

Зуев С.В., канд. физ.-мат. наук,
Диденко А. А., магистрант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СИСТЕМА ОСВЕЩЕНИЯ ДЛИННОГО ВОЛНОВОГО ФРОНТА

sergey.zuev@bk.ru

Современное развитие систем освещения тесно связано с общей задачей энергоэффективности, которая, в свою очередь, решается, в том числе, в рамках конкуренции в тех отраслях, где расходы на освещение составляют существенную долю в себестоимости. Передний край развития систем освещения составляют интеллектуальные системы освещения, характеризующиеся либо наличием сопутствующей автоматизированной системы управления, либо требующие сложного моделирования при проектировании для конкретного объекта. В настоящей работе пойдет речь о системе освещения именно такого типа и основными темами статьи являются как конструкция самой системы освещения, так и вычислительный алгоритм класса роевых алгоритмов, предназначенный для ее моделирования.

Ключевые слова: моделирование систем освещения, роевые алгоритмы.

Введение. Обычными требованиями к системам освещения являются:

- Энергоэффективность: отношение минимальной энергии, потребляемой для достижения требуемой освещенности полезной площади, к фактически потребляемой энергии данным светильником;
- Экономичность: совокупная стоимость обслуживания системы освещения в сравнении с другими системами того же назначения;
- Надежность: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость;
- Экологичность.

Выбор системы освещения по этим критериям всегда зависит от ее назначения. В случае освещения протяженных объектов (дорог, тоннелей, шахт, цехов, животноводческих помещений и т.п.) возникает задача равномерного распределения света по достаточно протяженному пространству. В связи с тем, что основная масса источников света представляют собой устройства либо локализованные в малой области пространства (лампы, светодиоды), либо на сравнительно коротком отрезке (газоразрядные трубки), указанная задача практически всегда решается применением множества источников света, распределенных по объекту. Известны два исключения:

1. Длинная газоразрядная трубка. Применялась для освещения производственных помещений в СССР. Остатки этой системы имеются в цехах бывшего ремонтно-механического завода в п. Волоконовка. Длина такой системы доходила до 30 метров. Ее основными недостатками были низкие ремонтпригодность и экологичность.

2. Системы отраженного света. Состоят из прожектора накачки и зеркальной поверхности,

распределяющей свет. Применяются в торговых и офисных центрах. Основной недостаток – высокая стоимость.

В некоторых случаях применение множества источников света сопряжено с трудностями, связанными с необходимостью подвода электроэнергии к ним и с тем, что сами источники света являются электрическими приборами. Такая ситуация там, где среда расположения светильников агрессивная по отношению к электрической части или опасная. Примеры: животноводческие комплексы (агрессивные меркаптановые газы), шахты (опасность по метану), химические и нефтеперерабатывающие предприятия (огнеопасность и взрывоопасность) и множество других.

В настоящей работе предлагается конструкция системы освещения длинного волнового фронта (ДВФ), которая решает задачу освещения протяженных промышленных и хозяйственных объектов, в частности с агрессивными и/или опасными средами, за счет применения распределяющей свет конструкции, не содержащей электрических частей. Эта система является третьим исключением из ряда систем освещения, основанных на множестве источников света. Такое решение системы освещения приобретает актуальность в случае доступности материалов с коэффициентом отражения 0,95 и выше, а также в случае создания моделирующей систему освещения программного обеспечения. Оба фактора стали реальными в 10-х годах XXI века: материалы с указанными коэффициентами отражения промышленно производит компания Alanod [1] под марками MIRO® и MIRO-SILVER®, а требуемое программное обеспечение можно создать на основе так называемых роевых (Swarm) алгоритмов или их модификаций [2, 3].

Устройство и принцип действия системы освещения ДВФ. Пусть стоит задача осветить плоскую поверхность длиной L и шириной W . Уместными диапазонами являются: для L – от 30 до 100 м, для W – от 3 до 10 м. Допустим также, что пространство над этой поверхностью представляет собой агрессивную или опасную среду или еще по каким-то причинам следует избежать появления там электрических частей системы. Имеется возможность разместить электрические части системы на границах освещаемого пространства.

