характеристик.

Основная часть

В настоящее время самыми распространенными источниками света являются газоразрядные лампы и лампы накаливания. Однако все более широкое распространение ввиду своей энергоэффективности получают светодиодные источники света [3].

Основными факторами, определяющими выбор источников света, являются: электрические характеристики; функциональные светотехнические характеристики (световой поток, цветовая температура); конструктивные параметры; средняя продолжительность горения; степень защиты оболочки; экономичность.

При постоянном росте потребления электроэнергии, учитывая долю освещения в 15–20 %, просто необходимо внедрение энергосберегающих технологий. Запрет ламп накаливания и переход на энергосберегающие источники света позволит значительно сэкономить энергоресурсы. КПД «зеленых» ламп существенно выше КПД «лампочки Ильича», у компактных люминесцентных ламп 25 % потребляемой энергии идет на выработку света, у светодиодных LED (light emitting diode – светоизлучающий диод) и OLED (органические светодиоды) еще больше – 80 %.

Светоизлучающий полупроводниковый диод, работающий на совершенно иных по сравнению с классическими лампами принципах, смешал все карты огромного мирового рынка общего освещения. Новичок, рожденный в далекой от освещения отрасли, совершенствовался столь стремительно, что всего за десять лет стал полностью конкурентоспособным по отношению к «классике». Сегодня КПД светодиодов составляет уже 60 %, почти в десять раз превзойдя аналогичный показатель ламп накаливания, и продолжает увеличиваться. При этом срок его службы в десятки раз больше. Именно благодаря своей экономичности, долговечности и неприхотливости в эксплуатации новый источник света начал вытеснять классические лампы [4].

Производители светодиодов продолжают активно совершенствовать технологию. Световая отдача лучших современных серийных светодиодов достигла 160 лм/Вт. Другими словами, светодиоды по эффективности превосходят натриевые лампы высокого давления – самые эффективные из традиционных источников света (их светоотдача составляет 140–150 лм/Вт). Однако 160 лм/Вт – это не предел [5].

По данным исследовательской компании TrendForce [6], из-за воздействия пандемии COVID-19 в 2020 г. выручка от продажи светодиодной продукции не только пошла по нисходящей траектории, но и достигла масштабов, редко наблюдаемых в последние годы. С началом вакцинации в первой половине 2021 г. ожидается резкое снижение спроса на рынке светодиодной продукции. Следовательно, выручка мирового рынка светодиодов (т. е. выручка от упакованных светодиодов плюс выручка от мини-, микросветодиодных чипов, непосредственно используемых в задней подсветке и других самоизлучающих продуктах), вероятно, также будет соответствующим образом восстанавливаться в этом году, увеличившись на 8,1 % до прогнозируемой в размере 16,53 млрд долл. в 2021 г. (рис. 1). Большая часть этого увеличения может быть отнесена к четырем основным категориям, включая автомобильные светодиоды, мини-, микросветодиоды, светодиоды для видеостен и ультрафиолетовые/инфракрасные (УФ/ИК) светодиоды.

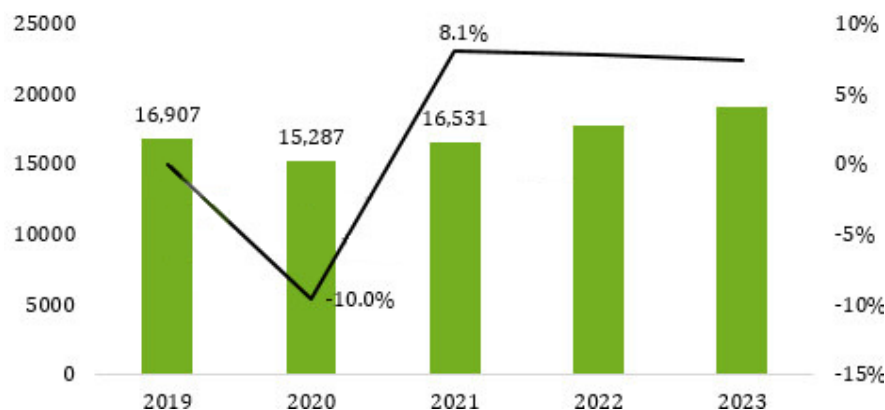


Рис. 1. Прогноз роста дохода производителей светодиодов:
— Led Market Revenue, — YOY Change

