

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННОГО ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА ВОЗВРАТНО-ЦЕЛЕВОГО УСИЛЕНИЯ БЮДЖЕТНОГО ФИНАНСИРОВАНИЯ**

**Казаринов Л.С., Вставская Е.В., Барбасова Т.А.**

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, e-mail: admin@susu.ac.ru*

Генеральным направлением реконструкции систем освещения объектов бюджетной сферы является внедрение энергоэффективных светодиодных источников света, гибкого индивидуального управления источниками света в гибридных комплексах освещения. Решение данной проблемы тормозится высокой стоимостью светодиодных источников, аппаратуры автоматизированных систем, отсутствием методологии и технических решений построения гибких адаптивных систем автоматизированного управления сложными гибридными комплексами наружного освещения, а также ограниченностью бюджетных средств.

В работе предложен технико-экономический механизм эволюционной модернизации систем наружного освещения на основе возвратно-целевого финансирования проектов при повышении функционального резерва светодиодных источников света. Проведена оценка периодов окупаемости проектов модернизации систем уличного освещения на базе светодиодных источников света повышенной эксплуатационной надежности.

Целью исследования является оценка эффективности внедрения нового класса автоматизированных систем управления, обеспечивающих повышение эксплуатационной эффективности сложных комплексов наружного освещения, основанной на внедрении эффективных технических решений на основе технико-экономического механизма возвратно-целевого усиления бюджетного финансирования.

Основу методики исследования составляют методы математического и статистического анализа, методы обработки информации в автоматизированных системах управления, методы оптимизации, методы математического программирования, теоретические и методологические основы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами, имитационного моделирования с применением инструментальных средств автоматизации математических и инженерных вычислений.

Ключевые слова: системы управления, источники света.

## **THE EFFICIENCY OF UPGRADING THE STREET LIGHTS SYSTEMS BASED ON THE INNOVATIVE REVOLVING BUDGETARY MECHANISM**

**Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Vstavskaya E.V.**

*South Ural state university (National research university), Chelyabinsk, e-mail: admin@susu.ac.ru*

The main direction in the reconstruction of the lighting systems for governmental objects is the introduction of energy efficient LED light sources and using flexible control of light sources in hybrid light systems. The solution of this problem is hampered the high prices for LED sources, control systems equipment and the low financing. The absence of special methodology and technical solutions in the design of flexible adaptive systems of control the hybrid street light systems has the same influence.

This work offers technical and economic mechanism of the evolutionary modernization street light systems based on the target repayable financing with the increasing of functional backup of LED sources. The payback period of such modernization projects was evaluated in this work.

The purpose of the research is to assess the efficiency of introduction the new class of industrial control systems which provides the maintainability increasing of complex street light systems. This is based on introduction of the technical solutions which are based on the technical and economic mechanism of the target repayable budgetary financing growth.

The basis of the research method compounds of mathematical and statistical analyses methods, procedures of the information handlings in industrial control systems, methods of optimization, methods of mathematical programming, theoretical and methodological bases of the control systems design, methods of simulation modeling using instruments of mathematical and engineering automation.

Keywords: control systems, lighting source.

## **Введение**

Генеральным направлением реконструкции систем освещения объектов бюджетной сферы является внедрение энергоэффективных светодиодных источников света, гибкого индивидуального управления источниками света в гибридных комплексах освещения. Решение данной проблемы тормозится высокой стоимостью светодиодных источников, аппаратуры автоматизированных систем, отсутствием методологии и технических решений построения гибких адаптивных систем автоматизированного управления сложными гибридными комплексами наружного освещения, а также ограниченностью бюджетных средств.

В работе предложен технико-экономический механизм эволюционной модернизации систем наружного освещения на основе возвратно-целевого финансирования проектов при повышении функционального резерва светодиодных источников света. Проведена оценка периодов окупаемости проектов модернизации систем уличного освещения на базе светодиодных источников света повышенной эксплуатационной надежности.

**Целью** исследования является оценка эффективности внедрения нового класса автоматизированных систем управления, обеспечивающих повышение эксплуатационной эффективности сложных комплексов наружного освещения, основанной на внедрении эффективных технических решений на основе технико-экономического механизма возвратно-целевого усиления бюджетного финансирования.

**Подход к внедрению энергосберегающих проектов на основе технико-экономического механизма возвратно-целевого усиления бюджетного финансирования**

Для реализации процесса модернизации системы освещения целесообразно организовать целевой фонд финансирования модернизации освещения.

