

Новая стратегия преобразования традиционного дорожного освещения в умное¹

М.Е. ГЮРСОЙ, Б. ДИНДАР, О. ГЮЛЬ

Стамбульский технический университет, Стамбул, Турция

E-mail: mustafaeyyupgursoy@gmail.com, burakdindar@itu.edu.tr, gulomer@itu.edu.tr

Аннотация

В последние годы наблюдалось быстрое увеличение количества исследований в области проектирования и применения умного дорожного освещения (УДО). Однако применение УДО всё ещё остаётся на стадии демонстрационных проектов и не получает достаточно широкого распространения. Основная причина этого заключается в том, что хотя стоимость светильников с СД и уменьшилась, при переводе существующего дорожного освещения на светильники с СД нельзя использовать существующие электроустановки и опоры. Капитальные затраты, связанные с модернизацией существующих электроустановок и опор, уменьшают заинтересованность в переходе на УДО. В данной работе был в первую очередь сконструирован новый светильник с СД, который может работать без изменения существующих электроустановок и опор. Затем в программе *Dialux* была создана контрольная дорога, применительно к которой было проведено сравнение осветительной установки с новыми светильниками и традиционной установкой дорожного освещения. Предложенный вариант дешёвого УДО может способствовать интенсификации перехода на УДО.

Ключевые слова: энергоэффективность, светильник с СД, освещение, проектирование дорожного освещения, умное дорожное освещение.

1. Введение

В настоящее время коммуникационные возможности различных устройств увеличиваются по мере технического прогресса. В этой связи проводятся многочисленные исследования и разрабатываются разные концепции, одной из которых является

Индустрия 4.0 (*Industry 4.0*). В рамках Индустрии 4.0 стало возможным создание более быстрой сети объектов, получившей название Интернет вещей (*Internet of Things*), в которой физические объекты согласованы друг с другом или с более обширными системами [1]. Так что объекты, которыми ранее управляли люди, сейчас могут связываться друг с другом при помощи программного обеспечения и оборудования, включая алгоритмы, искусственный интеллект и беспроводные средства связи, которые и решают, как эта система работает.

Переменные, которые люди могут упустить по небрежности, эффективно учитываются, так как в Интернете вещей механизм принятия решений работает без участия людей [2]. Все эти технические разработки были внедрены и в дорожное освещение. В установках умного дорожного освещения (УДО) внешние параметры измеряются фотокамерами и датчиками. Для получения нужных данных результаты измерений обрабатываются при помощи алгоритмов [3]. Эти данные передаются в сеть при помощи беспроводных средств связи. Управление осуществляется в результате обработки данных в центральных узлах управления. Таким образом формируются установки УДО, не требующие участия людей и обеспечивающие значительное увеличение эффективности дорожного освещения.

Для преобразования существующих традиционных установок дорожного освещения в умные, необходимо дополнить существующие установки датчиками и сформировать коммуникационные сети, а также заменить существующие светильники на регулируемые. Натриевые лампы высокого давления (НЛВД), которые используются в традиционных установках дорожного освещения, регулировать трудно, а уровни их светорегулирования незначительны. Частое изменение

яркости НЛВД приводит к уменьшению их сроков службы. Время их включения и выключения также велико. СД лампы быстро переключаются из одного режима работы в другой, их яркости можно регулировать точно и с большой лёгкостью, а время их включения и выключения очень мало [4]. Кроме того, светильники с СД генерируют меньше гармоник, чем светильники с НЛВД [5]. Благодаря этим своим особенностям, в установках УДО СД являются более предпочтительными, чем НЛВД.

Традиционные установки дорожного освещения не обеспечивают освещение, отвечающее потребностям изменяющихся дорожных и погодных условий [6]. Многие важные для дорожного освещения параметры, такие как интенсивность и скорость дорожного движения, изменяются мгновенно. Так что как безопасность водителей и их комфорт, так и энергоэффективность осветительных установок вовсе не идеальные. Хорошо спроектированное дорожное освещение обеспечивает экономии энергии, времени, труда и затрат [7]. Капитальные затраты на УДО велики, что обусловлено потребностью в дополнительной оборудовании [8, 9]. Ещё одной важной причиной увеличения капитальных затрат является необходимость изменения используемых в существующих установках дорожного освещения шага между опорами и высоты опор, так как без этого светильники с СД не могут обеспечивать эффективное освещение. При изменении шага между опорами дорожного освещения необходимо заменить всю электрическую установку, а изменение высоты опор приводит к необходимости использования новых опор. Всё это существенно увеличивает стоимость УДО. Поэтому трудно ожидать широкого распространения УДО и их одобрения принимающими решения лицами, особенно в развивающихся странах, таких, как Турция, где капиталовложения осуществляются при дефиците ресурсов. В противовес капитальным затратам, можно ожидать уменьшения эксплуатационных расходов благодаря высокой энергоэффективности УДО. На энергоэффективность УДО влияют два основных фактора. Во-первых, это использование СД вместо НЛВД. СД имеют гораздо большую эффективность, чем НЛВД, которые используются в тради-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