В целом постепенное восстановление и рост спроса на традиционные светодиодные приложения, а также предстоящее наращивание нишевых светодиодных технологий будут основными драйверами доходов рынка светодиодов. В то же время ожидается, что как спрос, так и выручка в светодиодной отрасли выйдут на восходящую траекторию, что связано с двумя факторами. Во-первых, улучшение спроса и предложения в светодиодной индустрии позволило стабилизировать цены на большинство светодиодных продуктов, а на некоторые продукты цены даже выросли. Во-вторых, новые светодиодные приложения требуют более высоких средних продажных цен (ASP) и валовой прибыли. Таким образом, TrendForce считает, что производителям светодиодов больше не придется снижать цену за счет увеличения количества заказов. Поэтому ожидается, что в результате компании, работающие в светодиодной отрасли, сообщат о повышении прибыли.

Общая характеристика светодиодных источников света

LED, или светодиод – это полупроводниковый прибор, преобразующий электрическое напряжение в свет. От химического состава полупроводника зависит спектральный диапазон излучаемого света [7]. Использование LED технологии в освещении промышленности относительно новое явление. Это прежде всего потому, что высокая интенсивность устройства стала доступна только в последние годы.

Существует два возможных подхода производства света светодиодом [8].

Первый был впервые использован в Японии в 1996 г.: синий светодиод покрыт белым фосфором. Когда голубой свет попадает на внутреннюю поверхность фосфора, она излучает белый свет. Эта технология в настоящее время рассматривается в коммерческих целях, но все еще есть некоторые опасения по поводу жизненного цикла технологии. Пример данной технологии подробно описан в статье [9].

Второй способ получения белого света заключается в использовании аддитивного смешивания трех цветов: красного, зеленого и синего. Концепция смешивания светоотдачи светодиодов была впервые реализована в 1979 г.

С момента создания светодиодных ламп область их применения существенно расширилась, ведь сначала они применялись исключительно в электронных устройствах в качестве ламп индикации и оповещения. И только относительно недавно светодиодные лампы сначала использовались как источник декоративного освещения, а со временем, как и полноценный источник света.

Современная область применения светодиодных ламп достаточно широка – начиная от использования в электронных приборах, осветительных приборах автомобилей и заканчивая освещением квартир, улиц и проспектов.

В качестве источников освещения светодиодные лампы применяются в следующих основных областях:

- светодиодные лампы для уличного освещения, позволяющие получить значительную экономию электроэнергии, ведь дешевые фонари, которые использовались раньше для освещения городских улиц, имели высокий уровень потребления электроэнергии;
- светодиодные лампы для производственных и офисных целей, освещающие производственные и офисные помещения различной площади и назначения;
- светодиодные лампы для освещения производственных зданий и архитектурных сооружений. Основная сфера применения ламп этого типа – внешняя подсветка зданий и сооружений;
- бытовые светодиодные лампы, подразделяющиеся на два основных типа: лампы освещения и декоративные лампы.

Кроме этого светодиодные лампы применяются и в светодиодных прожекторах, которые используются во многих областях и позволяют получать мощные и надежные источники света.

Еще одна область применения светодиодных ламп – всевозможные компактные переносные фонари и небольшие прожекторы, работающие на автономных источниках питания, таких как батарейки, или аккумуляторы.

В целом область применения светодиодных ламп расширяется с каждым годом, ведь на сегодняшний день они являются самым надежным и долговечным источником света, позволяющим к тому же значительно снизить уровень потребляемой электроэнергии.

Описание и принципиальная схема светильника со светодиодной матрицей F6040

Светильник предназначен для освещения улиц, площадей, мостов, парковых зон и зон отдыха, а также для подсветки зданий и сооружений.

Внешний вид светодиодной матрицы представлен на рис. 2, технические характеристики [10] – в табл. 1.

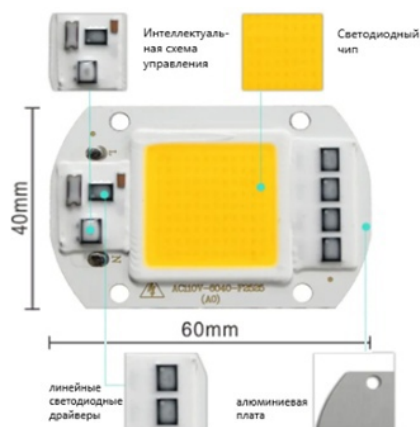


Рис. 2. Внешний вид светодиодной матрицы

Таблица 1

Технические характеристики

Модель	F6040
Материал подложки (основания)	Алюминий
Цвет	Холодный белый, теплый белый

