

Системы для проектирования освещения автомобильных дорог

DOI: 10.17273/CADGIS.2017.1.5

Райкова Л.С., системный аналитик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Медведев В.И., заместитель технического директора ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

Приводится обзор современных автоматизированных систем, позволяющих выполнять расчёт параметров освещения автомобильных дорог. Рассматриваются как специализированные светотехнические комплексы, так и САПР автомобильных дорог, предназначенные для создания комплексной трёхмерной модели автомобильной дороги. Рассматривается новый модуль по расчёту освещения, реализованный в составе системы проектирования автомобильных дорог IndorCAD.



Введение

Количество визуальной информации, которая воспринимается водителем на дороге, напрямую влияет на принятие им адекватных решений при изменении дорожно-транспортной ситуации. Организация достаточного, но не доставляющего зрительного дискомфорта освещения проезжей части, пешеходных переходов и тротуаров позволяет существенно повысить безопасность всех участников дорожного движения и сократить число ДТП с пострадавшими в среднем на 25% по сравнению с исходным уровнем [1].

Очевидно, что проектирование освещения является важной частью работ по созданию проекта автомобильной дороги. В данной статье мы рассмотрим основные системы для расчёта дорожного освещения и познакомимся с возможностями современных САПР автомобильных дорог по проектированию освещения и расчёту его нормируемых параметров.

Немного теории

Искусственное освещение подразделяется на внутреннее (освещение жилых, производственных и прочих помещений) и наружное (освещение объектов, находящихся вне зданий и их окружения). В свою очередь, наружное освещение подразделяют на утилитарное, архитектурное, ландшафтное, рекламное, спортивное, производственное и охранное [2].

Под утилитарным наружным освещением понимается стационарное освещение, обеспечивающее безопасное и комфортное движение транспортных средств и пешеходов на дорогах, улицах и в пешеходных зонах в тёмное время суток. Задача дорожного освещения сводится к тому, чтобы обеспечить видимость находящихся на дороге объектов, не вызывая при этом дискомфорта у водителя из-за слишком яркого, слепящего света.

Дорожное освещение — самая ответственная и регламентированная область светотехники. От того, как освещены дороги и пешеходные переходы, зависит безопасность дорожного движе-

ния [3], поэтому в нашей стране предусмотрено достаточно большое количество нормативных документов, определяющих классификацию автомобильных дорог и допустимые значения параметров их освещения: ГОСТ Р 55706–2013, СП 52.13330.2011 (актуализированный СНиП), ГОСТ Р 54305–2011.

Рассмотрим, что из себя представляют основные нормируемые параметры освещения дорог и на что они влияют.

- **Средняя яркость дорожного покрытия L_{cp}** — это средневзвешенная по площади яркость (т.е. величина светового потока) сухого дорожного покрытия в направлении глаз наблюдателя, находящегося на оси проезжей части дороги; значение этого параметра влияет на зрительную работу водителя.
- **Общая равномерность яркости U_0** также влияет на зрительную работу и представляет собой отношение минимальной яркости дорожного покрытия к его средней яркости.
- **Продольная равномерность яркости U_n** — измеряемое вдоль оси каждой из полос дороги отношение минимальной яркости дорожного покрытия к его максимальной яркости; влияет на зрительный комфорт.
- **Пороговое приращение яркости TI** требуется для ограничения слепящей блёскости, создаваемой осветительной установкой (т.е. явления, при котором уменьшается способность видеть детали или объекты из-за неблагоприятного распределения уровня яркости или экстремальных контрастов); влияет на зрительный комфорт.
- **Освещённость дороги E** — отношение светового потока, падающего на элемент поверхности, который содержит рассматриваемую точку, к площади этого элемента; влияет на зрительную работу.

Следует отметить, что для городских и загородных автомобильных дорог разработаны отдельные нормативные документы [3]. Освещение первых регламентируется ГОСТ Р 55706–2013 [4] и СП 52.13330.2011 (актуализированный СНиП) [5], вторых — ГОСТ Р 54305–2011 [6]. В нормативных документах для городских дорог основные нормируемые параметры — это средняя яркость дорожного покрытия, полная и продольная равномерность яркости. Эти параметры имеют более высокий приоритет над показателями освещённости. В нормах для загородных автомобильных дорог, наоборот, действует приоритет освещённости.

Основное различие между освещённостью и яркостью состоит в том, что освещённость не зависит от положения наблюдателя и не несёт информации о том, как свет взаимодействует с окружающим пространством (отражается, поглощается и пр.), в то время как яркость зависит от линии наблюдения и отражающих свойств поверхности в этом направлении.



Рис. 1. 3D-визуализация освещения тоннеля в системе 3Ds Max

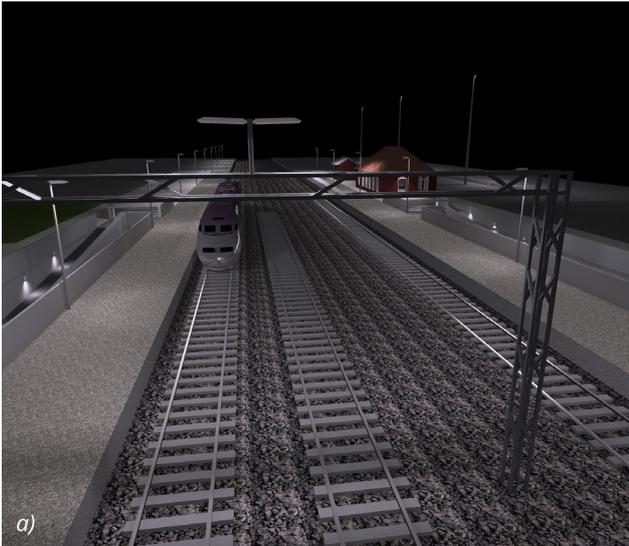


Рис. 2. Реалистичные трёхмерные модели для расчёта утилитарного и архитектурного освещения, созданные с помощью светотехнических комплексов: а) освещение железнодорожной станции в системе DIALux; б) освещение парковки в системе Relux

Решения для расчёта освещения

В настоящее время на рынке представлен широкий выбор программных продуктов, которые в той или иной степени могут использоваться при проектировании объектов освещения. Всё разнообразие светотехнических программ можно условно разделить на четыре группы [7].