Предлагаемая конструкция состоит из двух прожекторов направленного света (ПНС) и трубчатого световода с частично прозрачными стенками (далее – просто *световод*). Прожектор направленного света предназначен для создания круглого или кольцеобразного в сечении почти параллельного пучка света равномерной интенсивности. Световод есть труба из материала с высоким коэффициентом отражения, в которой имеется участок частичной прозрачности – вставка из стекла в форме полосы с переменным коэффициентом пропускания и заданной матовостью.

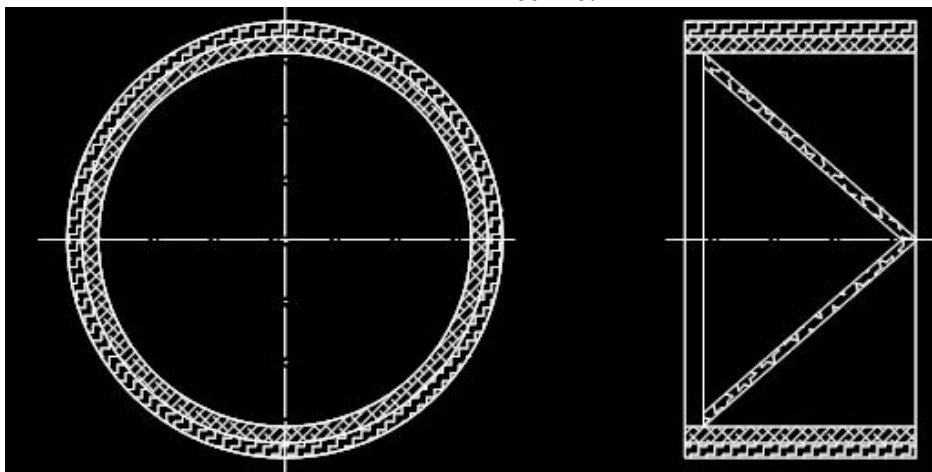


Рис. 1 Прожектор направленного света

Принцип работы прожектора: каждый светодиод, расположенный на цилиндрической поверхности, испускает свет, который собирается в слабо расходящийся пучок с помощью линзы, составляющей единый узел со светодиодом. Полученный почти параллельный пучок направляется к коническому зеркалу, от которого в направлении выхода из прожектора идет пучок интенсивного света с расхождением не более 15° . На выходе из прожектора этот пучок может быть дополнительно собран линзой так, чтобы получить параллельность около 95%. Радиальное распределение интенсивности в пучке света от прожектора будет близко к равномерному, так как оно является проекцией распределения светодиодов по поверхности. Таким образом, прожектор готовит почти параллельный пучок света с примерно равномерной интенсивностью. Для моделирования пучок будет считаться параллельным, а интенсивность равномерно распределенной. Таким образом, будем считать, что

в каждой точке выходного сечения прожектора определен вектор $f(\rho, d\sigma)$, модуль которого равен светимости площадки $d\sigma$, расположенной в точке ρ поверхности, а направление совпадает с нормалью к поверхности в сторону выхода из прожектора. Имеем

$$f(\rho, d\sigma) = J d\sigma,$$

где J – светимость единицы площади площадки, в данном случае постоянная.

Входными данными для модели системы освещения будут:

угол θ между вектором нормали и осью Oz ;

координаты ρ пробной площадки;

радиус R круга сечения;

полная светимость $J\pi R^2$ выходного сечения прожектора.

Это не все данные, необходимые для моделирования. Остальные параметры зависят от конструкции световода, изображенной на рис. 2.