ционных установках дорожного освещения, так что установки с СД потребляют значительно меньше энергии. Во-вторых, при использовании светильников с СД можно обеспечить эффективное светорегулирование. Ещё одним важным следствием перехода на СД является уменьшение выбросов CO_2 . В исследовании, проведенном в Саудовской Аравии, было показано, что если для выработки энергии, расходуемой на освещение, использовать нефть и нефтепродукты, то выбросы CO_2 оказываются на 900 % больше, чем при использовании возобновляемых источников энергии [10].

Учитывая обеспечиваемые УДО преимущества, такие как уменьшение энергопотребления и выбросов CO_2 , а также увеличение комфорта для водителей, можно прийти к выводу, что УДО следует быстро развивать. В данном исследовании предлагаются варианты уменьшения затрат, позволяющие ускорить переход на УДО, которое при этом реализуется посредством замены светильников с НЛВД на светильники с СД без изменения существующих электрических систем и опор. В результате уменьшаются капитальные затраты. С этой целью был разработан светильник с СД, предназначенный для установки на существующих опорах. Проведено исследование связи между геометрией опор и кривыми силы света разработанных светильников. В программе *Dialux* была создана контрольная дорога, применительно к которой и были проверены разработанные решения. Предложенное решение было сопоставлено с традиционным дорожным освещением и с ситуацией, в которой была реконструирована вся осветительная установка.

2. Умное дорожное освещение

Разработка УДО осуществляется с учётом двух важных условий. Первое условие состоит в том, что дорожное освещение должно удовлетворять рекомендациям и нормам, принятым и применяемым во всём мире. Второе условие предполагает обеспечение взаимосвязи между оборудованием, используемым в установках дорожного освещения. В данной работе проектирование дорожного освещения осуществляется с использованием рекомендаций Международной комиссии по освеще-

нию (МКО) и протокола беспроводной связи *Zigbee* [11, 12].

Согласно международным стандартам и рекомендациям, наиболее важным для УДО параметром является яркость поверхности дороги. В техническом отчёте МКО *CIE140–2000* подробно описаны все параметры, позволяющие обеспечить требуемую яркость [11]. В тех случаях, когда в результате светорегулирования имеет место изменение класса дороги по освещению, эти параметры должны быть приведены в соответствие с каждым из этих классов. В данной работе рассмотрение осуществляется применительно к классам дорог по освещению от *M1* до *M5*, и соответствующие им параметры учитываются для обеспечения успешного освещения этих дорог.

Ещё одним важнейшим элементом УДО является беспроводная связь, благодаря которой всей осветительной установкой можно управлять из одной точки. Такое осуществляемое из одной точки управление позволяет заменить контроль со стороны людей на полностью автономное управление при помощи компьютерных программ. Это позволяет рассчитать значения переменных для очень сложного дорожного освещения и обеспечить динамическое и эффективное освещение.

В УДО используется беспроводная сеть передачи данных, основанная на протоколе *Zigbee*, который позволяет сформировать быструю и простую сеть [12]. Протокол *Zigbee* обеспечивает связь на радиоволнах, которые распространяются в пространстве со скоростью света. Скорость распространения радиоволн следует учитывать, так как с ней связана задержка при расчёте скоростей движущихся по дороге транспортных средств.

3. Практические примеры

Перед тем, как сделать дорогу «умной» и разработать оптимальный проект, следует проанализировать ответы на ряд вопросов (какая должна быть топология сети; какова стратегия, которой осветительная установка будет следовать в случаях возможных отказов; как динамическое освещение повлияет на водителей; и др.) и провести испытания. В данной работе компьютерными средствами была создана контрольная дорога, позволившая установить, почему дорожное ос-

вещение следует сделать умным и какой метод формирования УДО будет наиболее удачным.

3.1. Создание контрольной дороги

Создание контрольной дороги осуществлялось в соответствии с требованиями к СД освещению, разработанными Турецкой корпорации по распределению электрической энергии (*TEDAS*) [13]. Контрольная дорога имела три полосы шириной 3,3 м каждая и длину 1000 м. При размещении опор вдоль этой дороги, первая опора располагалась на равном половине шага между опорами расстоянии от начала дороги. Количество опор определялось соответствующим образом.

Контрольная дорога создавалась применительно к трём разным сценариям. Первому сценарию соответствовало традиционное дорожное освещение. В рамках второго сценария осуществлялась только замена светильников с НЛВД, которые использовались в традиционной осветительной установке, на светильники с СД. В этом случае были изменены только светильники, тогда как остальные параметры, такие как шаг между опорами и высота опор, оставались такими же, как и в случае традиционного дорожного освещения. В рамках третьего сценария подбирались все параметры осветительной установки, такие как шаг между опорами, высота опор, светильники и т.д. В результате была создана установка УДО. Подробное описание этих сценариев приведено в табл. 1.