1. К первой группе относятся системы и модули, используемые для моделирования и фотореалистичной визуализации трёхмерных сцен: 3ds Max (Autodesk, США) (рис. 1), RenderMan (Pixar, США), Brazil r/s (SplutterFish, США), V-Ray (Chaos Group, Болгария), finalRender (Cebas, Германия), Maxwell Render (Next Limit Technologies, Испания),

Arnold (Solid Angle, Испания). В таких системах возможно два подхода: фотореалистичный и нефотореалистичный. Фотореалистичные алгоритмы базируются на методах глобального освещения, что позволяет наиболее полно описать исходные данные проекта, включая светораспределение световых приборов, оптические и колориметрические свойства участвующих в перераспределении света поверхностей, их текстуры, дополнительные элементы сцены (мебель, деревья и пр.) с учётом их затенения и экранирования. При оценке результатов работы таких программ на первое место выступают эстетические требования. Создание сцены и её визуализация в таких программах, как правило, требуют много времени и сил.

Во вторую группу входят специализированные программные комплексы, предназначенные для моделирования освещения и выполнения светотехнических расчётов: Relux (Informatik AG, Швейцария), DIALux (DIAL GmbH, Германия), Light-in-Night Road (НПСЦ «Светосервис», Москва), CalcuLux (Philips, Нидерланды). Основная задача таких программ — выполнение проектов, в которых требуется расчёт нормируемых параметров освещения и анализ их соответствия нормативным требованиям. По результатам расчёта выводится отчёт с двумерными графиками изолукс, таблицами вычисленных значений, характеристиками используемых световых приборов и пр. На основании такого отчёта инженер может сделать выводы об удовлетворительности принятых проектных решений. Следует заметить, что визуализация трёхмерных сцен в таких системах также возможна и при использовании различных текстур даёт очень реалистичное изображение (рис. 2). Тем не менее трёхмерная визуализация используется в основном как дополнительное средство контроля правильности расположения и ориентации световых приборов.

2. Во вторую группу входят специализированные программные комплексы, предназначенные для моделирования освещения и выполнения светотехнических расчётов: Relux (Informatik AG, Швейцария), DIALux (DIAL GmbH, Германия), Light-in-Night Road (НПСЦ «Светосервис», Москва), CalcuLux (Philips, Нидерланды). Основная задача таких программ — выполнение проектов, в которых требуется расчёт нормируемых параметров освещения и анализ их соответствия нормативным требованиям. По результатам расчёта выводится отчёт с двумерными графиками изолукс, таблицами вычисленных значений, характеристиками используемых световых приборов и пр. На основании такого отчёта инженер может сделать выводы об удовлетворительности принятых проектных решений. Следует заметить, что визуализация трёхмерных сцен в таких системах также возможна и при использовании различных текстур даёт очень реалистичное изображение (рис. 2). Тем не менее трёхмерная визуализация используется в основном как дополнительное средство контроля правильности расположения и ориентации световых приборов.
3. В третью группу можно отнести крупные САПР, такие как