Окончание табл. 1

Модель	F6040
Мощность	30 Вт
Размеры	60 · 40 · 0,14 мм
Напряжение	AC220V
Светодиодный модуль светодиода	Умный чип COB
Индекс цветопередачи	Ra80
Цветовая температура:	
– холодный белый	5800–6500 К
– теплый белый	2500–3200 К
Рабочая частота	50 Гц
Эффективность светодиодов	87 Лм/Вт
Рабочий диапазон температур	–40 °С ... +100 °С
Ресурс светодиода	> 30 000 ч
Вес	30 г
Стоимость	\$3,45–7,62

На данной матрице светодиоды расположены близко друг к другу, покрыты общим слоем люминофора и защищены массой, напоминающей пластичный клей.

Белая субстанция по периметру матрицы, защищающая схему драйвера, похожа на резину или термоклей – нетвердая, упругая масса. Это позволило снять ее с наиболее выступающих частей корпуса и определить, что один из них – диодный мост MB10S с максимальным постоянным обратным напряжением 1000 вольт и максимальным прямым током 0,5 ампер [11].

Остальные три части корпуса ВР5132Н – линейные светодиодные драйверы, которые можно использовать с симисторными диммерами для регулировки яркости с интегрированным полевым транзистором [12].

Для проведения испытаний мощных светодиодов матрицам необходим радиатор, в качестве которого был выбран радиатор от процессора. Саморезами через термопасту матрица была закреплена на радиаторе. Испытания проводились с использованием принудительного охлаждения штатным куллером от данного радиатора для ПК (рис. 3).



Рис. 3. Внешний вид светодиодного светильника с матрицей F6040

Экспериментальная часть

Оценка влияния величины напряжения питания на электрические и световые характеристики светодиодной матрицы F6040

Измерение зависимости освещенности, коэффициента пульсации от напряжения питания при разных высотах подвеса выполнялось методом пошаговой фиксации освещенности в зависимости от изменения напряжения питания. В данном опыте использовались приборы вольтметр и люксметр, полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость освещенности и коэффициента пульсации светильника от напряжения при разных высотах подвеса

$U, В$	246	200	175	150	130
$L, см$	15				
$E, лк$	9356,9	7566,3	5429,3	1676	45,7
$K, \%$	95,7	119,3	162,8	214	329,8
$L, см$	50				
$E, лк$	2332,2	1882,9	1242,8	413,7	15,3
$K, \%$	94,9	116,8	161,3	209,8	265,9
$L, см$	100				
$E, лк$	589,9	478,4	334,5	109	7,9
$K, \%$	93,4	115,5	156,9	195	139,9
$L, см$	150				
$E, лк$	274,8	221,2	157,6	72,2	–
$K, \%$	90,6	113,3	152,6	184,7	–
$L, см$	200				
$E, лк$	172	129,6	97,3	60,6	–
$K, \%$	82,1	108,9	135,7	179,3	–

Зависимости освещенности и коэффициента пульсации светильника от напряжения при высоте подвеса в 2 м приведены на рис. 4.

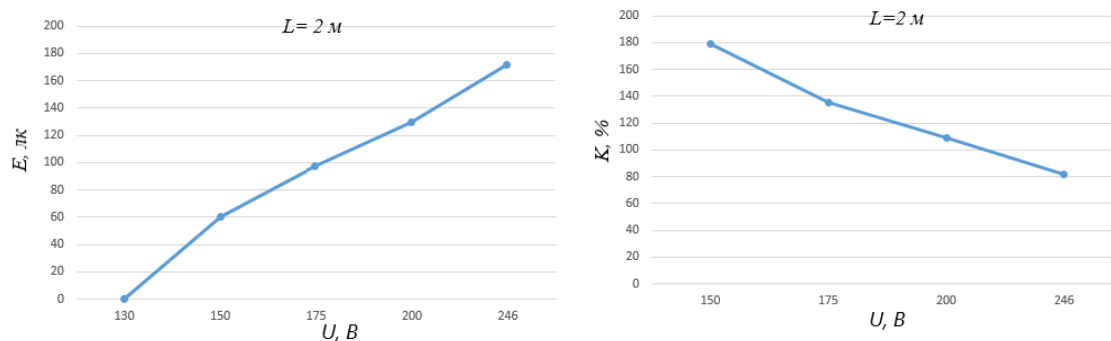


Рис. 4. Зависимость освещенности и коэффициента пульсации светильника от напряжения при высоте подвеса в 2 м

Из анализа табл. 2 и рис. 4 следует, что освещенность значительно изменяется в широком диапазоне питающего напряжения 130–250 В. Значение освещенности достигает максимального значения при напряжении питания 246 В. Коэффициент пульсации светильника в 10 раз превышает нормируемое значение.