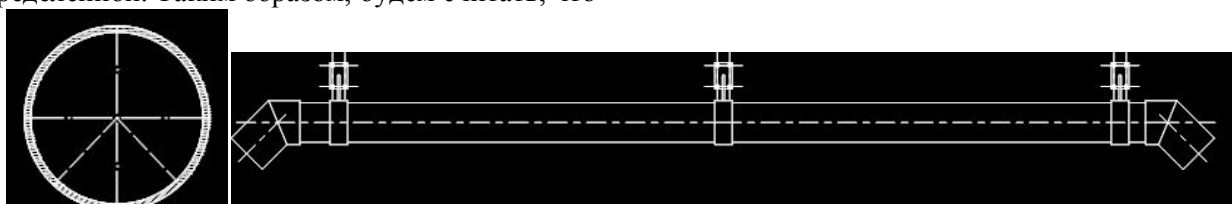


Рис. 2. Схема световода

Световод представляет собой полый цилиндр с вырезанным из него сегментом углового размера δ (постоянным по длине образующей цилиндра). Цилиндр может быть изготовлен из любого материала, но его внутренняя поверхность должна иметь высокий коэффициент отражения r_c , который является существенным параметром системы. Вырезанный сегмент закрывается пластиной из стекла или оргстекла с напыленным слоем отражающего покрытия, обеспечивающим коэффициент отражения $r(z)$ и коэффициент пропускания $p(z)$ такие, что $r(z) + p(z)$ как можно более близко к 1, а $r(z)$ подбирается в результате моделирования так, чтобы для возможного кюстировочной установке угла θ достигалась минимальная величина потерь излучения (подробнее – ниже).

Дополнительные входные данные, являющиеся параметрами световода, следующие:

внутренний диаметр d световода;

длина l световода (может немного отличаться от длины L поверхности освещения);

угловой размер δ вырезанного сегмента;

расположение вырезанной полосы, то есть угол α между осью Ox и серединой вырезанной полосы (зависит от того как размещен световод);

коэффициент пропускания $p_0 \approx r(z) + p(z)$ полосы в отсутствие напыления;

высота H расположения оси световода над поверхностью, которую освещает система.

Принцип действия световода следующий. Свет из прожектора в виде параллельного пучка попадает в световод под углом θ к его оси. Проекции направлений лучей света на поперечное сечение световода являются параллельными линиями, которые почти всегда являются хордами в сечении (иногда – диаметром, что приводит к ловушке луча и желательно избежать). В случае хорды, луч при отражении не возвращается в ту же точку проекции и начинает вращательное движение, рано или поздно попадая на вырезанную частично прозрачную полосу и, ввиду этого, частично покидает световод. Часть лучей при этом выходит из световода под углом, не обеспечивающим попадание на нужную поверхность. Чтобы не терять эти лучи, либо матируется полоса пропускания, либо на световод устанавливаются зеркальные козырьки. По похожей технологии, но с другой идеей работает система естественного освещения ALLUX[®] (см. [5])

Демонстрационная модель световода длиной 8 метров с матовой полосой пропускания была смонтирована авторами. Накачка производилась двумя светодиодными прожекторами по 50 Вт. Результат представлен на фото на рис. 3.



Рис. 3. Демонстрационная модель световода, 2015 год

Как видно, система является чувствительной к своим геометрическим параметрам – при изменении угла входа лучей в световод изменяется число отражений лучей в нем и, соответственно, изменяется доля вышедших лучей. Но эта доля зависит еще и от ширины δ полосы, и от коэффициента $r(z)$, и от размеров световода.

Зависимости эти не являются линейными и моделирование такой системы превращается в трудную задачу.

Задача моделирования и подходы к решению. Сформулируем задачу моделирования системы ДВФ.

Входящие данные: диапазон изменения угла θ между вектором нормали и осью Oz ; радиус R круга сечения; полная светимость $J\pi R^2$ выходного сечения прожектора; диапазон внутренних диаметров d световода; длина l световода; диапазон угловых размеров δ вырезанного сегмента; расположение вырезанной полосы, то есть угол α между осью Ox и серединой вырезанной полосы (зависит от того как размещен световод); коэффициент пропускания $p_0 \approx r(z) + p(z)$ полосы в отсутствие напыления; высота H расположения оси световода над поверхностью, которую освещает система.

Выход: угол θ между вектором нормали к поверхности выходного сечения прожектора и осью Oz , внутренний диаметр d световода, угловой размер δ вырезанного сегмента, распределение $r(z)$ напыления отражающего слоя по полосе пропускания; все выходные величины должны соответствовать наибольшей возможной величине суммарной освещенности целевой поверхности и наименьшей дисперсии освещенности целевой поверхности.

Первый подход к решению представляет собой прямой перебор вариантов, путем создания прямых цепочек вычислений для каждого набора параметров. Этот способ подразумевает сложность $O(n^5)$, что имеет смысл использовать только в случае распараллеливания вычислений, что представляет собой отдельную задачу.