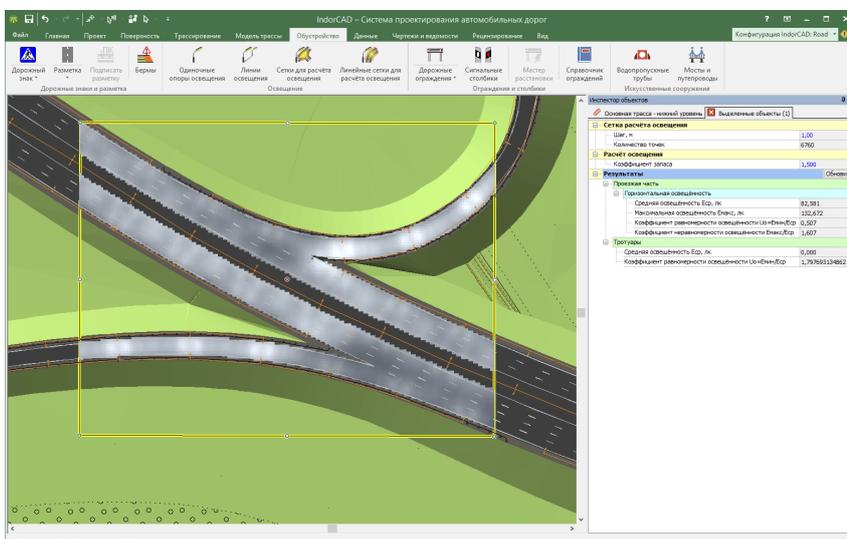


Рис. 3. Расчёт освещения автомобильной дороги в системе IndorCAD

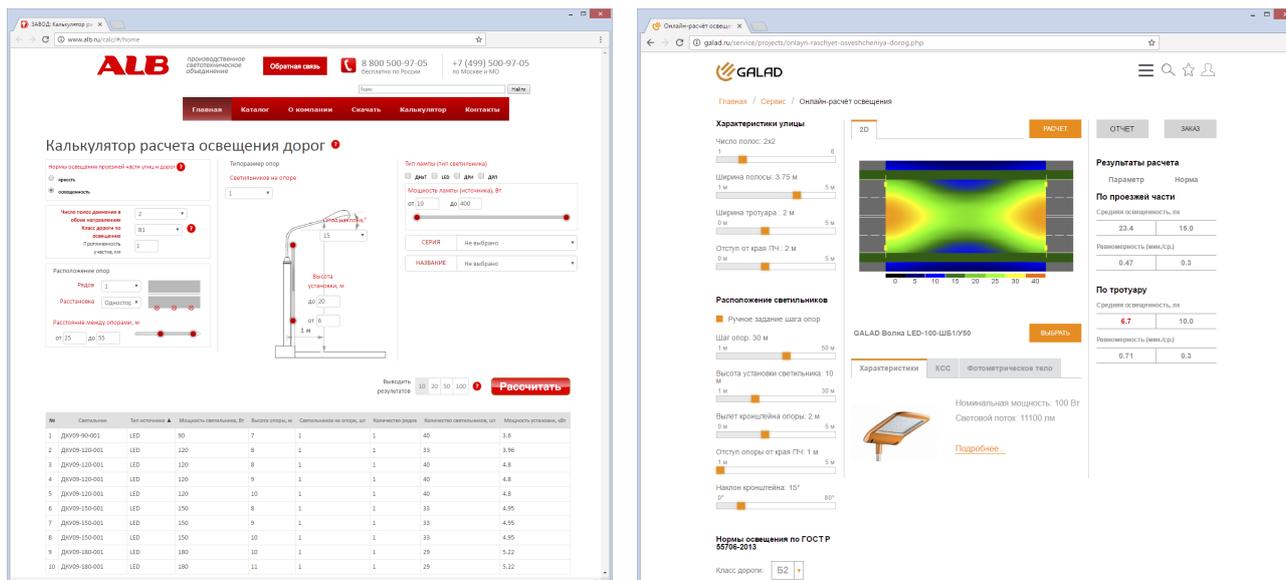


Рис. 4. Онлайн-калькуляторы для расчёта освещения автомобильных дорог

AutoCAD, Revit (Autodesk, США), ArchiCAD (Graphisoft, Венгрия), Компас 3D (АСКОН, г. Санкт-Петербург), IndorCAD (ИндорСофт, г. Томск) (рис. 3), не являющиеся светотехническими, но обеспечивающие возможность моделирования и расчёта параметров освещения с реальными световыми приборами.

- К четвёртой группе относятся программы, с помощью которых можно быстро выполнить простые расчёты внутреннего и наружного освещения. Как правило, это онлайн-калькуляторы (рис. 4) и мобильные версии светотехнических программ, например, онлайн-калькулятор и мобильное приложение Light-in-Night Road (НИСП «Светосервис», Москва), онлайн-сервис «Калькулятор освещения дорог» (Производственное светотехническое объединение «ALB», Москва), мобильное приложение Lighting Calculations (Ettore Gallina, Италия) и т.д.

Для расчёта утилитарного освещения чаще всего применяются программы из второй группы (т.е. специализированные светотехнические комплексы). Именно они используются, когда на первое место ставится светотехническая часть проекта и необходимо обосновать принятое проектное решение. ОДМ 218.8.007-2016 «Методические рекомендации по проектированию искусственного освещения автомобильных дорог общего пользования» для выполнения таких расчётов рекомендует использовать системы DIALux и Light-in-Night Road [8] — отчёты, сформированные в этих системах, принимаются экспертизой.

При создании комплексных проектов нового строительства или реконструкции автомобильной дороги может быть оправдано создание

При создании комплексных проектов нового строительства или реконструкции автомобильной дороги может быть оправдано создание объектов освещения непосредственно в проекте дороги наряду с инженерным обустройством

объектов освещения непосредственно в проекте дороги наряду с инженерным обустройством. Выполнение светотехнических расчётов в таком случае позволит выбрать оптимальное размещение объектов освещения, подобрать расстояние между опорами освещения, выбрать тип осветительных приборов, опор и пр.

Далее мы рассмотрим характерные особенности некоторых наиболее популярных программных комплексов, которые используются инженерами для расчёта параметров утилитарного освещения: DIALux, Relux и Light-in-Night Road, а также рассмотрим возможности САПР автомобильных дорог IndorCAD по проектированию освещения и расчёту нормированных параметров.

DIALux

Очень популярной среди российских проектировщиков является система DIALux (DIAL GmbH, Германия). Это мощный комплекс, позволяющий проектировать как наружное, так и внутреннее освещение, вычислять параметры освещения и определять, насколько они удовлетворяют принятым нормам [9]. По результатам расчёта возможно формирование отчёта, который пользователь может настроить по своему усмотрению, включив только необходимую ему информацию.

