

УДК 62.52

## Достижение параметров квазиестественного освещения за счет применения автоматических систем освещения на базе СИД

В.А. Завьялов<sup>a</sup>, Ю.Л. Беккер<sup>b</sup>, Р.С. Ульянов<sup>c</sup>, И.А. Шиколенко<sup>d</sup>

Московский государственный строительный университет, ул. Ярославское шоссе 26, Москва, Россия

<sup>a</sup>vazav.mgsu@mail.ru, <sup>b</sup>et@mgsu.ru, <sup>c</sup>Roman-prog@mail.ru, <sup>d</sup>zugrik@mail.ru

Статья поступила 4.09.2014, принята 20.11.2014

*В статье рассматривается возможность достижения условий освещения, приближенных к естественным, за счет применения искусственных источников излучения. На основании представленного анализа воздействия оптического излучения различных диапазонов на фотобиологические процессы живых организмов, включая параметры здоровья человека, поднимается вопрос об актуальности постановки задачи управления параметрами искусственного излучения. Поднят вопрос о несоответствии современных массово применяемых источников искусственного освещения естественным. Предложено решение — создание источника света на базе светоизлучающих диодов различного спектра, управляемых с помощью средств электронно-вычислительной техники. Рассмотрена структурная схема автоматического управления системой квазиестественного излучения, предложена модульная концепция прототипа экспериментального автоматизированного источника света. Выделены основные конструктивные особенности предполагаемой системы, обозначены основные блоки экспериментального источника излучения. Предложена концепция объединения указанных выше источников света с автономным управлением в централизованную или распределенную вычислительную сеть с целью увеличения функциональности системы освещения за счет интеграции функциональных элементов систем контроля параметров климата. По результатам испытания прототипа разрабатываемого источника света были представлены характеристики спектрального распределения плотности излучения при различных режимах работы прототипа. Проведено моделирование кривых спектрального распределения, полученных в результате совмещения естественного и искусственного источников излучения. На основании проведенного исследования был сделан вывод о возможности достижения параметров освещения, близкого по своим характеристикам к оптическому излучению естественного источника как в режиме полностью искусственного освещения в условиях отсутствия солнечного излучения, так и в режиме совмещенного освещения.*

**Ключевые слова:** искусственное освещение, излучение, автоматизация, спектральная характеристика.

## Reaching quasinatural light parameters by using automatic light systems based on LED

V.A. Zavialov<sup>a</sup>, Yu.L. Bekker<sup>b</sup>, R.S. Ulianov<sup>c</sup>, I.A. Shikolenko<sup>d</sup>

Moscow State University of Civil Engineering; 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia

<sup>a</sup>vazav.mgsu@mail.ru, <sup>b</sup>et@mgsu.ru, <sup>c</sup>Roman-prog@mail.ru, <sup>d</sup>zugrik@mail.ru

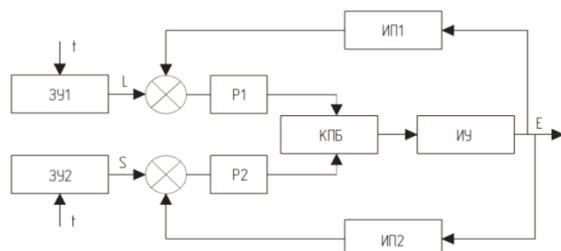
Received 4.09.2014, accepted 20.11.2014

*The article discusses the possibility of reaching light conditions, close to the natural ones, by using artificial light sources. Based on the analysis of the impact of optical radiation of different ranges on the biological processes of living organisms, including human health parameters, the issue of the topicality of the control problems for artificial radiation parameters has been raised. The issue of discrepancy of modern, massively used, artificial light sources to the natural ones has also been raised. Solution has been proposed. The solution is to create a light source based on light-emitting diodes of different spectrum controlled by means of computer technology. The structural scheme for automatic control system of quasinatural radiation has been studied. A modular concept for the prototype of automated pilot light has been proposed. The basic design features of the proposed system have been emphasized. The basic blocks of experimental radiation source have been pointed out. The concept for combining the light sources with independent control in a centralized or a distributed computing network has been proposed to increase the functionality of the lighting system by integrating the functional elements of the climate control system parameters. According to the testing results for the prototype of the developing light source, characteristics of the spectral distribution of the radiation density have been presented under different operating modes of the prototype. The simulation of the spectral distribution curves has been done by combining natural and artificial radiation sources. Based on the research done, it has been concluded that it is possible to reach the light parameters which are similar to natural optical radiation source in their characteristics either in completely artificial light when there is no sunlight, or in the mode of combined light.*