Определение электропотребления светильника при работе без и с принудительным охлаждением

Выполним сравнительный анализ электропотребления светильника без и с принудительным охлаждением. Согласно сайту производителя [10], номинальные параметры светильника: мощность – 30 Вт; напряжение – AC220V.

Результаты измерения мощности данного светильника с помощью амперметра и вольтметра для двух видов охлаждения приведены в табл. 3, 4 и на рис. 5.

Таблица 3

Мощность светильника с отключенным вентилятором

$U, В$	246	220	200	175	150	130	113
$I, А$	0,156	0,138	0,132	0,10	0,082	0,032	0,006
$S, В \cdot А$	38,38	30,4	26,4	17,5	12,3	4,16	0,678

Таблица 4

Мощность светильника с включенным вентилятором

$U, В$	246	220	200	175	150	130	113
$I, А$	0,17	0,155	0,145	0,12	0,11	0,10	0,075
$S, В \cdot А$	41,82	34,1	29	21	16,5	13	8,48

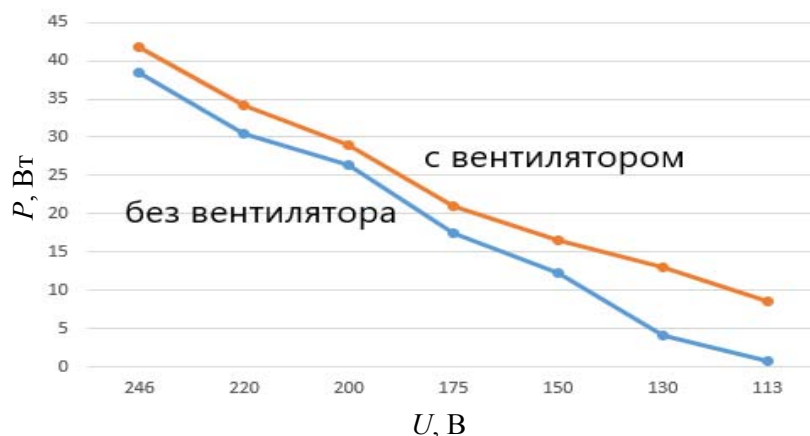


Рис. 5. Зависимость мощности от напряжения

Из анализа полученных результатов следует: при измерении мощности светильника на номинальном напряжении полученная мощность соответствует заявленной заводом изготовителем. При включении вентилятора увеличивается ток светильника, а следовательно, и его мощность. Таким образом, принудительное охлаждение светильника увеличивает его электропотребление, однако также увеличивает его срок службы за счет уменьшения температуры при продолжительной работе.

Зависимость температуры светильника от времени нагрева

В ходе проведения эксперимента было определено время нагрева и максимальная температура светильника при охлаждении радиатором при включенном и отключенном вентиляторе от ПК.

Измерения проводились в центральной точке светодиода в течение 10 минут (до достижения установившейся температуры) с промежуточными результатами, которые записывались каждые 30 секунд при напряжении сети 220 В. Температура помещения в начале измерений составила 20 °С. Полученные зависимости представлены на рис. 6 и 7.