Благодаря простоте использования, гибким настройкам (в том числе возможности настроить систему под российские стандарты) и возмож-

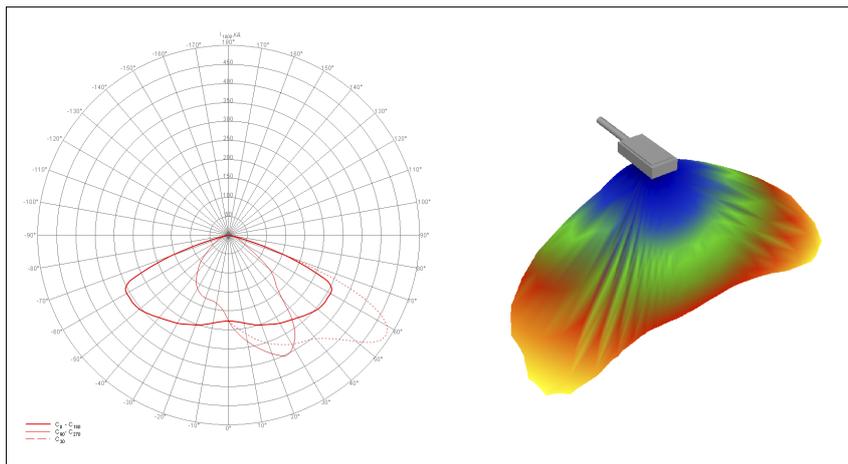


Рис. 5. Графическое отображение в трёх плоскостях кривой силы света и фотометрического тела светового прибора

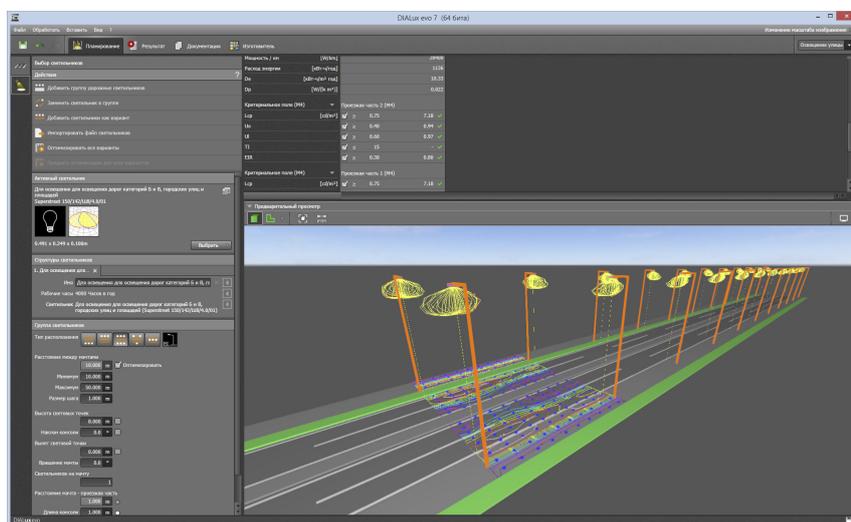


Рис. 6. Главное окно системы DIALux

ности формирования подробного отчёта с результатами расчётов система DIALux получила широкое применение в том числе и как средство проектирования утилитарного освещения. Кроме того, она является бесплатной и доступна для свободного скачивания с сайта компании-разработчика.

DIALux позволяет загружать файлы с фотометрическими данными световых приборов в различных форматах, в том числе в формате IES. Это стандартизированный формат данных [10], содержащий всю необходимую для выполнения расчётов информацию о световом приборе: характеристики светильника, информацию об источнике света, кривую силы света (рис. 5) и пр.

Система позволяет легко создать модель дороги, задав её основные характеристики (количество полос, их

ширину, тип покрытия и пр.) и сразу же рассчитать необходимые параметры освещённости (рис. 6). После выполнения расчётов в модель можно добавить дополнительные источники света, после чего программа вносит соответствующие корректировки в результат, вместо того чтобы заново пересчитывать все параметры.

Однако быстро в системе можно создать и рассчитать только модель прямого участка дороги. Если необходим расчёт освещения, например, на развязке, то модель либо создаётся проектировщиком в виде произвольной 3D-сцены, что требует некоторых навыков 3D-моделирования, либо формируется в сторонней системе и загружается в программу в формате DWG. Такой подход, с одной стороны, позволяет использовать уже готовую

модель дороги (если она существует), а с другой (если её нет) — может потребовать дополнительных временных затрат.

Примечательно, что компания DIAL сотрудничает с консорциумом buildingSmart и участвует в разработке стандартов на осветительные приборы и методик расчёта параметров освещения. Компания активно поддерживает концепцию информационного моделирования (BIM) и реализует её в своём ПО [11]. Так, в новой версии программного комплекса DIALux evo 7, вышедшей в начале 2017 года, появилась возможность импорта в систему трёхмерных моделей в формате IFC. Это серьёзный шаг в развитии interoperability системы.

Relux

Система Relux (Informatik AG, Швейцария) не так популярна среди российских инженеров-светотехников, как DIALux, однако также довольно часто используется для расчёта дорожного освещения. Система предоставляет инженерам и дизайнерам широкие возможности для проектирования внутреннего и наружного освещения трёхмерных объектов [12].

Создать модель прямолинейного участка дороги и выполнить для неё расчёт и анализ полученных показателей в системе не представляет труда (рис. 7). Однако создание моделей дорог с более сложной геометрией, также как и в DIALux, требует моделирования 3D-сцены.

В последних версиях Relux стала доступной функция динамического планирования (Dynamic Planning), позволяющая добавлять новые объекты освещения в уже готовую модель, и сразу видеть, как они влияют на результаты расчёта, не выполняя перерасчёт всего проекта.

Хотя сама программа Relux является бесплатной, для неё можно приобрести платное дополнение ReluxCAD, позволяющее организовать работу совместно с AutoCAD. Созданные в AutoCAD чертежи напрямую передаются в ReluxCAD, а результаты светотехнических расчётов для конкретного объекта, полученные в ReluxCAD, можно передать в AutoCAD.

В системе доступна библиотека световых приборов, которую можно дополнить, импортировав в неё файлы фотометрических данных в форматах

IES и LDT, полученные из сторонних источников. Однако работа с фотометрическими данными организована не слишком удобно — для каждого проекта нужно отдельно создавать набор световых приборов, используемых в проекте, что немного замедляет работу.