**Key words:** artificial light, emission, automation, spectral characteristics.

**Введение.** Развитие технического прогресса привело к тому, что появление сложных видов трудовой деятельности нарушает выработанные в процессе эволюции биологические ритмы человека [1]. Таким образом, нарушается и режим освещения. В повседневной жизни организм человека подвергается воздействию естественного освещения, излучение которого можно разделить на диапазоны — ультрафиолетовый, инфракрасный и видимого излучения. Каждый из спектров оптического излучения оказывает активное воздействие на живые организмы [2]. Ультрафиолетовое излучение является причиной появления эритемы, загара, возникновения иммуносупрессии, способствует выработке витамина D и проявлению других фотопериодических реакций. Инфракрасное излучение обладает высокой проникающей способностью и оказывает нагревающий эффект. Видимое излучение оказывает воздействие как непосредственно на процессы зрительного восприятия окружающего пространства, так и участвует в протекании фотобиологических процессов, в частности, является сигналом для синхронизации суточных и годовых ритмов жизнедеятельности [3]. Современные принципы общественной организации, приводят к тому, что среднестатистический человек существенную часть суток проводит в закрытых помещениях. При невозможности обеспечить необходимые нормативные значения естественного освещения в помещениях допускается применение искусственного и совмещенного освещения [4]. Однако источники освещения, в настоящее время широко применяемые в быту и народном хозяйстве, по своим спектральным характеристикам не соответствуют излучению естественных источников [5].

**Методика решения задачи.** Для достижения параметров излучения видимого диапазона искусственного освещения, максимально приближенных к естественному эталону, коллективом авторов статьи была разработана концепция системы освещения на базе автоматически управляемых СИД (светодиодирующих диодов) [6]. Концепция предполагает автоматическое управление излучающими устройствами, выполненными на базе светодиодов, на основании измерений параметров искусственного освещения в помещении. Для достижения заявленных целей система должна обеспечивать как автоматическое регулирование качественных и количественных характеристик освещения, так и автоматическое программное управление для достижения соответствия эталонному естественному освещению в режиме реального времени. Функциональная схема автоматического управления представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Функциональная схема системы автоматического управления освещением на базе СИД

Элементы схемы:

Р — регулятор; ЗУ — задающее устройство; ИУ — исполнительное устройство (светодиоды); ИП — измерительный преобразователь (обратная связь); КПБ — контрольно-пусковой блок (драйвер, блок питания).

Физические величины:  $t$  — время;  $L$  — яркость;  $E$  — освещенность;  $S$  — спектральный состав.

Предполагается, что системой посредством задающего устройства (ЗУ1), в зависимости от входящего сигнала времени, устанавливается контрольное значение нормы освещенности в текущий период времени. В зависимости от целей применения осветительной установки сигнал времени предопределяет выбор управляющей программы прибора. Далее поступивший сигнал сравнивается с действующим уровнем освещенности (показания измерительного преобразователя (ИП1)), и на основе результата сравнения формируется соответствующий закон регулирования (Р1) и выдается управляющий сигнал на контрольно-пусковой блок (КПБ), который включает ту или иную группу исполнительных устройств (светодиодов). Второй контур системы служит для управления спектральной характеристикой освещения, принцип его работы аналогичен первому контуру. Следует отметить, что указанная функциональная схема является лишь базисом для описания разрабатываемой концепции автоматического освещения и не отражает в полной мере технологических решений, применяемых для выполнения поставленных перед ней задач.