Наполнение фонда целесообразно осуществлять за счет экономии денежных средств, образующейся вследствие повышения энергетической эффективности модернизируемого уличного освещения. Полученная экономия должна аккумулироваться в указанном целевом фонде. Аккумулированные средства фондов целевым образом направляются в рамках выполняемой программы на развитие работ по модернизации уличного освещения. При этом усиливается приток средств в соответствующий фонд модернизации уличного освещения.

Таким образом, можно постепенно увеличивать объемы работ по модернизации уличного освещения с перспективой реализации всех работ.

Правовая основа создания механизма возвратного целевого финансирования – Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты российской федерации», регулирующий отношения по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Повышение эффективности использования электрической энергии можно достичь на основе модернизации уличного освещения, которая состоит во внедрении автоматизированной системы диспетчерского управления уличным освещением с перспективой последовательного внедрения новых высокоэффективных источников света на базе светодиодов.

В силу сложившихся экономических условий объем первоначальных источников финансирования работ является ограниченным, поэтому для данного проекта предполагается усиление финансирования на основе использования существующего потенциала энергосбережения.

В основу усиления финансирования работ по модернизации системы уличного освещения целесообразно положить технико-экономический механизм **возвратного целевого финансирования**.

Общая схема возвратного целевого финансирования состоит в организации специализированной программы модернизации уличного освещения.

Целью создания распределенной автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) с гибкой итерационной структурой, с плавным регулированием яркости светильников уличного освещения является повышение энергетической эффективности, надежности и качества уличного освещения на основе централизованного автоматического и оперативно-диспетчерского управления режимами светодиодных источников света, предназначенных для освещения улиц, объектов и территорий городов и населенных пунктов, расположенных в районах с умеренно-холодным климатом.

### **Оценочный расчет модернизации системы уличного освещения**

В целях анализа и обоснования направлений исследования необходимо производить оценочный расчет экономической эффективности модернизации системы уличного освещения, включающих внедрение АСДУ уличного освещения и замены существующих ламп на более эффективные светодиодные светильники.

Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации АСДУ обусловлена следующими основными факторами:

- включение/отключение освещения, исходя из реального уровня естественной освещенности, учитывающее текущую протяженность светового дня и погодные факторы (коррекция режима включения на «пасмурный день» и «солнечный день»);

- экономичный режим частичного освещения во «внутренние» часы ночного времени за счет пофазного управления питанием линий освещения (отключение 1-й фазы в ночное время) либо плавного снижения мощности светового потока светодиодных уличных светильников;

- экономия на «ресурсе» осветительных ламп за счет уменьшения суммарного времени горения;

- оплата по каждому пункту учета по конкретному энергопотреблению, а не за установленную мощность;

- возможность контролировать несанкционированные подключения на основании показаний электросчетчиков, позволяющих отслеживать изменения текущей потребляемой мощности, токов и напряжений по каждой фазе;

- экономия на организационно-технических мероприятиях: предотвращение аварий, экономия на обслуживании, транспортные расходы, увеличение сроков эксплуатации оборудования (ламп, проводов) и т.д.

Для расчета необходимы параметры работы системы уличного освещения по месяцам без АСДУ и с учетом режима частичного освещения в ночное время под управлением АСДУ с учетом нормативных данных.

При этом в расчете принято, что благодаря планируемому повышению надежности разрабатываемых светодиодных светильников, а также уменьшению времени горения светильников в АСДУ, их срок эксплуатации увеличивается с 10 до 12 лет, тем самым увеличивается функциональный резерв службы светодиодных источников света.

Кроме того, процесс эволюционного внедрения энергоэффективных систем уличного освещения подразумевает выделение первоначального бюджетного финансирования на частичное выполнение энергоэффективных работ. Полученную экономию денежных средств рекомендуется направлять в возвратно-целевой фонд. Дальнейшее финансирование работ происходит за счет сэкономленных средств – средств возвратно-целевого фонда.

На данном этапе первоначально определяется объем финансирования мероприятий эволюционного внедрения систем уличного освещения.

Из указанного объема финансирования определяется количество светильников, которые будут заменяться на регулируемые светодиодные источники света при учете постепенного внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления уличным освещением.