Relux предоставляет массу возможностей для светотехнических расчётов и моделирования 3D-сцен, однако из-за обилия функций самостоятельное освоение системы может вызвать некоторые сложности. В настройках интерфейса возможен выбор русского языка, но локализация местами оставляет желать лучшего, что также не облегчает освоение. В знакомстве с системой

могут помочь обучающие ролики, в большом количестве предоставленные на YouTube-канале компании-разработчика.

Light-in-Night Road

Система Light-in-Night Road (НПСР «Светосервис», Москва) специально разработана для расчёта утилитарного освещения [13]. Примечательно, что это единственная специализированная светотехническая программа, зарегистрированная в Едином реестре российских программ для ЭВМ и баз данных [14].

Система пользуется большой популярностью среди отечественных проектировщиков. Она до-

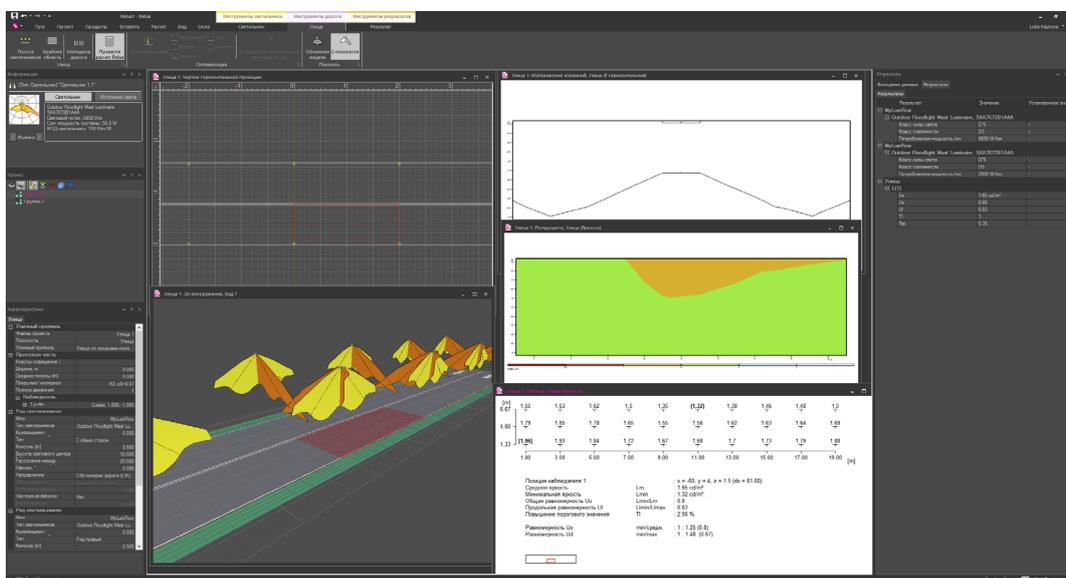


Рис. 7. Главное окно системы Relux

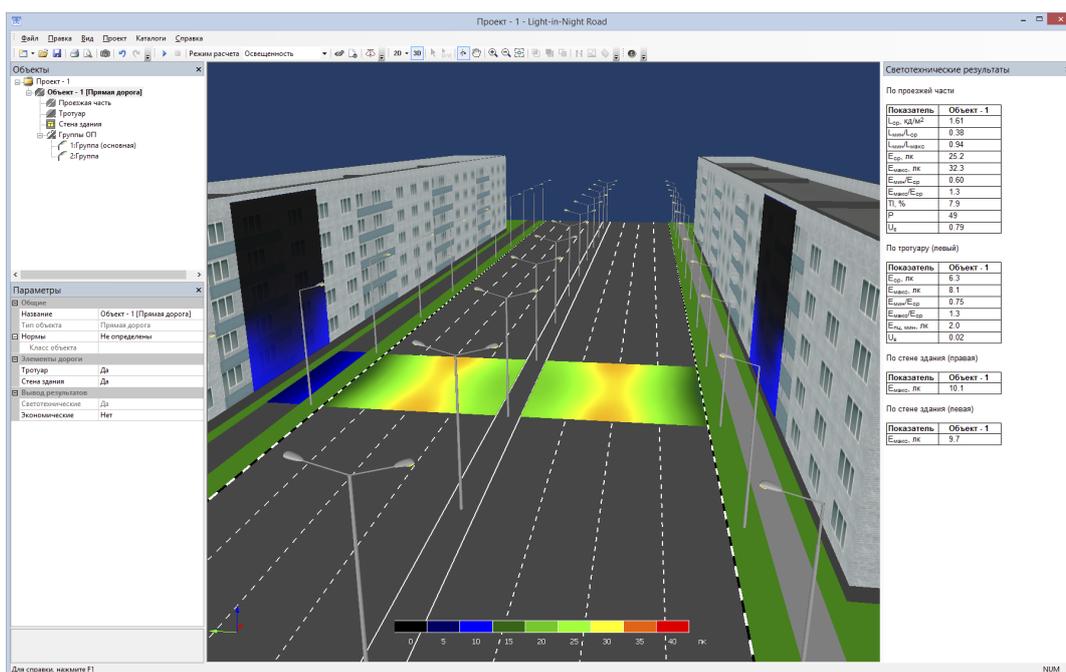


Рис. 8. Главное окно системы Light-in-Night Road

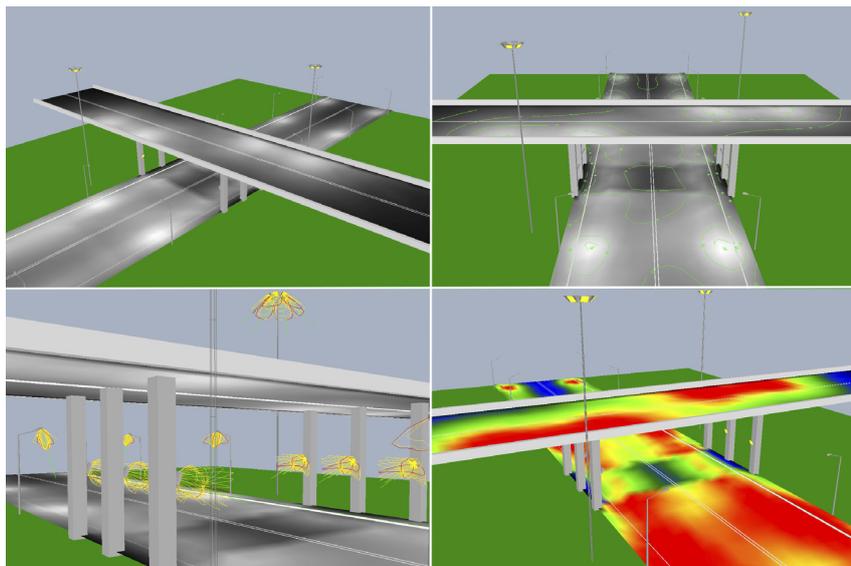


Рис. 9. Проектирование освещения для пересечения автомобильных дорог в разных уровнях в системе Light-in-Night Road

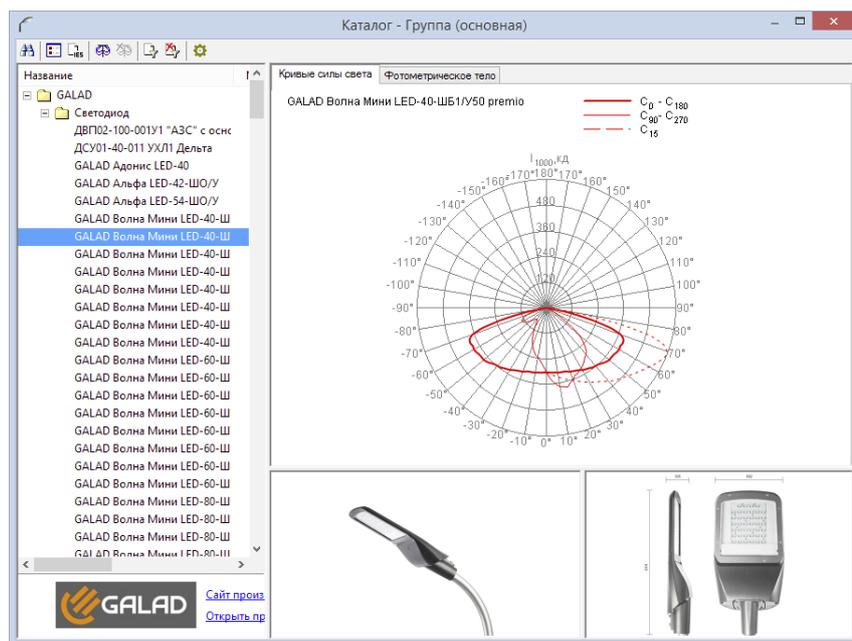


Рис. 10. Фотометрические данные световых приборов GALAD в системе Light-in-Night Road

вольно проста для самостоятельного освоения и имеет понятный русскоязычный интерфейс (рис. 8) и подробную документацию, содержащую в том числе методологию расчёта. Кроме того, программа, как и все рассмотренные ранее, является бесплатной.

Система позволяет учесть нюансы российских нормативных документов. С её помощью можно классифицировать освещаемый объект (участок улицы, площади, перекрёсток, пешеходная зона и т.п.) и определить для него

нормативные показатели в соответствии с положениями действующих федеральных норм.