В третьем сценарии параметры выбирались таким образом, чтобы минимизировать энергопотребление. Сценарии можно с большой точностью сравнивать применительно к их энергоэффективности. Для всех сценариев при разных интенсивностях движения транспорта обеспечивались яркости дорожного покрытия, лежащие между значениями, соответствующими классам дорог по освещению от *M1* до *M5*.

3.2. Исследование влияния геометрии опор

Геометрия опор играет важную роль в дорожном освещении. Геометрия опор и распределение силы света непосредственно связаны друг с другом. Для получения хорошей осве-

Технические характеристики светильников и опор в различных сценариях

	Классическое дорожное освещение	Заменены только светильники	Полностью преобразованная осветительная установка
Мощность светильника, Вт	447	305	243
Световой поток светильника, лм	45866	45192	28862
Высота опоры, м	14	14	10
Шаг между опорами, м	40	40	35
Количество опор, шт.	25	25	29
Длина консоли, м	2,5	2,5	3
Угол наклона консоли, град.	0	0	0
Расположение опор	В один ряд, справа	В один ряд, справа	В один ряд, справа

тительной установки требуется либо определять геометрию опор, исходя из выбранного распределения силы света светильников, либо выбирать светильники с учётом конкретной геометрии опор.

Были проанализированы кривые силы света (КСС) предназначенных для дорожного освещения светильников с НЛВД, опубликованные многими производителями. В результате проведённого анализа было установлено, что распределения силы света светильников с НЛВД в плоскостях C и γ имеют круговую форму. У светильников с СД КСС не имеют определённой формы. Изменяя расположение линз и СД, можно изменить и КСС. Однако увеличение высоты опор приводит к тому, что для обеспечения равномерности распределения света КСС следует растянуть вдоль дороги. КСС светильника с СД, используемого во втором сценарии, приведены на рис. 1.

Геометрия опоры определяется её высотой, длиной и углом наклона кон-

соли и расстоянием от опоры до дороги. Связь между геометрией опор и кривыми распределения силы света светильников с НЛВД была исследована при помощи программы *Dialux*. При высоте опор 14 м и равном 0,5 м расстоянии от опоры до дороги, рассмотрение сочли возможным свести к трём случаям:

- Увеличение длины консоли с шагом 0,1 м при равном 0° угле наклона консоли.

- Увеличение угла наклона консоли с шагом $0,1^\circ$ при равной 2,5 м длине консоли.

- Увеличение угла наклона и длины консоли в различных сочетаниях.

Применительно к этим трём случаям было установлено, что длина консоли должна составлять 3,5–6 м при угле наклона консоли $0-10^\circ$ или же длина консоли должна составлять 2,5–3,5 м при угле наклона консоли $5-15^\circ$.

Так как у светильников с СД распределения силы света не одинаковые, то рассмотрение с использованием программы *Dialux* не позволяет определить стандартную геометрию опор, предназначенных для установки этих светильников. Поэтому при проектировании УДО подходящие светильники с СД можно выбирать применительно к геометрии опор, исполь-

зуемой в соответствующем проекте. Так что замена существующих светильников на светильники с СД может и обеспечить требуемое освещение, и сделать осветительную установку «умной» без изменения геометрии опор, используемой в традиционном дорожном освещении.

3.3. Стратегия управления и конструкция светильников для УДО

Зависимость между регулируемым световым потоком светильников с СД, предназначенных для УДО, и их энергопотреблением является приблизительно линейной (рис. 2). Поэтому в данной работе считается, что энергия, потребляемая СД, линейно зависит от уровня светорегулирования.

Для того, чтобы сделать освещение умным только за счёт замены светильников без изменения существующей системы осветительных опор, светильники должны быть снабжены датчиками и устройствами связи. При этом светильники смогут передавать сведения о реальных изменениях условий движения транспорта и погодных условий в виртуальную среду. В данной работе в рамках второго сценария светильники, исполь-