## Расчет окупаемости модернизации системы уличного освещения Златоустовского городского округа

В работе приведены расчеты модернизации системы освещения на базе внедрения автоматизированной системы диспетчерского регулирования и внедрения светодиодных источников света повышенной эксплуатационной надежности [2]. В результате проведенных работ по оптимизации светодиодных источников света по максимуму функционального резерва при ограничении на весогабаритные характеристики [1] и внедрению АСДУ, срок эксплуатации светодиодных источников света увеличивается с 10 до 12 лет, тем самым увеличивается функциональный резерв службы светодиодных источников света.

Расчет окупаемости модернизации системы уличного освещения Златоустовского городского округа проведен для следующих вариантов:

- вариант А – расчет без учета роста тарифов на электрическую энергию;
- вариант Б – учитывается ежегодный рост тарифов на 15 %.

Кроме того были рассмотрены варианты:

- замены существующих ламп ЛОН на светодиодные источники света, при этом экономия определялась только на уменьшении потребления электрической энергии и снижении эксплуатационных затрат;

- замены ламп на светодиодные источники света при внедрении автоматизированного диспетчерского управления режимами работы светодиодных источников света.

Сравнение удельных показателей эффективности вариантов использования светильников по исходным данным, приведенным в [3], представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица удельных показателей эффективности вариантов использования светильников

Параметр	Вариант	Базовая лампа ДНаТ-250	Базовые СИС (без АСДУ), расчетный срок службы 10 лет	Разрабатываемые СИС (с АСДУ), расчетный срок службы 12 лет
Эксплуатационные расходы по статьям стоимость приобретения и замена за расчетный период, тыс. руб./л.	10 лет	14,2	16,7	–
	12 лет	16,8	–	20,2
Срок окупаемости, мес. (лет)	А	–	65 (5,42)	68 (5,74)
	Б	–	53 (4,42)	54 (4,50)
Суммарная накопленная экономия за расчетный срок службы, тыс. руб./л.	А	–	13,7	38,7
	Б	–	34,4	61,3

Расчетные срок окупаемости замены ламп на светодиодные источники света составил

- 5,42 года без учета роста тарифов на электрическую энергию, и без внедрения АСДУ, с учетом роста тарифов - 4,42 года;

- при внедрении АСДУ – 5,74 года (без учета роста тарифов) и 4,5 года (с учетом роста тарифов).

Предварительные расчеты внедрения АСДУ и замены существующих источников на светодиодные показали возможность проведения таких мероприятий. Но для модернизации всей системы освещения Златоустовского городского округа необходимы значительные средства.

В силу сложившихся экономических условий объем первоначальных источников финансирования работ является ограниченным, поэтому для проектов модернизации систем освещения на базе энергоэффективных светодиодных источников света предполагается усиление финансирования на основе использования существующего потенциала энергосбережения.

В работе [1] рассмотрен технико-экономический механизм эволюционной модернизации систем наружного освещения на базе внедрения автоматизированных систем управления светодиодными источниками света повышенной эксплуатационной надежности и функциональным резервированием. Функциональный резерв светодиодных источников света позволяет решить задачу компенсации процессов старения осветительных приборов (поддержание суммарного светового потока на заданном уровне в течение всего срока службы светильника) в автоматическом режиме, что, в свою очередь, будет способствовать уменьшению затрат на проведение ремонтно-профилактического обслуживания светильников и повышению общего срока безотказной работы системы уличного освещения в целом.

Общее количество светильников в системе уличного освещения составляет 4 576 шт. [1].

На рисунке 1 представлены результаты, демонстрирующие возможную максимальную эффективность выполнения программы полной модернизации системы освещения Златоустовского городского округа. Так при полном финансировании программы возможно экономить в год примерно 2 400 МВт·ч электрической энергии на освещении за счет внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления режимами освещения с гибкой итерационной структурой, с плавным регулированием яркости светильников уличным освещением и за счет уменьшения установленной мощности при замене ламп на энергоэффективные источники света – светодиодные.

На рисунке 1 представлены зависимости получения экономии электрической энергии по годам выполнения программы при частичном финансировании работ в размере 10, 30 и 50 %.