Расчёт нормируемых показателей в Light-in-Night Road выполняется не только для прямолинейных участков дорог, но и для участков более сложной конфигурации: перекрёстков, кольцевых пересечений, развязок. В системе предусмотрена библиотека типовых форм, включающая примыкания, пересечения, уширения, а также есть возможность создавать произвольные

формы, в том числе многоуровневые транспортные развязки (рис. 9). Кроме того, возможен импорт в систему моделей из DWG-файлов, созданных в сторонних САПР.

Light-in-Night позволяет не только подобрать осветительные приборы, но также выбрать их наиболее рациональное расположение: способ установки (на опоре, на мачте или на торшере), высоту установки, наклон кронштейна или ориентацию прожекторов. Для удобства работы в системе предусмотрена библиотека типовых опор и кронштейнов.

К недостаткам программы можно отнести ограниченность в выборе световых приборов. До недавнего времени в базе Light-in-Night были представлены только приборы марки GALAD (рис. 10), что сужало круг потенциальных пользователей системы. Сейчас база данных светильников открыта и для сторонних производителей, но тем не менее самостоятельно загрузить в систему пользовательские IES-файлы нельзя. Добавление новых марок осветительных приборов выполняется по заявкам производителей.

Расчёт освещения в IndorCAD

Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог IndorCAD позволяет охватить весь цикл проектирования автомобильной дороги, начиная со ввода исходных данных и заканчивая формированием проектной документации [15, 16]. В том числе в системе предусмотрена возможность размещения на уже запроектированной дороге объектов инженерного обустройства и освещения. В рамках проектирования дорожного освещения возможно создание объектов освещения и выполнение расчётов нормируемых параметров на заданном участке дороги.