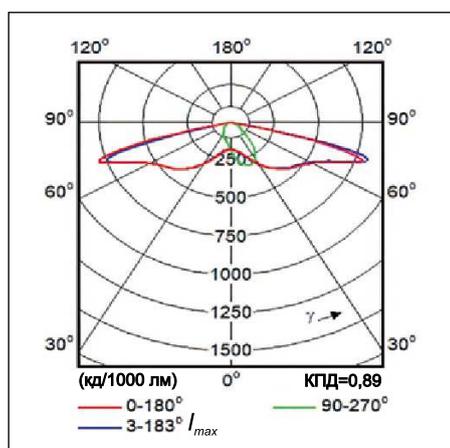
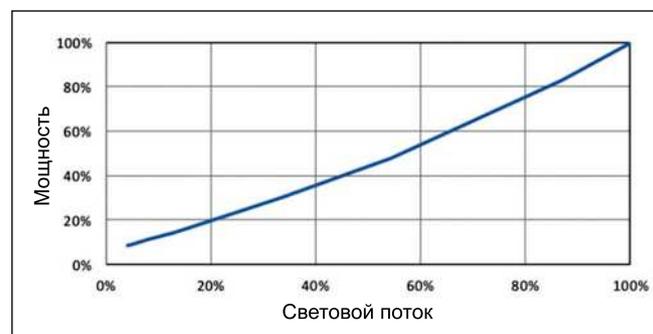


Рис. 1. Кривые силы света светильника с СД, который использовался во втором сценарии

Рис. 2. Пример светорегулирования светильника с СД: связь между выраженными в процентах мощностью и световым потоком [14]

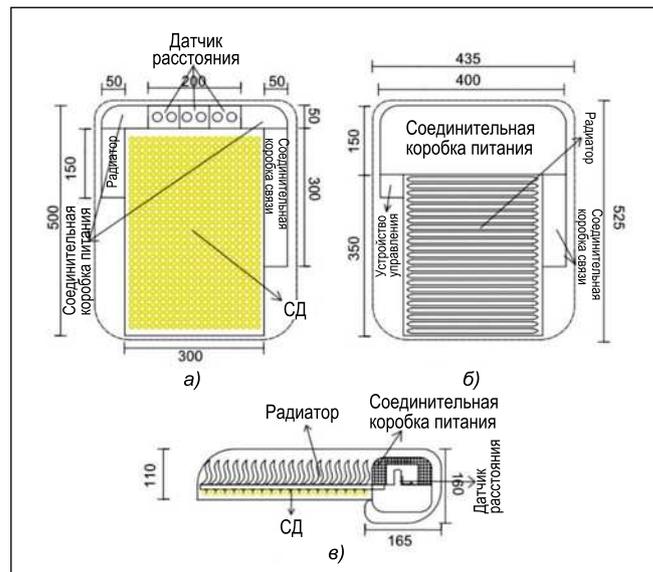


зуемые в настоящее время в традиционных установках дорожного освещения, изменяют без изменения существующей системы осветительных опор. Для того, чтобы исключить из рассмотрения расположенные внутри светильников провода, используется электрическое оборудование, которое имеет розетки и может быть закреплено на корпусе светильника. Все устройства связи, датчики, устройства управления и СД модули имеют свои гнезда. Ожидается, что это приведёт к уменьшению времени принятия решений и затрат в случае отказа светильника. На рис. 3 приведены виды светильника снизу, сверху и сбоку.

Определение скорости и интенсивности движения транспорта является критичным для УДО. Эта информация используется для регулирования светового потока СД, что позволяет обеспечить очень высокую эффективность по сравнению с традиционным дорожным освещением. Установка УДО отслеживает транспортные средства на основе информации о высоте этих транспортных средств. На рис. 4 приведены расстояния между светильником и контрольной дорогой при отсутствии (а) и наличии (б) на дороге транспортных средств.

Светильники оборудованы лазерными датчиками-дальномерами. Эти датчики пересчитывают скорость транспортного средства при прохождении каждой из опор. В результате система управления отождествляет транспортное средство посредством информации о высоте этого транспортного средства и о светильнике, мимо которого оно проезжает. Интенсивность дорожного движения определяется исходя из количества транспортных средств, проезжающих мимо опоры за заданный промежуток времени. Скорость движения транспортного средства определяется временем, которое ему требуется для преодоления расстояния между опорами, и рассчитывается следующим образом: при проезде транспортного средства перед опорой на следующую опору с определённой задержкой поступает сигнал, и время, которое транспортное средство затрачивает на достижение этой следующей опоры, измеряют с учётом этой задержки. Затем рассчитывают время, затрачиваемое радиосигналом на достижение этой следующей опоры, после чего эти два значения времени суммируют. Скорость транспортно-

Рис. 3. Изображение разработанного светильника: а – вид снизу, б – вид сверху, в – вид сбоку. Размеры указаны в мм



го средства определяют посредством деления шага между опорами на полученное значение времени.

3.4. Сравнение разных сценариев

В этом разделе применительно к компьютерной модели контрольной дороги проводится анализ годового энергопотребления для трёх рассматриваемых сценариев. В рамках этого анализа сначала на основе данных о времени захода и восхода солнца в Стамбуле определяется продолжительность работы дорожного освещения. В табл. 2 приведены среднемесячные данные о заходе и восходе солнца в Стамбуле и полное месячное время работы дорожного освещения.