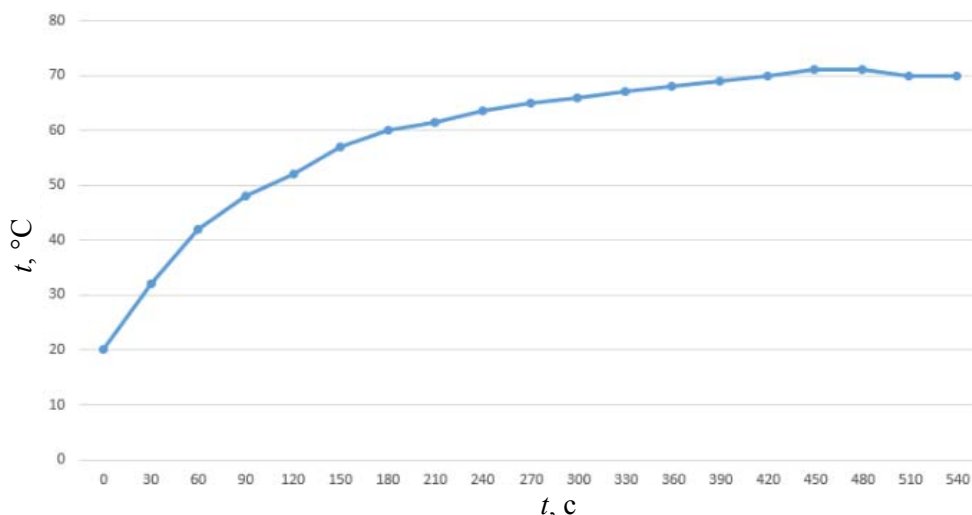


Рис. 6. Зависимость температуры от времени при отключенном вентиляторе

Из анализа рис. 6 следует, что на 7-й минуте температура достигает установившегося значения (70 °С), следовательно, данный светодиод может работать без принудительного охлаждения. Необходимо отметить, что при достижении максимальной температуры в данной матрице срабатывает защита, после чего потребление светодиода уменьшается и температура падает. Однако для увеличения срока службы светодиода необходимо уменьшить температуру длительной работы.

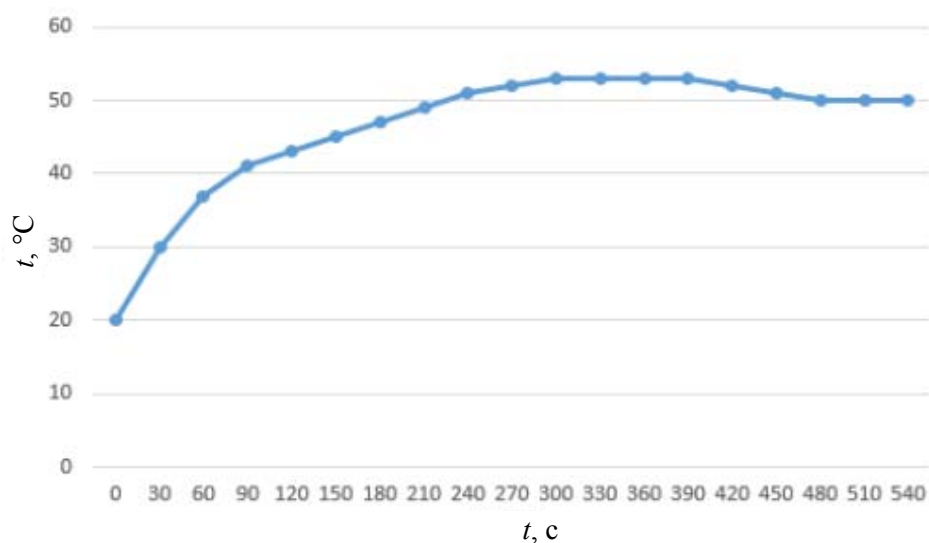


Рис. 7. Зависимость температуры от времени при включенном вентиляторе

Из анализа рис. 7 следует, что на 8-й минуте температура достигает установившегося значения ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$), что значительно меньше температуры при работе светодиода без принудительного охлаждения. Как и в предыдущем опыте, в первые минуты светодиод достигает максимальной температуры ($53\text{ }^{\circ}\text{C}$), после чего она равномерно снижается до установившегося значения.

Сравнительный анализ световых характеристик различных типов светильников

Величина освещенности определялась для расстояний до источника $h = 0,15, 0,5, 0,75, 1, 1,25, 1,5, 1,75$ и 2 м. Для сравнения приведем результаты измерения освещенности и коэффициента пульсации светодиодного светильника и светильника с лампой ДРЛ-250 для тех же расстояний (табл. 5).

Таблица 5

Зависимость освещенности и коэффициента пульсации от расстояния до источника

Расстояние до источника, см	Светодиодный светильник		Светильник с лампой ДРЛ	
	E , лк	K , %	E , лк	K , %
15	8779,3	106,8	16300	88,5
50	2055,8	105,2	5775,8	87,1
75	940,6	104,2	2781,5	88,4
100	528,5	102,5	1583,9	88,9
125	350	101	1100,6	87,3
150	242	99,3	787,1	86,1
175	183,3	98,2	598	86,4
200	143,2	96,2	214	77,3

Полученные зависимости освещенности и коэффициента пульсации от расстояния для светодиодного светильника представлены на рис. 8 и 9.