В IndorCAD можно создавать как линии освещения с заданным шагом расстановки опор, так и одиночные источники света. Все объекты освещения являются полностью настраиваемыми, для них предусмотрена возможность выбора типов осветительных приборов, опор и кронштейнов.

Система содержит библиотеку стандартных осветительных приборов (рис. 11). Кроме того, возможна работа

с фотометрическими данными в формате IES. Такие файлы можно импортировать непосредственно в IndorCAD, просматривать полученные характеристики осветительных приборов и выбирать их в качестве источников света.

Для задания параметров кронштейнов и опор предусмотрены специальные библиотеки типовых элементов, реализованные в соответствии с типовым проектом «Серия 3.320-1.1. Опоры наружного освещения и контактных сетей городского транспорта».

Возможность проектирования освещения непосредственно в САПР позволяет использовать уже готовую модель дороги. С помощью инструментов IndorCAD можно рассчитывать параметры освещения как для прямолинейных участков дороги, так и для произвольной области, благодаря чему можно оценить освещённость на участках дороги со сложной геометрией: на примыканиях, развязках и пр.

Расчёт освещения выполняется в соответствии с ГОСТ Р 55708–2013 «Освещение наружное утилитарное. Методы расчёта нормируемых параметров». По заданным исходным данным (типу дорожного покрытия, дистанции наблюдателя и пр.) производится расчёт и оценка следующих нормируемых параметров:

- средняя яркость дорожного покрытия L_{cp} ;
- коэффициенты общей U_0 и продольной U_{II} равномерности яркости;
- пороговое приращение яркости TI ;
- средняя освещённость дорожного покрытия E_{cp} ;

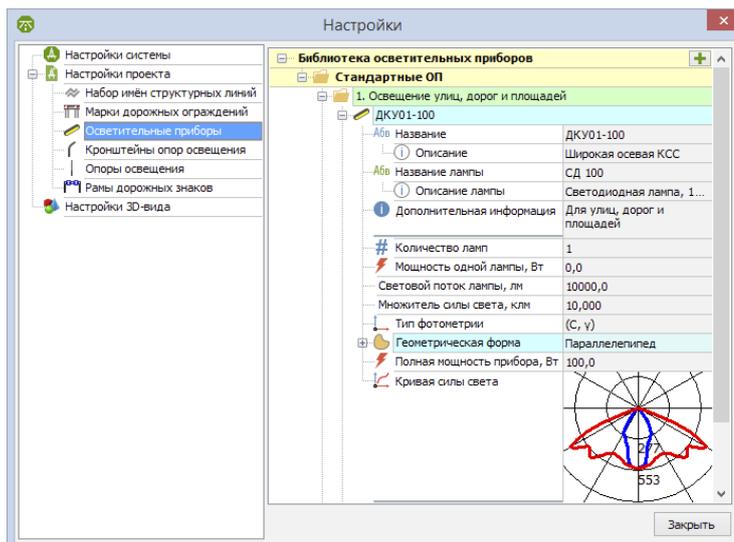


Рис. 11. Библиотека осветительных приборов в IndorCAD

...важно, чтобы система не стояла на месте, развивалась и поддерживала современные технологии и тенденции в области проектирования... Светотехнические системы, как и многие специализированные САПР, стараются идти в ногу со временем и поддерживают концепцию информационного моделирования, в особенности в части повышения интероперабельности