После определения месячной продолжительности работы дорожного освещения, являющейся одним из базовых параметров УДО, надо решить, до какой степени следует уменьшать световые потоки источников света при разных дорожных условиях. При этом подходящее светорегулирование

должно быть обеспечено на основе результатов непрерывного наблюдения за дорогой при помощи датчиков. Для этого в соответствии с рекомендациями МКО следует определить уровень светорегулирования на основе выбора класса дороги по освещению, который осуществляется исходя из характеристик дороги, интенсивности дорожного движения и скорости транспортных средств. В данном случае для определения этих уровней светорегулирования используются данные о движении транспорта в Стамбуле (рис. 5).

В данном исследовании для сравнения сценариев используются зависящие от уровня светорегулирования световые потоки светильников, которые определяют в соответствии с рекомендациями на основе приведённых на рис. 5 реальных значений интенсивности дорожного движения в Стамбуле. На рис. 6 приведены относительные световые потоки светильников, полученные для разного времени суток.

Из рис. 6 следует, что относительные значения световых потоков светильников соответствуют почасовым

Рис. 4. Расстояние между светильником и контрольной дорогой при отсутствии (а) и наличии (б) на дороге транспортных средств. Размеры указаны в м

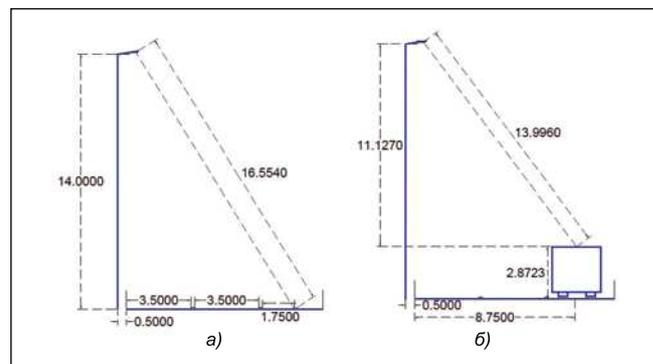


Рис. 5. Почасовая интенсивность движения транспорта в Стамбуле [16]

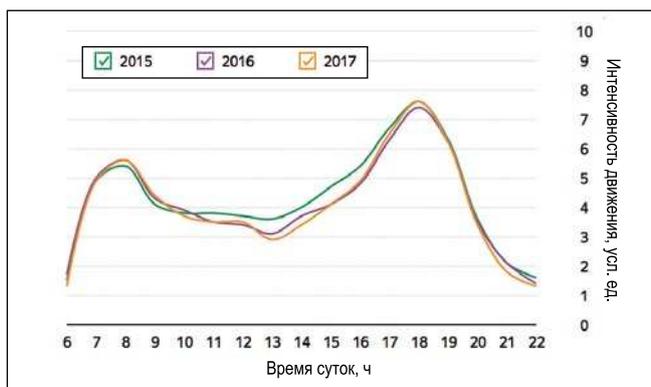


Рис. 6. Относительные значения световых потоков светильников в Стамбуле (в дневное время лампы выключены)

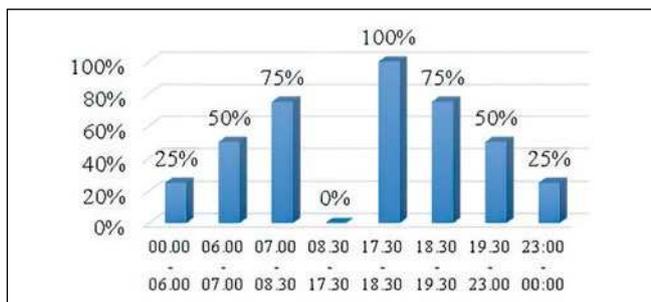
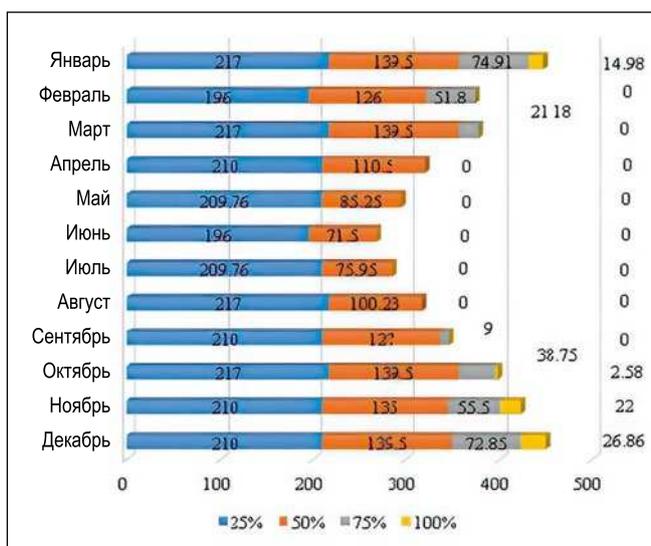