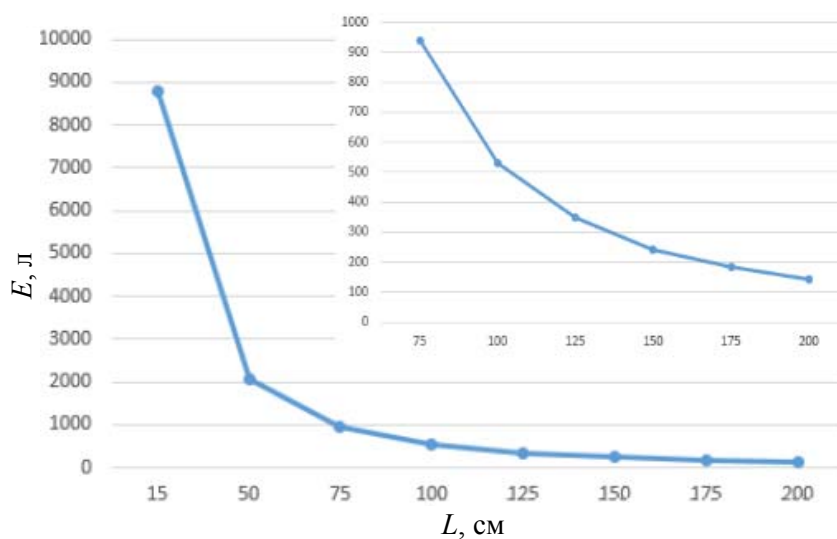


Рис. 8. Зависимость освещенности от расстояния до светодиодного светильника

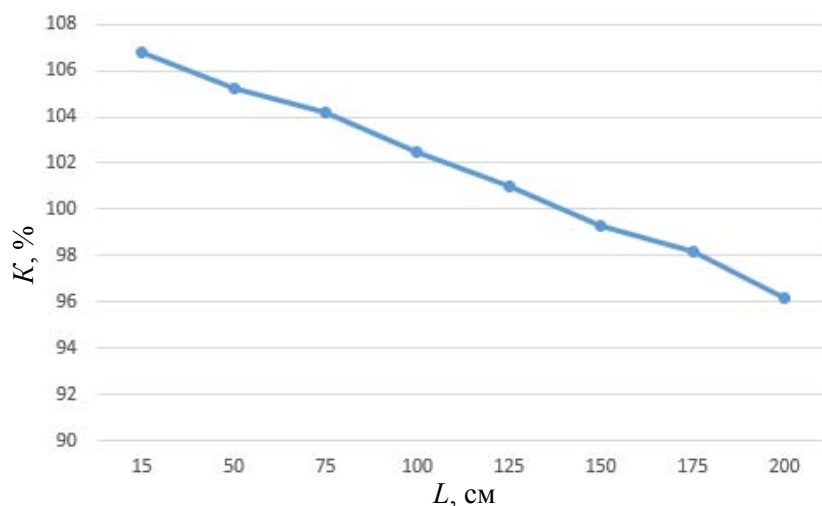


Рис. 9. Зависимость коэффициента пульсации от расстояния до светодиодного светильника

Из анализа рис. 8 и 9 можно сделать вывод, что освещенность $E \geq 300$ лк достигается при расстоянии до источника $L \leq 136$ см, а освещенность $E \geq 150$ лк – при расстоянии до источника $L \leq 197$ см. Минимальный уровень освещенности для уличного освещения и освещения подсобных помещений $E \geq 20$ лк достигается на всех исследуемых расстояниях.

В рамках эксперимента также построим зависимости при наклоне светильника на 45° (табл. 6, рис. 10, 11).

Таблица 6

Зависимость освещенности и коэффициента пульсации от расстояния до источника при наклоне светильника на 45°

Расстояние до источника, см	Светодиодный светильник		Светильник с лампой ДРЛ	
	E , лк	K , %	E , лк	K , %
15	5891,3	106,1	5949	88,8
50	1444,9	105,1	3030,3	88,7
75	652,9	103,5	1683,9	88
100	358,5	102,4	1343,6	88
125	252,9	101,1	924	87,7
150	187,9	98,9	669,7	87,4
175	146,5	96,5	485,1	87,3
200	115,6	94	406,7	87