Второй подход заключается в использовании роевого алгоритма [3, 4]. В применении к описанной задаче моделирования, этот алгоритм в общем виде будет выглядеть следующим образом.

1. Фиксируем заданный диапазон значений параметра, например $\theta \in [\theta_{min}, \theta_{max}]$ и разбиваем его на N частей;

2. Для каждого значения θ считаем значение функции равномерности освещения $f(\theta)$. Таким образом формируем множества Θ и $F(\Theta)$;

3. Находим количество агентов в окрестности точек θ_i по формуле $b_i = B * \left(\frac{f(\theta_i) - \min(F(\Theta))}{\max(F(\Theta)) - \min(F(\Theta))} \right)$, где B – общее количество агентов;

4. Разбиваем поисковое пространство на блоки, включающие окрестность точки θ_i , $[\theta_i - p_i, \theta_i + q_i]$, где p_i – отклонение влево, q_i – отклонение вправо. Параметры окрестности рассчитываются как $p_i = 2b_i \frac{|\theta_i - \theta_{i-1}|}{b_i + b_{i-1}}$, $q_i = 2b_i \frac{|\theta_i - \theta_{i-1}|}{b_i + b_{i-1}}$

5. В каждой окрестности точки $\theta_i \in (\theta_i - p_i, \theta_i + q_i)$ выбираем множество $T_i =$

$\{\theta_1, \dots, \theta_j, \dots, \theta_{b_i}\}$ из b_i произвольных точек с дискретностью не более, чем $\frac{p_i + q_i}{B}$.

6. Если для множества T_i существует такое значение $\theta_j: f(\theta_j) < f(\theta_i)$, то в множестве Θ производим замену $\theta_i = \theta_j$.

7. Если не достигнуто приемлемое значение целевой функции, заданное число итераций, или выработка установленного времени работы алгоритма, то переходим к пункту 2. Иначе конец работы алгоритма.

По критерию сложности вычислений, второй подход выглядит более прагматичным. Более того, роевые алгоритмы поддаются распараллеливанию и могут быть усовершенствованы различными способами в зависимости от требований решаемой задачи [6].

Выводы. В ходе исследования создана принципиальная схема системы освещения нового типа, построена демонстрационная модель световода, выявлены трудности в моделировании системы и предложен алгоритм, обеспечивающий эффективное моделирование. Дальнейшая работа авторов будет опираться на проведенные исследования и будет направлена на создание проектирующего осветительные системы ДВФ программного обеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ALANOD® GmbH & Co.KG. Spitzenkompetenz und Expertenwissen in Coil-coating-technologies [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Browser version after 2014. URL: <http://www.alanod.com/de/produkte> (дата обращения: 09.09.2016).
2. Курейчик В.В., Запорожец Д.Ю. Роевой алгоритм в задачах оптимизации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. №7.
3. Миллер П. Роевой интеллект: Муравьи, пчелы и птицы способны многому нас научить // National Geographic Россия. 2007. № 8. С. 88–107.
4. Кулиев Э.В., Лежебоков А.А., Дуккардт А.Н. Подход к исследованию окрестностей в роевых алгоритмах для решения оптимизационных задач // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №7 (156). С.15-25.
5. ALLUX - STAV s.r.o. Světlovody ALLUX [Электронный ресурс]. Систем. требования: Internet Browser version after 2014. URL: <http://www.svetlovod.cz/> (дата обращения: 09.09.2016).
6. Мохов В.А., Бородулина Е.Н. К вопросу о параметрической оптимизации роевых алгоритмов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №4.(153) С. 230–234.

Zuev S.V., Didenko A.A.**THE LIGHTING SYSTEM OF THE LONG WAVE FRONT**

Modern development of lighting systems is closely related to the overall energy efficiency problem which is involved in the framework of competition in those economy sectors where the lighting costs are significant part of the total cost. The cutting edge here is intelligent lighting systems which are characterized by the presence of a concomitant of the automated control system or require complex modeling in the design of a particular object. In the present work we deal with the lighting system of the last type and the main topics of the paper are both the design lighting system itself and the computational algorithm of the swarm algorithm type used for its modeling.

Key words: *lighting systems simulations, swarm algorithms.*

Зуев Сергей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: sergey.zuev@bk.ru

Диденко Алина Александровна, магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: elyannd@gmail.com