Рис. 7. Месячное время работы светильников при разных уровнях светорегулирования



интенсивностям дорожного движения, которые приведены на рис. 5. Если интенсивность дорожного движения оказывается ниже, чем 10 %, то из соображений безопасности световые потоки светильников поддерживаются на уровне 25 %. Мгновенные изменения светового потока при проведении расчётов не учитываются в связи с отсутствием соответствующих данных. В данном исследовании для дороги класса *M1* равно 2,0 кд/м² предельное нормированное значение яркости дорожного покрытия заменено на 2,6 кд/м², что облегчает сравнение умного и традиционного дорожного освещения. Кроме того, уровни яркости выбраны превышающими

минимальное нормированное значение из-за необходимости учёта коэффициентов эксплуатации светильников. Приведённые на рис. 6 относительные значения светового потока (100, 75, 50 и 25 %) удовлетворяют, соответственно, требованиям к яркости для дорог классов *M1*, *M2*, *M3* и *M4* по освещению. Для расчёта полного энергопотребления, после определения зависимости светового потока светильника от времени определяются продолжительности работы светильников при каждом уровне светорегулирования, для чего используются средние данные о заходе и восходе солнца в Стамбуле. На рис. 7 приведены месячные продолжительности ра-

боты светильников при разных уровнях светорегулирования.

На основе данных, приведённых на рис. 7, рассчитываются годовые продолжительности работы светильников при разных уровнях светорегулирования, после чего по приведённым ниже формулам для каждого из сценариев можно рассчитать годовое энергопотребление и количество сэкономленной энергии:

$$P_t^{i,j} = P_l^i \times P_r^{i,j} \times NP^i \quad (1)$$

$$E_y^{i,j} = P_t^{i,j} \times OT^{i,j} \quad (2)$$

$$E_y^i = \sum_{j \in J^i} E_y^{i,j} \quad (3)$$

где $P_t^{i,j}$ – полная мощность осветительной установки, P_l^i – мощность светильника, $P_r^{i,j} \in \{0,25; 0,5; 0,75; 1\}$ – относительная мощность, зависящая от относительной величины светового потока, NP^i – количество опор, $E_y^{i,j}$ – полное годовое потребление энергии, $OT^{i,j}$ – продолжительность работы светильников, $J = \{1; 2.1; 2.2; 3\}$ – совокупность сценариев, $i \in J$ – номер сценария, J^i – совокупность уровней светового потока для соответствующего сценария, $j \in J^i$ – уровень светового потока. Значения этих переменных приведены в табл. 1 и на рис. 6 и 7.

Для расчётов экономии энергии, обеспечиваемой разными сценариями, в качестве опорного выбрано традиционное дорожное освещение. При этом относительная экономия энергии E_s^i рассчитывается по формуле:

$$E_s^i = \frac{E_y^1 - E_y^i}{E_y^1} \times 100 \quad (4)$$

Расчитанные для всех сценариев значения годового потребления энергии и количества сэкономленной энергии, а также продолжительности работы светильников при разных уровнях светового потока, приведены в табл. 3.

Традиционное дорожное освещение характеризуется большим потреблением энергии, что обусловлено отсутствием светорегулирования и использованием НЛВД. Для исследования экономии энергии в результате использования светорегулирования и замены светильников с НЛВД на светильники с СД были рассмотрены два варианта второго сценария,

Среднее месячное время захода и восхода солнца в Стамбуле и полное время работы дорожного освещения [15]

Месяц	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Среднее время захода солнца	18:01	18:37	19:08	19:44	20:15	20:37	20:33	20:00	19:12	18:25	17:46	17:38
Среднее время восхода солнца	08:25	07:58	07:19	06:25	05:46	05:32	05:46	06:14	06:44	07:15	07:51	08:21
Полное время работы дорожного освещения, ч	446,4	373,8	377,68	320,5	295,02	267,5	285,7	317,23	346	397,83	422,5	456,22

Таблица 3

Годовое потребление энергии и количество сэкономленной энергии для всех сценариев

Относительный световой поток светильника, %	100	75	50	25	Всего	Экономия энергии (E_s), %
1. Традиционное дорожное освещение	4306,4 ч 48124 кВт·ч	–	–	–	4306,4 ч 48124 кВт·ч	0
2.1. Только замена светильников, без светорегулирования	4306,4 ч 32836 кВт·ч	–	–	–	4306,4 ч 32836 кВт·ч	31,77
2.2. Только замена светильников, со светорегулированием	66,43 ч 2454,26 кВт·ч	324 ч 1920,47 кВт·ч	1389,43 ч 5595,68 кВт·ч	2526,53 ч 4174,68 кВт·ч	4306,4 ч 12472,85 кВт·ч	74,08
3. Полностью преобразованная система	66,43 ч 2204,79 кВт·ч	324 ч 1774,89 кВт·ч	1389,43 ч 5171,44 кВт·ч	2526,53 ч 3852,23 кВт·ч	4306,4 ч 1157,37 кВт·ч	76,04