Помимо обеспечения автоматического управления, необходимо учитывать непосредственно физическую возможность генерации заданного излучения осветительным устройством. В данном аспекте наиболее приемлемым выглядит вариант с комбинированием различных групп светоизлучающих диодов с разной длиной волны в спектре оптического излучения. Применение различных групп монохроматических светодиодов и СИД различных оттенков белого света позволит добиться максимально широких возможностей для управления параметрами освещения, что подтверждается математическим моделированием, выполненным в ходе анализа актуальности предлагаемой концепции освещения [7]. Для обеспечения равномерного освещения с заданными освещенностью и спектральным составом рационально применить распределенную систему общего и местного освещения. Также необходимо заложить модульный принцип в конструкцию осветительного устройства, реализуемого в рамках концепции, что позволит обеспечить максимальное соответствие осветительного прибора месту и условиям его применения, а также окажет положительный эффект на ремонтпригодность и возможность модернизации и усиления отдельных характеристик системы освещения. С целью апробации указанных выше положений концепции был разработан прототип осветительного устройства (рис. 2), отражающий соответствующие конструктивные принципы [8].

В конструкцию прототипа заложен модульный принцип. Концепцией предполагается возможность комплектации осветительной установки различными модулями в зависимости от поставленных перед прототипом задач. Модули собираются вместе с помощью

разъемных соединений, что обеспечивает возможность удобной замены как самого модуля в целом, так и отдельных его компонентов.

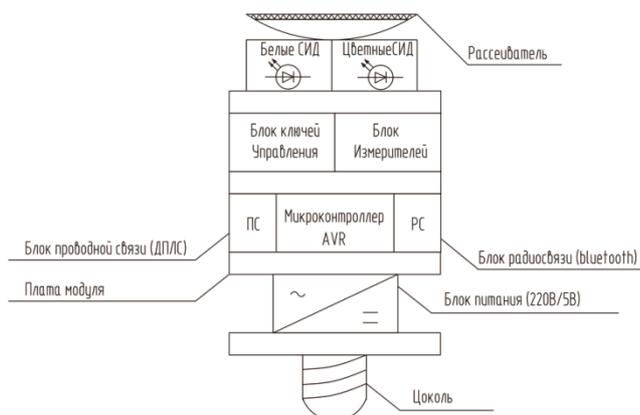


Рис. 2. Конструкция прототипа осветительного устройства

Рассматриваемая версия прототипа состоит из следующих модулей:

- модуль питания. Данный модуль состоит из разъема для подключения в электрическую сеть и преобразователя напряжения. Для удобства эксплуатации в качестве разъема питания был применен стандартный цоколь E27. Для преобразования переменного напряжения питающей сети (220 В) в постоянное напряжение 5 В был применен соответствующий преобразователь напряжения с допустимым током 3 А;

- модуль управления и связи. Данный модуль состоит из управляющего микроконтроллера и соответствующих интерфейсов связи. Для реализации функции контроля и управления в прототипе было выбрано электронное устройство «Arduino nano» на базе микроконтроллера «Atmel AVR (ATmega328P)». Данное устройство также выполняет функции проводной связи. Проводная связь с ПК и другими устройствами обеспечивается через COM порт. Для реализации беспроводной связи был выбран модуль Bluetooth HC-05, подключаемый к указанному выше электронному устройству на базе платформы Arduino. Модуль беспроводной связи Bluetooth применяется как беспроводной аналог COM порта и позволяет удаленно обращаться к устройству без непосредственного подключения физического разъема, что значительно упрощает объединение нескольких модулей и/или персонального компьютера в единую информационную сеть. Подробнее о принципах обеспечения проводной и беспроводной связи можно узнать в документации на технические элементы блока связи, указанные выше;

- силовой/измерительный модуль. Для уменьшения габаритов экспериментальной установки в данный модуль интегрированы два функциональных блока — блок силовых ключей управления, применяемых для переключения режимов работы оптического модуля, и измерительный блок, который включает в себя датчики температуры/влажности и освещенности. Оборудование обоих блоков подключается к управляющим выводам микроконтроллера блока управления и связи. Данные датчики работают независимо от оптического модуля и предоставляют информацию о микроклима-