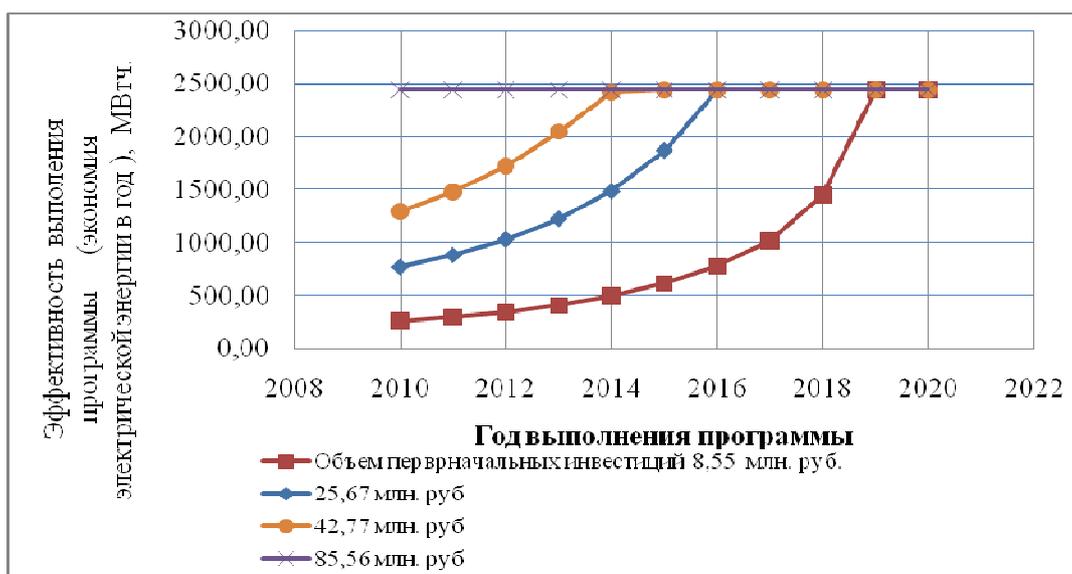


Рис. 1. Экономия электрической энергии от года выполнения программы модернизации системы освещения в зависимости от объема первоначальных инвестиций

На рисунке 2 представлены зависимости получения экономии электрической энергии по годам выполнения программы с накоплением при частичном финансировании работ в размере 10, 30 и 50 % и полном 100 % первоначальном финансировании работ.

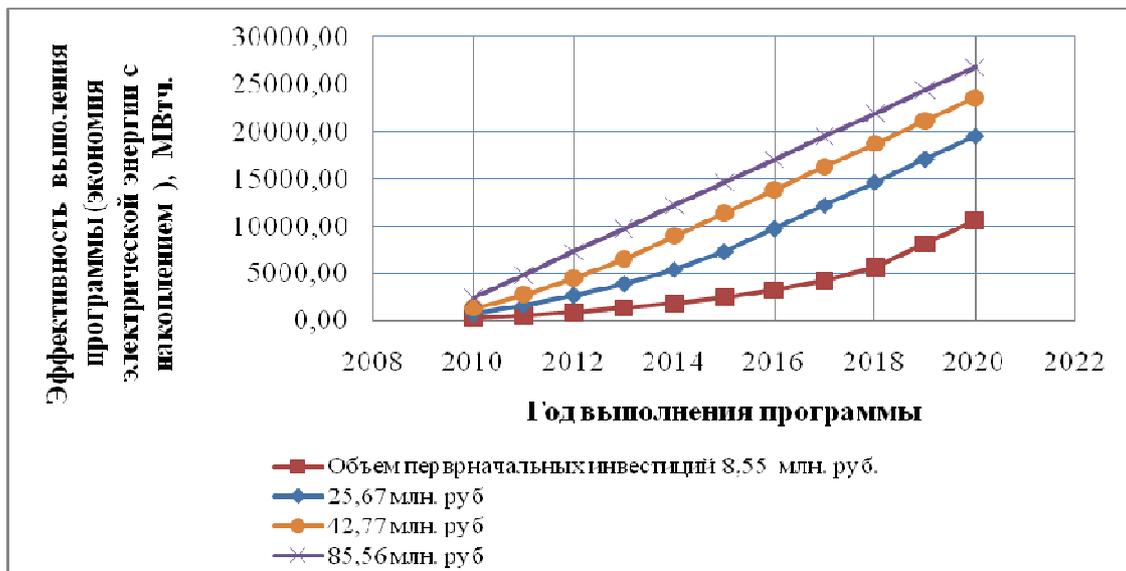


Рис. 2. Накопленная экономия электрической энергии от года выполнения программы модернизации системы освещения в зависимости от объема первоначальных инвестиций

Так при полном финансировании программы за расчетный период (10 лет, до 2020 г.) возможно сэкономить до 26 808 МВт·ч электрической энергии на освещении за счет внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления с гибкой итерационной структурой, с плавным регулированием яркости светильников уличным освещением и за счет уменьшения установленной мощности при замене ламп на энергоэффективные источники света – светодиодные.