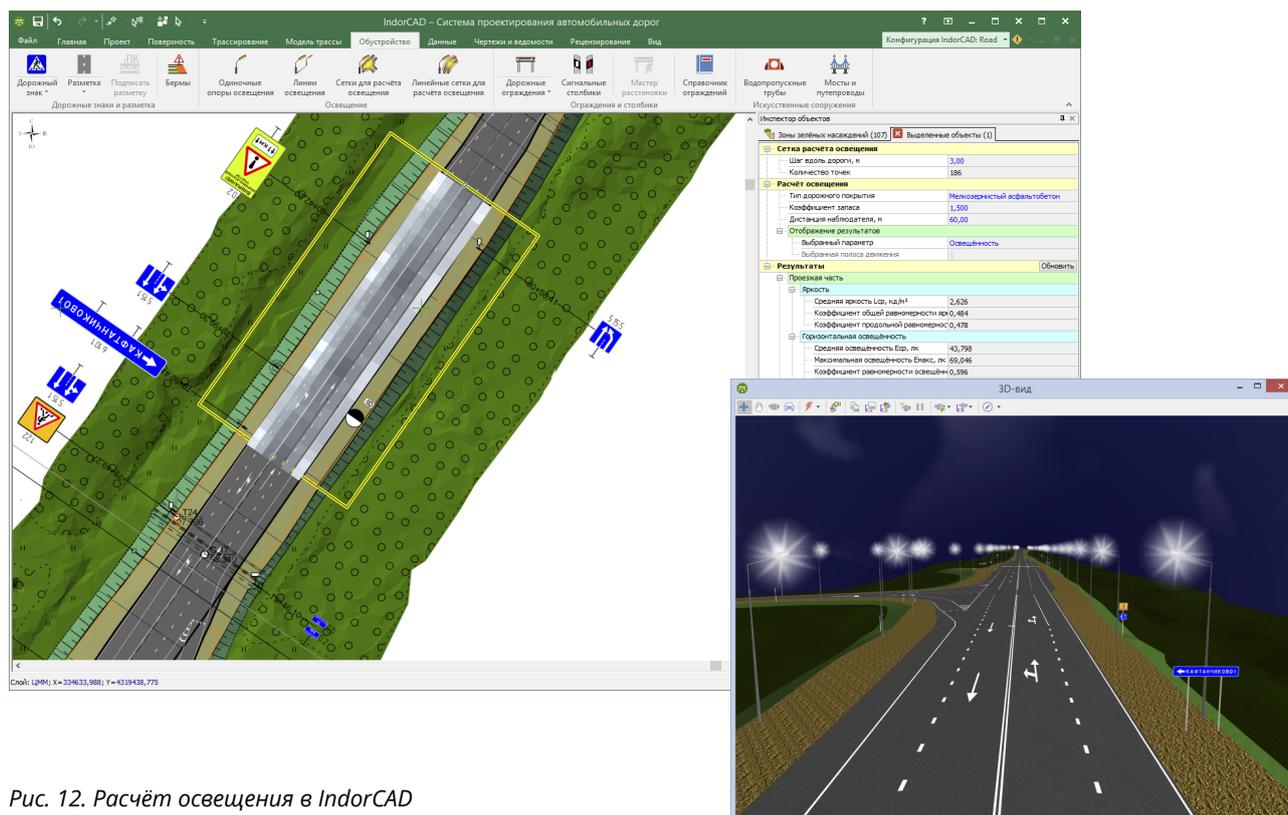


Рис. 12. Расчёт освещения в IndorCAD

- коэффициент равномерности освещённости U_h ;
- средние горизонтальная E_{cp} и полуцилиндрическая $E_{mц}$ освещённости, а также равномерность освещённости U_h для пешеходных зон.

Результаты отображаются в виде отчёта в инспекторе объектов, а также представляются на плане в виде градиентной сетки, позволяющей визуально определить участки с недостаточной освещённостью (рис. 12). В окне 3D-вида можно увидеть трёхмерное изображение дороги с размещёнными на ней объектами освещения.

Расчёт освещённости в IndorCAD позволяет оценить проектное решение с точки зрения удовлетворительности показателей яркости и освещённости, выбрать оптимальное расстояние между опорами освещения, подобрать тип осветительных приборов и опор.

Заключение

Выбор программного обеспечения для проектирования дорожного освещения во многом зависит от целей, которые преследует инженер-светотехник, и специфики решаемых задач. Большим преимуществом может служить поддержка современных нормативных документов и методик расчёта, а также возможность формирования подробного отчёта по расчёту, который может быть предоставлен экспертизе. Удобство работы с системой и возможность её самостоятельного освоения является достаточно субъективным фактором, однако при знакомстве с системой важно наличие в открытом доступе обучающих и справочных материалов.

Кроме того, важно, чтобы система не стояла на месте, развивалась и поддерживала современные технологии и тенденции в области проектирования [17, 18]. Светотехнические системы, как и многие специализированные САПР, стараются идти в ногу со временем и поддерживают концепцию информационного моделирования, в особенности в части повышения интероперабельности. В этом помогает поддержка универсальных обменных форматов данных (DWG, IFC), которые позволяют использовать единую модель дороги на всех этапах её жизненного цикла. ■

Литература:

1. Освещение дорог: свет и безопасность на федеральных автомобильных дорогах. ЛЮМЕН&EXPERTUNION. URL: <http://www.lumen2b.ru/osveshchenie-dorog> (дата обращения: 10.05.2017).
2. ГОСТ Р 56228–2014. Освещение искусственное. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2015. 12 с.
3. Ильина Е., Юсупов С. Уличная оптика LEDIL для чайников // Современная светотехника. 2016. № 6. С. 10–13.
4. ГОСТ Р 55706–2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. М.: Стандартинформ, 2016. 10 с.

5. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 68 с.
6. ГОСТ Р 54305–2011. Дороги автомобильные общего пользования. Горизонтальная освещённость от искусственного освещения. Технические требования. М.: Стандартинформ, 2011. 4 с.
7. Рохлин Г.Н. Справочная книга по светотехнике. М.: Знак, 2006. 972 с.
8. ОДМ 218.8.007–2016. Методические рекомендации по проектированию искусственного освещения автомобильных дорог общего пользования. М., 2015. 31 с.
9. Lighting design software DIALux. DIAL official website. URL: <https://www.dial.de/en/dialux/> (дата обращения: 10.05.2017).
10. ANSI/IES LM-63-02 (R2008). ANSI Approved Standard File Format for Electronic Transfer of Photometric Data and Related Information. 2002.
11. Release DIALux evo 7: IFC import and more efficient workflows. URL: <https://www.dial.de/en/blog/article/release-dialux-evo-7-ifc-import-and-more-efficient-workflows/> (дата обращения: 10.05.2017).
12. ReluxDesktop — the new approach to planning. Relux. URL: <https://relux.com/en/> (дата обращения: 10.05.2017).
13. Light-in-Night Road. Возможности программы. URL: <http://www.l-i-n.ru/> (дата обращения: 10.05.2017).
14. Light-in-Night Road. Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. URL: <https://reestr.minsvyaz.ru/reestr/103235/> (дата обращения: 10.05.2017).
15. Петренко Д.А., Субботин С.А. BIM-решения «ИндорСофт» для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 100–107. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.15
16. Снежко И.В., Петренко Д.А. Новые BIM-инструменты в IndorCAD // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 1(6). С. 28–33. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.1.5
17. Сворцов А.В., Сарычев Д.С. Жизненный цикл проектов автомобильных дорог в контексте информационного моделирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 4–14. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.1
18. Сворцов А.В. Трудности перехода от автоматизированного проектирования к информационному моделированию дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2(5). С. 4–12. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.2.1