те помещения, которую впоследствии можно использовать как для принятия решений на базе микроконтроллера прототипа, так и передать на центральное устройство информационной сети для использования в соответствующих системах диспетчеризации и наблюдения;

- оптический модуль. Состоит из излучающих светодиодов трех оттенков белого цвета (теплого, нейтрального, холодного), а также монохроматических СИД, излучающих на различных длинах волн оптического спектра. Диапазон допустимых характеристик спектрального состава излучения определяется в зависимости от цели применения излучающего устройства. Для улучшения оптических свойств устанавливается на оптический модуль устанавливается рассеиватель излучения.

В концепцию прототипа заложены широкие возможности для автоматического управления освещением. Предполагается, что модуль может работать как автономно, регулируя параметры своей работы с помощью заложенного в него алгоритма и встроенных датчиков, так и объединяться в информационную сеть с помощью интерфейсов связи с другими такими же приборами или с центральным устройством, реализованным на базе персонального компьютера. При этом в центральном устройстве могут быть реализованы функции, ввиду технических ограничений недоступные прототипу осветительного устройства: спектральный анализ освещения в помещении, сложные алгоритмы автоматической работы устройств, ручное дистанционное управление, мониторинг и диспетчеризация, передача информации другим устройствам локальной сети, а также ведение базы данных работы приборов. Таким образом, формируется функциональная схема системы освещения, реализуемая в рамках данной концепции (рис. 3)

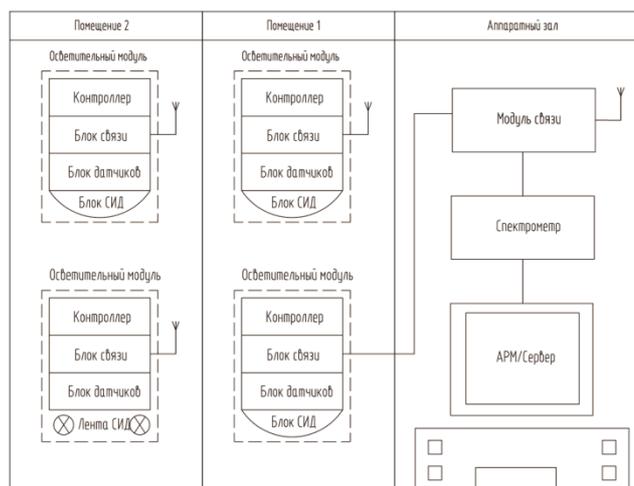


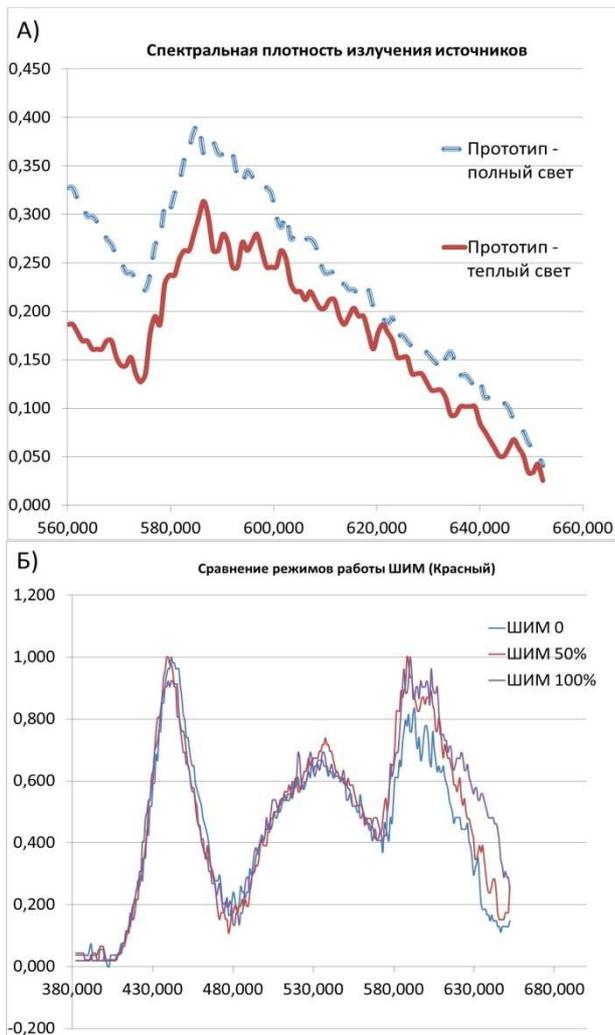
Рис. 3. Функциональная схема концепции системы освещения