На рисунке 3 представлена экономия денежных средств от года выполнения программы модернизации системы освещения при различных объемах первоначальных инвестиций.

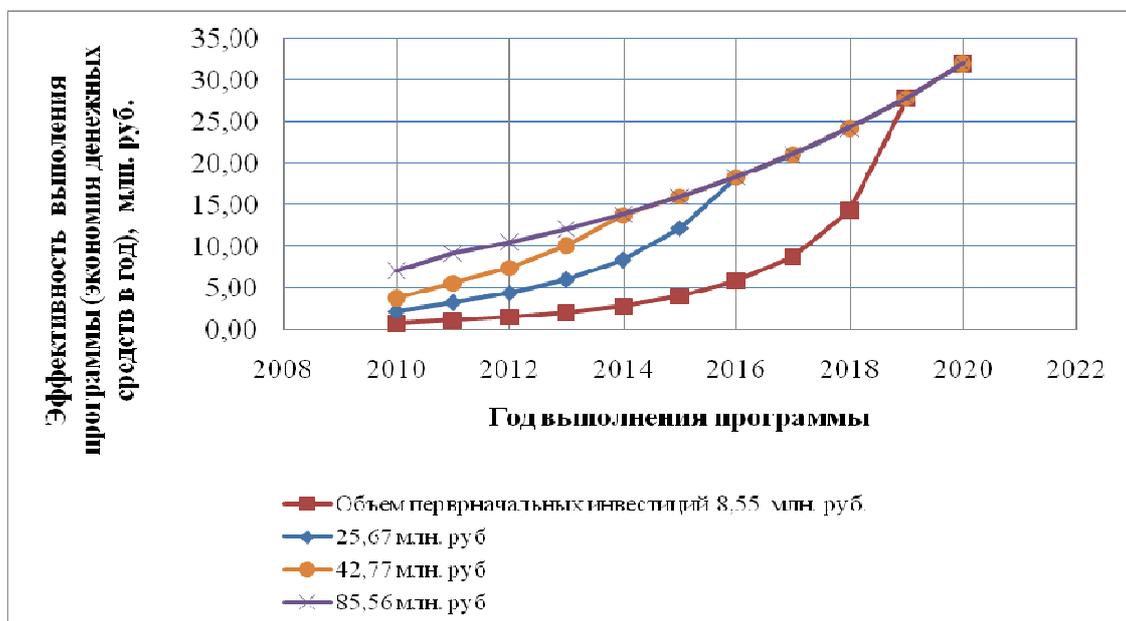


Рис. 3. Экономия денежных средств от года выполнения программы модернизации системы освещения в зависимости от объема первоначальных инвестиций

Так при полном финансировании программы за расчетный период (10 лет, до 2020 г.) возможно сэкономить до 192 млн. руб. за счет внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления режимами освещения и за счет уменьшения установленной мощности при замене ламп на энергоэффективные источники света – светодиодные.

## Расчет окупаемости модернизации системы уличного освещения студенческого городка ГОУ ВПО ЮУрГУ

В работе приведены расчеты модернизации системы освещения на базе внедрения автоматизированной системы диспетчерского регулирования и внедрения светодиодных источников света повышенной эксплуатационной надежности [1]. В результате проведенных работ по оптимизации светодиодных источников света по максимуму функционального резерва при ограничении на весогабаритные характеристики [1] и внедрению АСДУ, срок эксплуатации светодиодных источников света увеличивается с 10 до 12 лет, тем самым увеличивается функциональный резерв службы светодиодных источников света.

Расчет окупаемости модернизации системы уличного освещения студенческого городка ГОУ ВПО ЮУрГУ проведен при следующих исходных данных:

- 1) количество существующих светильников в системе освещения, подлежащих замене на светодиодные - 101 шт,
- 2) тип ламп – ДнаТ, 250 Вт,
- 3) замена производится на светодиодные светильники мощностью 110 В,
- 4) количество часов работы системы освещения в год для города Челябинска – 3866 часов,
- 5) ориентировочные затраты на создание диспетчерского пункта для ГОУ ВПО ЮУрГУ – 510 тыс. руб.,
- 6) ориентировочные затраты на создание объекта управления ГОУ ВПО ЮУрГУ – 140 тыс. руб.,
- 7) ориентировочные затраты на внедрение автоматизированной системы диспетчерского управления – 650 тыс. руб.,
- 8) расчетная экономия электрической энергии за счет внедрения автоматизированной системы, полученной за счет уменьшения светового потока в ночное время, составляет 39 %.