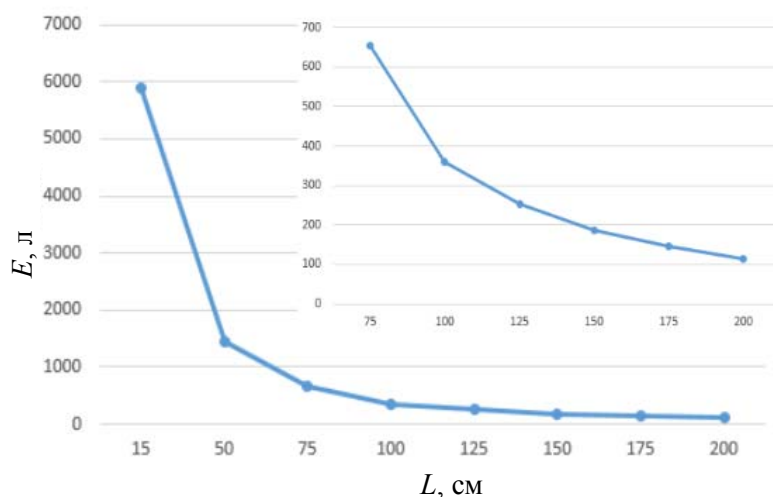


Рис. 10. Зависимость освещенности от расстояния до светодиодного светильника при наклоне светильника на 45°

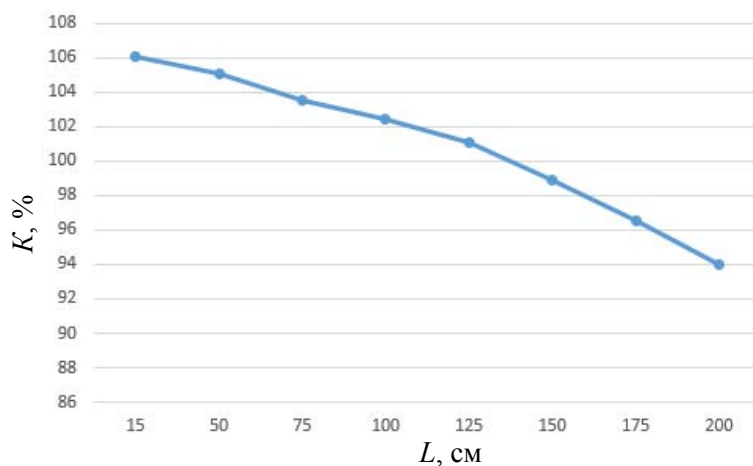


Рис. 11. Зависимость коэффициента пульсации от расстояния до светодиодного светильника при наклоне светильника на 45°

Из анализа рис. 10 и 11 можно сделать вывод, что светодиодный светильник уступает светильнику с лампой ДРЛ-250 по световым характеристикам, однако в случае применения нескольких светодиодных матриц в светильнике можно увеличить значение освещенности, что по энергопотреблению все равно будет меньше, чем потребление светильника с лампой ДРЛ. Следовательно, данный тип светильника может применяться для уличного освещения и является более экономичным.

Возможная область применения

Исходя из проведенных опытов, можно сделать вывод, что данная светодиодная матрица непригодна для освещения жилых и производственных помещений из-за высокого коэффициента пульсации. При пульсации, осуществляющейся с частотой до 80 Гц, происходит активное раздражение нервной системы и человек стремится на подсознательном уровне покинуть данное помещение, чтобы выйти из области дискомфорта.

Если пульсация будет иметь ярко выраженный характер, то может возникнуть реальная угроза производственной травмы. Например, если частота мигания совпадает с частотой вращения диска пилы, то у работника может возникнуть обманчивое

ощущение, что диск находится в статичном положении. Мигание с частотой от 80 до 300 Гц при длительном воздействии на человека приводит к нарушению гормонального фона и общему снижению работоспособности, человек становится эмоционально восприимчивым и крайне раздражительным.

При рассмотрении нормативных документов можно обнаружить самую жесткую норму коэффициента пульсации – не более 5 % для помещений с мониторами, и самую мягкую – не более 20 % для многих других помещений [13], [14].

Таким образом, область применения данной матрицы – общее освещение улиц, подсобных помещений, так как коэффициент пульсации для них не регламентируется, а измеренное значение освещенности при системе общего освещения удовлетворяет нормативным требованиям.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Основным недостатком светильника со светодиодной матрицей F6040 является значительное превышение нормируемого значения пульсации, которое составило > 80 %. К примеру, согласно ТКП 45-2.04-153–2009 (02250) в помещениях для работы с дисплеями и видеотерминалами предельное значение коэффициента пульсации составляет 5 %.