Благодаря модульной конструкции, унифицированному цоколю, наличию проводного и беспроводного интерфейса связи модернизация существующих систем освещения может быть выполнена путем внедрения новых исполнительных модулей с последующей привязкой к централизованному или распределенному программно-аппаратному комплексу.

**Результаты применения концепции автоматически управляемого освещения на базе СИД.** В результате испытания прототипа осветительного устройства был получен ряд спектральных характеристик, отражающих возможности управления спектральным составом излучения с целью соответствия заданным эталонам.

На графиках (рис. 4 – 7), представлены зависимости относительной мощности излучения (ось ординат) от длины волны излучения (ось абсцисс).

На рис. 4, отражена возможность управления излучением установки как за счет включения тех или иных групп светодиодов, так и за счет управления проходящим электрическим током с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [9] и амплитудной широтно-импульсной модуляции питающего напряжения.

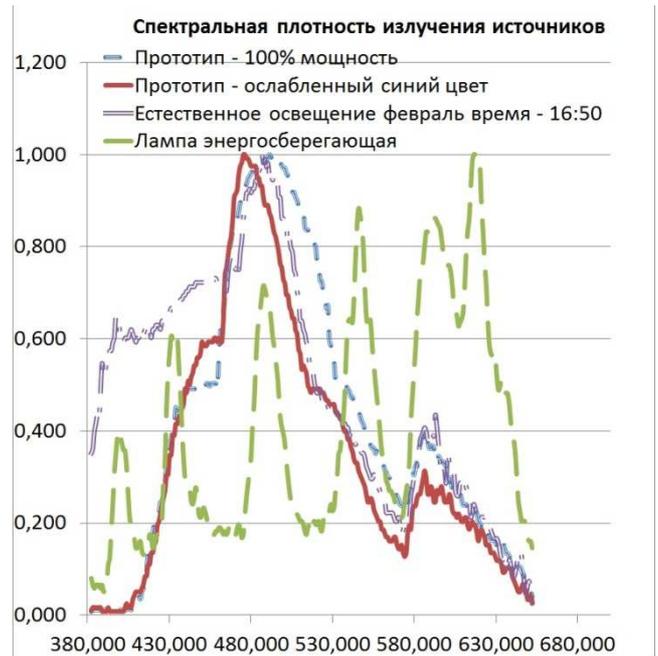


**Рис. 4.** Регулирование излучения прототипа

На рис. 5, представлены спектральные характеристики различных исследуемых источников освещения (компактной энергосберегающей люминесцентной лампы, естественного эталона и прототипа в двух режимах работы).

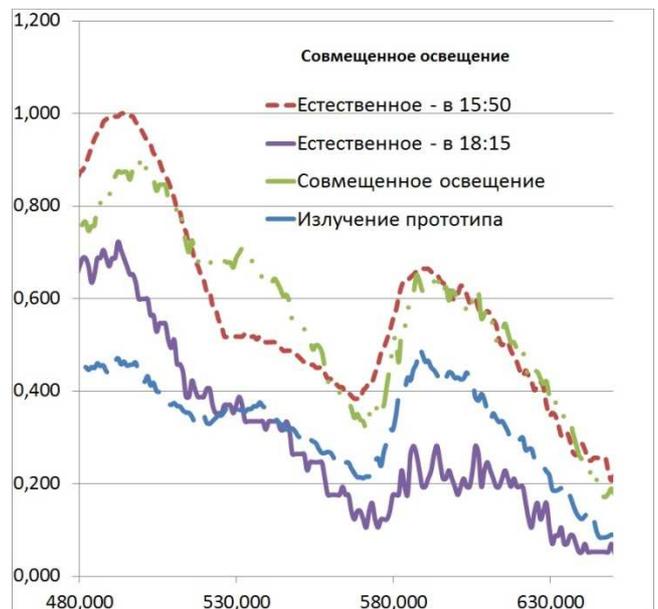
Анализ кривых спектральной плотности распределения излучения доказывает возможность достижения заданных эталонных параметров спектрального состава