в рамках которого заменялись только светильники без замены электрической установки и опор. В первом варианте (замена светильников с НЛВД на светильники с СД без светорегулирования) экономия энергии составила 31,77 %, тогда как во втором варианте (замена светильников и светорегулирование) она оказалась равной 74,08 %. Так что светорегулирование приводит к большому увеличению экономии энергии. Однако при этом по сравнению с первым вариантом несколько увеличиваются и затраты, что в первую очередь связано с оборудованием, требующемся для обеспечения светорегулирования. В случае третьего сценария, (полная замена опор, электрической установки и светильников для обеспечения максимального энергосбережения) экономия энергии оказалась равной 76,04 %. При анализе результатов было установлено, что экономия энергии при замене только светильников оказалась почти такой же, как и экономия энергии при замене всей осветительной установки.

4. Заключение

Широкому распространению УДО препятствуют высокие затраты. В данной работе разработан подходящий светильник с СД и предложено пре-

образование традиционного дорожного освещения в УДО, не требующее замены электрической установки и опор. Было показано, что даже реализованный посредством замены только светильников переход на УДО обеспечивает очень большую экономию энергии. При этом было установлено, что хотя сценарий, в рамках которого заменяется вся осветительная установка, и является самым энергоэкономичным, капитальные затраты в этом случае оказываются очень большими. В предложенном решении затраты снижены благодаря тому, что заменяются только светильники. Показано, что УДО может быть реализовано с небольшими затратами. Снижение затрат внесёт существенный вклад в распространение УДО, особенно в развивающихся странах, в которых в настоящее время нельзя обеспечить повсеместный переход на УДО.

В данной работе не проведено подробное рассмотрение затрат для каждого из сценариев, что обусловлено отсутствием необходимых данных. Однако если сравнение затрат всё же будет проведено, то окажется, что предложенное решение требует меньших затрат по сравнению с третьим сценарием, так как оно не предполагает замену опор и электрической установки. Переход от традиционного

дорожного освещения к предложенному решению предусматривает только замену светильников. Благодаря большой экономии энергии, соответствующие затраты можно окупить за короткое время.

Тем не менее, для лиц, принимающих решения, более полезным было бы определение времени достижения точки равновесия между вариантами на основе подробного анализа затрат и выгоды с использованием метода чистой дисконтированной стоимости.

Следует отметить, что изменение класса дороги по освещению, являющееся следствием светорегулирования, осуществляющегося в целях экономии энергии, может отрицательно сказаться на безопасности. Вообще-то, уровень яркости, соответствующей дороге класса *M1* по освещению, можно уменьшать не более чем до уровня, соответствующего дороге класса *M3* по освещению. В данной работе при отсутствии движущихся транспортных средств яркость уменьшается до уровня, соответствующей дороге класса *M5* по освещению. Из соображений безопасности освещение полностью не выключают. Если транспортное средство движется по дороге, то оно регистрируется датчиками, и уровень яркости соответствующего участка дороги увеличивают до класса *M3*.

В странах с высоким уровнем допустимого риска и проблемами с энергообеспечением, допустимым вариантом может оказаться уменьшение уровня яркости до соответствующего класса дороги по освещению M5.

В данной работе выполнен только технический анализ УДО, позволивший продемонстрировать потенциальные возможности УДО в части экономии энергии. Однако только принимающие решения лица могут выбрать класс дороги по освещению, исходя при этом из соображений, связанных с энергосбережением и безопасностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Atzori, L., Iera, A., Morabito, G. The internet of things: A survey. *Computer networks* // *Computer Networks*. – 2010. – Vol. 54, No. 15. – P. 2787–2805.
2. Adriansyah, A., Dani, A.W., Nugraha, G.I. Automation control and monitoring of public street lighting system based on internet of things // *Proc. of Int. Conf. on Electrical Engineering and Computer Science*, Palembang, 2017. – P. 231–236.
3. Do, T.H., Yoo, M. An in-depth survey of visible light communication based positioning systems // *Sensors*. – 2016. – Vol. 16, No. 5. – P. 678.
4. Tähkämö, L., Räsänen, R.S., Halonen, L. Life cycle cost comparison of high-pressure sodium and light-emitting diode luminaires in street lighting // *Int. journal of life cycle assessment*. – 2016. – Vol. 21, No. 2. – P. 137–145. .
5. Gil-de-Castro, A., Moreno-Munoz, A., Larsson, A., De La Rosa, J. J. G., Bollen, M. H. J. LED street lighting: a power quality comparison among street light technologies // *Lighting Research & Technology*. – 2013. – Vol. 45, No. 6. – P. 710–728.
6. Shahzad, G., Yang, H., Ahmad, A. W., Lee, C. Energy-efficient intelligent street lighting system using traffic-adaptive control // *IEEE Sensors Journal*. – 2016. – Vol. 16, No. 13. – P. 5397–5405.
7. De Paz, J. F., Bajo, J., Rodríguez, S., Villarrubia, G., Corchado, J.M. Intelligent system for lighting control in smart cities // *Information Sciences*. – 2016. – Vol. 372, No. 12. – P. 241–255.
8. Gül, Ö., Sen, Ö. Technical and Economical Evaluation of LED Road Lighting in Turkey // *Light & Engineering*. – 2010. – Vol. 18, No. 4. – P. 29–36.
9. Гюль Ё., Шэн Ё. Техническая и экономическая оценки дорожного освещения светодиодами в Турции // *Светотехника*. – 2010. – № 4. – С. 16–22.
10. Fonseca, C.C.D., Pantoni, R.P., Brandão, D. Public street lighting remote operation and