2. Рассмотренный в работе светильник обладает малым потреблением мощности (30 Вт), в то время как по значению освещенности он соизмерим с лампой ДРЛ-250. Светодиодная матрица имеет небольшие размеры, что дает возможность размещать ее на различных поверхностях при усовершенствовании системы охлаждения. Средняя стоимость данной матрицы составляет 17,6 бел. руб. Следовательно, даже при превышении цены на данную матрицу над стандартными лампами ДРЛ, ее применение будет более выгодным, из-за меньшего электропотребления.

В результате анализа электрических и световых характеристик светодиодной матрицы была определена область ее возможного применения: общее освещение улиц, подсобных помещений, коридоров, складов и т. д. с высотой подвеса не более 3 м, подсветка зданий и сооружений.

Литература

1. О государственной программе «Энергосбережение» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 24 февр. 2021 г., № 103.
2. Байнева, И. И. Современные энергоэкономичные технологии освещения / И. И. Байнева // НИР. Экономика фирмы. – 2017. – № 2. – С. 19–24.
3. Фомин, Н. А. Безэлектродные источники света. Мечта о «Неугасаемой лампаде» становится реальной / Н. А. Фомин, Д. В. Стахович // Энергия и менеджмент. – 2010. – № 2. – С. 26–27.
4. Евдасеев, И. Рейтинг осветительных установок производственного цеха / И. Евдасеев // LUMEN&EXPERTUNION. – 2012. – № 2. – С. 8–114.
5. Преимущества светодиодного освещения // Светодиодные светильники. Промышленное светодиодное освещение. Уличные, офисные, промышленные светодиодные светильники для ЖКХ. Компания LEDEL, светотехника на светодиодах. – Режим доступа: <http://www.ledel.ru/menuleft/privilege>. – Дата доступа: 15.04.21.
6. Прогноз мирового рынка светодиодного освещения на 2021 год // TrendForce: прогноз мирового рынка светодиодного освещения на 2021 год и анализ возможностей и проблем. – Режим доступа: <https://leds-test.ru/trendforce-prognoz-mirovogo-rynka-svetodiodnogo-osveshheniya-na-2021-god-i-analiz-vozmozhnostej-i-problem/>. – Дата доступа: 16.04.21.

7. Кизева, В. С. Сравнительный анализ различных источников света и оценка электромагнитной совместимости безэлектродных (индукционных) и светодиодных источников света / В. С. Кизева // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIII Междунар. межвуз. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко [и др.]. – Гомель, 2013. – С. 491–494.
8. Закгейм, А. Л. Светодиодные системы освещения: эффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья (обзор) / А. Л. Закгейм // Светотехника. – 2012. – № 6. – С. 12–20.
9. Добродей, А. О. Современное состояние проблемы светотрансформирующих материалов для создания белых светодиодов / А. О. Добродей, Е. Н. Подденежный // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2011. – № 1. – С. 51–55.
10. Характеристики светодиодной матрицы F6040 // Свет и освещение. Осветительные аксессуары. Светодиодные чипы. – Режим доступа: https://www.banggood.com/40-X-60MM-30W-2600LM-WarmWhite-DIY-COB-LED-Chip-Bulb-Bead-For-Flood-Light-AC110220V-p-1124766.html?admitad_uid=16c49e1af394c751ce0b1cfc0d27e401&utm_content=506321&tagtag_uid=16c49e1af394c751ce0b1cfc0d27e401&cur_warehouse=CN&ID=383748036. – Дата доступа: 16.01.21.
11. Технический паспорт диодного моста MB10S. – Режим доступа: <https://go.mysku.ru/?r=https%3A%2F%2Flib.chipdip.ru%2F605%2FDOC000605561.pdf&key=ms&s=msab.87a0e8a>. – Дата доступа: 17.04.21.
12. Технический паспорт линейного светодиодного драйвера BP5132H. – Режим доступа: https://go.mysku.ru/?r=http%3A%2F%2Fwww.bpsemi.com%2Fuploads%2Ffile%2F20161215114728_476.pdf&key=ms&s=msaa.bad1c59. – Дата доступа: 17.04.21.
13. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153–2009. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва, 2010. – 100 с.
14. Естественное и искусственное освещение : СН 2.04.03–2020. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва, 2021. – 63 с.

Дата получения 15.11.2021 г.