излучения с помощью осветительного устройства, разрабатываемого в рамках соответствующей концепции.



**Рис. 5.** Спектральная плотность излучения исследуемых источников

В рамках проводимых исследований проведено математическое моделирование — путем сложения кривых излучения прототипа в различных режимах работы была теоретически подтверждена возможность обеспечения заданных спектральных характеристик излучения в режимах совмещенного (рис. 6) и искусственного (рис. 7) освещения.



**Рис. 6.** Спектральная плотность излучения при совмещенном освещении

В рамках разработки автоматической системы освещения на базе СИД были проведены исследования, рассматривающие возможность применения концепции для обеспечения искусственного [10] и совмещенного освещения [11] в помещениях и на строительных площадках при производстве землеройно-транспортных [12] и строительно-транспортных работ [13], а также достижение оптимального прохождения фотобиологических процессов за счет применения освещения на базе автоматически управляемых СИД [14].

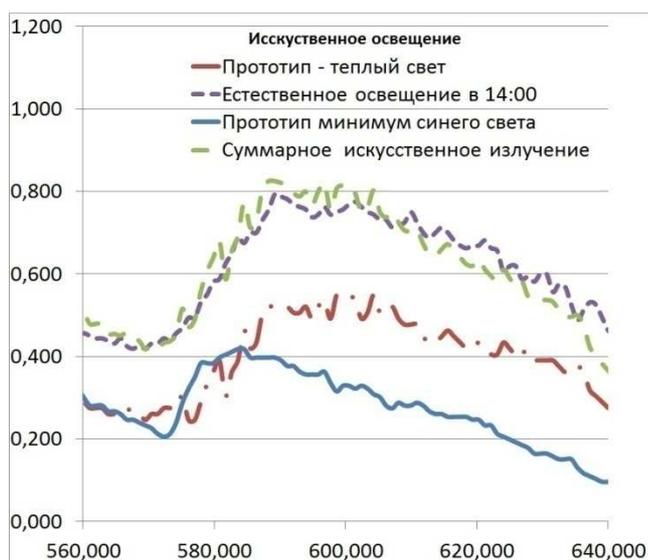


Рис. 7. Спектральная плотность излучения при искусственном освещении

### Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о том, что применение автоматически управляемой системы освещения актуально как с точки зрения наиболее благоприятных для организма человека условий освещения, так и в аспекте обеспечения оптимальных параметров зрительного восприятия в процессе трудовой деятельности. Важным фактором также является возможность достижения экономического эффекта за счет оптимизации затрат на электроэнергию за счет автоматизации управления мощностью излучения. Таким образом, разработка указанной выше концепции является актуальной и потенциально востребованной в быту и народном хозяйстве.

### Литература

1. Агаджанян Н.А. Экология человека. М.: Знание, 1987. С. 16-36.
2. Жилинский Ю.М., Кумин В.Д. Электрическое освещение и облучение. М.: Колос, 1982. С. 12-14.
3. Потепенко А.Я. Действие света на человека и животных // СОЖ. 1996. № 10. С. 13-21.
4. СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*»: утв. приказом Минрегион Рос. Федерации от 27.12. 2001. № 783.
5. Ульянов Р.С., Шиколенко И.А., Завьялов В.А. Улучшение качественных и количественных показателей систем освещения, за счет применения автоматически управляемых светодиодов // Интеграция, партнерство и инновации в

строительной науке и образовании: сб. докл. международной научной конференции. М.: МГСУ, 2013. С. 765-709.