supervision system // *Computer Standards & Interfaces*. – 2015. – Vol. 38, No. 2. – P. 25–34.

11. CIE140–2000 Road Lighting Calculations.

12. Daely, P. T., Reda, H. T., Satrya, G. B., Kim, J. W., Shin, S.Y. Design of smart LED streetlight system for smart city with Web-based management system // *IEEE Sensors Journal*. – 2017. – Vol. 17, No. 18. – P. 6100–6110.

13. TEDAŞ. (2019, March). *LED’li Yol Aydınlatma Tasarımına İlişkin Usul ve Esaslar* [Online]. Available: [http://www.tedas.gov.tr/uploads/LEDliYolAydınlatma%20TasarımınaİlişkinUsulveEsaslar%20\(Taslak\).pdf](http://www.tedas.gov.tr/uploads/LEDliYolAydınlatma%20TasarımınaİlişkinUsulveEsaslar%20(Taslak).pdf)

14. National Electrical Manufacturers Association. (2014, July). *Energy Savings with Fluorescent and LED Dimming* [Online]. Available: <https://www.nema.org/Standards/SecureDocuments/NEMALSD%2073–2015%20WATER-MARKED.pdf>

15. Time and Date. (2019). *World Clock* [Online]. Available: <http://www.timeanddate.com/worldclock/astronomy.html>

16. Yandex. (April, 2018). *İstanbul Trafik Analizi* [Online]. Available: https://yandex.com.tr/company/press_center/infographics/istanbul_traffic



Мустафа Ейюп Горсоу (Mustafa Eyyüp Gürsoy). В.С. (2019 г.). Обучается в магистратуре Стамбульского технического университета. Область научных интересов: умное дорожное освещение и энергосбережение



Бурак Диндар (Burak Dindar). В.С. (2016 г.). Обучается в магистратуре Стамбульского технического университета. Ассистент факультета электротехники Стамбульского технического университета. Область научных

интересов: умные системы распределения энергии и качество электроэнергии



Омер Гюль (Ömer Güll), Ph.D. (2001 г.). Доцент Стамбульского технического университета. Лауреат награды компании «Сименс» за научные исследования (2001 г.). Область научных интересов:

умные системы распределения энергии, рынок электроэнергии, качество и эффективность использования электроэнергии, электробезопасность, освещение, управление проектными работами в области электротехники

Зелёная энергия стала основным источником электричества в Великобритании

Первый квартал 2020 г. стал рекордным для британской возобновляемой энергетики. За первые три месяца текущего года солнце, ветер и биомасса стали основным источником электроэнергии в Соединённом Королевстве.

Как сообщает «Electrek» со ссылкой на анализ европейской энергетической компании EnAppSys, в I квартале года за счёт ВИЭ было произведено 44,6 % всей выработки – значительный рост по сравнению с 37 % годом ранее. На газовые электростанции пришлось 29,1 %, на атомные – 15,3 %, а на угольные – 3,7 %. Ещё 7,3 % страна экспортировала из-за рубежа.

Впервые возобновляемые источники энергии обошли источники на ископаемом топливе в III квартале минувшего года, однако теперь разрыв стал по-настоящему внушительным.

В пересчёте на абсолютные цифры выработка чистой энергии с января по март составила 35,4 ТВт·ч. Для сравнения, за аналогичный период 2019 г. британские ВИЭ произвели 27,2 ТВт·ч. Показатель вырос за год на 30 %.

Основной фактор, который обеспечил рекордные цифры, – благоприятные погодные условия. Стабильно сильные ветра



позволили выработать значительные объёмы энергии на ветровых электростанциях. А благодаря шторму «Сиара» 8 февраля было установлено сразу два рекорда: доля ветра в энергобалансе страны составила 56 % в моменте и 44,26 % в течение дня.

nanonewsnet.ru
17.04.2020