6. Ульянов Р.С., Завьялов В.А. Концепция системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 108-111.

7. Ульянов Р.С., Завьялов В.А. Анализ актуальности концепции системы освещения помещений с автоматическим управлением на базе светодиодов // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: материалы I студенческой международной заочной научно-практической конференции. (27 марта 2013 г.). М.: Международный Центр Науки и Образования, 2013. С. 44-50.

8. Шиколенко И.А., Ульянов Р.С., Завьялов В.А. Разработка концепции светодиодного осветительного оборудования с автоматически регулируемыми параметрами освещения // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сб. докл. международной научной конференции. М.: МГСУ, 2013. С. 784-788.

9. Шиколенко И.А., Завьялов В.А. Применение ШИМ в регулировании освещенности рабочего места // Молодой ученый. 2013. № 3. С. 122-125.

10. Ульянов Р.С., Шиколенко И.А., Завьялов В.А., Прокопьев С.В. Концепция освещения производственных помещений с помощью автоматически управляемых светодиодных светильников // Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса: сб. материалов Международных научно-практических конференций за август 2013 года. Казань, 2013. С. 47-52.

11. Прокопьев С.В., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. Применение светодиодных светильников с автоматическим управлением для организации совмещенного освещения в помещениях жилых и общественных зданий // Молодой ученый. 2013 № 3. С. 108-111.

12. Кудрявцев Е.М., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. Обоснование применения системы автоматически регулируемого освещения на базе светодиодов при производстве землеройно-транспортных работ // Технические науки: традиции и инновации: материалы II международной научной конференции. (г. Челябинск, окт., 2013 г.). Челябинск: Два комсомольца, 2013. С. 62-67.

13. Кудрявцев Е. М., Ульянов Р.С., Шиколенко И. А. Применение системы освещения на базе автоматически управляемых светодиодов при производстве строительно-транспортных работ // Молодой ученый. 2013. № 10. С. 149-156.

14. Завьялов В.А., Величкин В.А., Ульянов Р.С., Шиколенко И.А. Достижение оптимального прохождения фотобиологических процессов за счет применения освещения на базе автоматически управляемых сил // Научно-технический вестник Поволжья. Казань. 2013. С. 270-273.

### References

1. Agadzhanian N.A. Human Ecology. M.: Znanie, 1987. P. 16-36.
2. Zhilinskii Yu.M., Kumin V.D. Electric light and radiation. M.: Kolos, 1982. P. 12-14.
3. Potapenko A.Ya. Effect of light on human and animal // SOZh. 1996. № 10. P. 13-21.
4. SP 52.13330.2011. «Rulebook. Natural and artificial lighting. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-05-95\*»: utv. prikazom Minregion Ros. Federatsii ot 27.12. 2001. № 783).
5. Ulyanov R.S., Shikolenko I.A., Zav'yalov V.A. Improving the quality and quantity of lighting systems through the use of automatically controlled LED // Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noi nauke i obrazovanii: sb. dokl. mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. M.: MGSU, 2013. P. 765-709.
6. Ulyanov R.S., Zav'yalov V.A. The concept of interior lighting system with automatic control of LED // Molodoy uchenyi. 2013. № 3. P. 108-111.

7. Ul'yanov R.S., Zav'yalov V.A. Analysis of the relevance of the concept of interior lighting system with automatic control of LED // Molodezhnyi nauchnyi forum: Tekhnicheskie i matematicheskie nauki: materialy I studencheskoi mezhdunarodnoi zaochnoi nauchno - prakticheskoi konferentsii. (27 marta 2013 g.). M.: Mezhdunarodnyi Tsentr Nauki i Obrazovaniya, 2013. P. 44-50.

8. Shikolenko I.A., Ul'yanov R.S., Zav'yalov V.A. Development of the concept of LED lighting equipment with electrically adjustable parameters lighting // Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noi nauke i obrazovanii: sb. dokl. mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. M.: MGSU, 2013. P. 784-788.

9. Shikolenko I.A., Zav'yalov V.A. Application PWM light regulation of the workplace // Molodoi uchenyi. 2013. № 3. P. 122-125.

10. Ul'yanov R.S., Shikolenko I.A., Zav'yalov V.A., Prokop'ev S.V. Lighting concept fabrication facilities using automatically controlled LED lamps - Integration of world scientific processes as a foundation for social progress // Integratsiya mirovykh nauchnykh protsessov kak osnova obshchestvennogo pro-

gressa: sb. materialov Mezhdunarodnykh nauchno-prakticheskikh konferentsii za avgust 2013 goda. Kazan', 2013. P. 47-52.

11. Prokop'ev S.V., Ul'yanov R.S., Shikolenko I.A. Application of LED lights with automatic control for the combined organization lighting in residential and public buildings // Molodoi uchenyi. 2013 № 3. P. 108-111.

12. Kudryavtsev E.M., Ul'yanov R.S., Shikolenko I.A. Justification for applying the system automatically controlled lighting based on LEDs in the manufacture of earthmoving // Tekhnicheskie nauki: traditsii i innovatsii: materialy II mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. (g. Chelyabinsk, okt., 2013 g.). Chelyabinsk: Dva komsomol'tsa, 2013. P. 62-67.

13. Kudryavtsev E.M., Ul'yanov R.S., Shikolenko I.A. Applications lighting system based on LED automatically controlled during construction and transport operations // Molodoi uchenyi. 2013. № 10. P. 149-156.

14. Zav'yalov V.A., Velichkin V.A., Ul'yanov R.S., Shikolenko I.A. Achieving optimal transmission photobiological processes through the use of lighting is automatically controlled based on oxide // Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya. Kazan'. 2013. P. 270-273.

УДК 662.76:631.37

## Математическая модель оценки эффективности использования сжиженного и компримированного природного газа в качестве газомоторного топлива для сельскохозяйственной техники

М.Е. Корягин<sup>a</sup>, А.И. Декина<sup>b</sup>

Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, ул. Марковцева 5, Кемерово, Россия

<sup>a</sup>oit@ksai.ru, <sup>b</sup>alexandra\_171183@mail.ru

Статья поступила 18.08.2014, принята 15.11.2014

*Авторы статьи исследуют возможность использования альтернативных видов топлива, в частности сжатого и сжиженного природного газа, в контексте снижения расходов сельхозпредприятия на моторное топливо. Строительство заводов по сжижению газа позволит использовать природный газ для сельскохозяйственной техники при отсутствии магистрального газа, который более выгоден в использовании. Разработаны математические модели, позволяющие рассчитать срок окупаемости проектов по переводу сельхозтехники на сжиженный или компримированный природный газ с учетом модификации топливной системы сельхозмашин, что необходимо в случае использования вместо чистого дизельного топлива его смеси с природным газом. Приведен численный пример, который показывает, что срок окупаемости проектов по переводу сельхозтехники на использование природного газа в качестве топлива составляет от полутора лет и зависит в первую очередь от количества переоборудованной сельскохозяйственной техники. Проекты с использованием сжиженного газа окупаются в течение двух лет и более, что связано с существенной стоимостью сжижения и хранения газа.*

**Ключевые слова:** газомоторное топливо, сельскохозяйственная техника, математическое моделирование, сжиженный природный газ, компримированный природный газ.

## Mathematical model for assessing the efficiency of using liquified and compressed natural gas as natural gas motor fuel in agricultural vehicles

М.Е. Koryagin<sup>a</sup>, А.И. Dekina<sup>b</sup>

Kemerovo State Agricultural Institute, 5, Markovtseva St., Kemerovo, Russia

<sup>a</sup>oit@ksai.ru, <sup>b</sup>alexandra\_171183@mail.ru

Received 18.08.2014, accepted 15.11.2014

*The authors investigate the use of alternative fuel types, such as compressed and liquified natural gas, as a way of reducing costs for motor fuel in agricultural enterprises. Construction of gas liquification plants will allow using natural gas for agricultural vehicles,*