На рисунке 5 приведены графики полученной экономии денежных средств в зависимости от года выполнения программы модернизации системы освещения. Следует отметить, расчетный срок окупаемости внедрения системы диспетчерского управления уличным освещением при установке 22 шт. светодиодных источников света составляет 9 лет 10 месяцев. Большой срок окупаемости обусловлен малым объемом внедрения регулируемых светодиодных источников света при организации автоматизированной системы диспетчерского управления освещением.

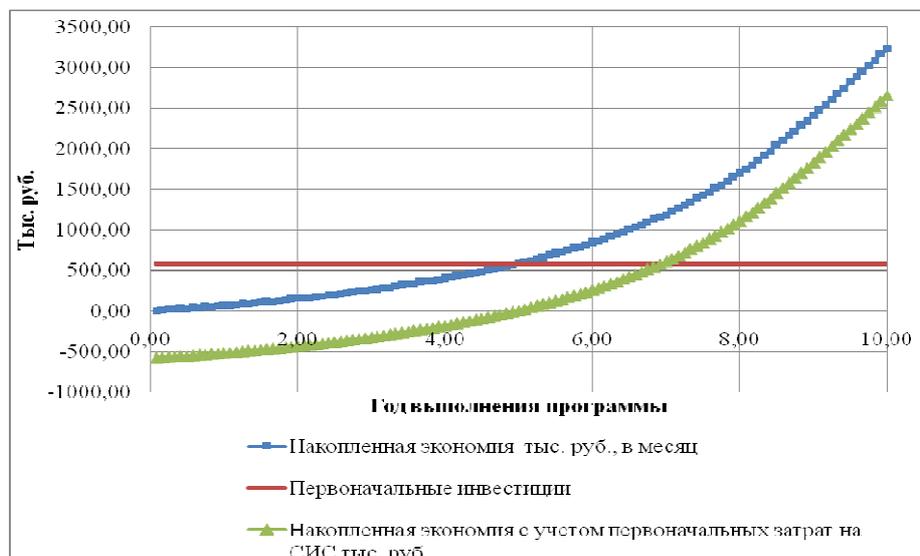


Рис. 5

При единовременной модернизации системы освещения с внедрением АСДУ и установкой 101 шт. светодиодных источников света на всю территорию студенческого городка ГОУ ВПО ЮУрГУ срок окупаемости составляет 6 лет и 5 месяцев.

Вследствие больших сроков окупаемости проектов модернизации систем освещения при внедрении АСДУ и установке светодиодных источников света и вследствие ограниченных бюджетных ресурсах предлагается рассматривать проекты с возвратно-целевым финансированием работ.

При первоначальных вложениях в размере 575 тыс. руб. и использовании механизма возвратно-целевого финансирования за расчетный период, возможно произвести модернизацию всей системы освещения района студенческого городка ФГБОУ ВПО ЮУрГУ.

Срок окупаемости первоначальных инвестиций с учетом возвратно-целевого финансирования составит 4 года и 10 месяцев.

### **Заключение**

В силу сложившихся экономических условий объем первоначальных источников финансирования энергоэффективных работ является ограниченным, поэтому для проектов модернизации систем освещения на базе светодиодных источников света предполагается усиление бюджетного финансирования на основе использования существующего потенциала энергосбережения.

В работе предложен технико-экономический механизм эволюционной модернизации систем наружного освещения на базе внедрения автоматизированных систем управления светодиодными источниками света повышенной эксплуатационной надежности и функциональным резервированием. Функциональный резерв светодиодных источников света позволяет решить задачу компенсации процессов старения осветительных приборов (поддержание суммарного светового потока на заданном уровне в течение всего срока службы светильника) в автоматическом режиме, что, в свою очередь, будет способствовать уменьшению затрат на проведение ремонтно-профилактического обслуживания светильников и повышению общего срока безотказной работы системы уличного освещения в целом.

Проведена оценка периода окупаемости проекта модернизации систем уличного освещения на базе светодиодных источников света повышенной эксплуатационной надежности, управляемых по проводам питающей сети [4] для уличного освещения Златоустовского городского округа и освещения участка ФГБОУ ВПО ЮУрГУ, г. Челябинск.

### **Литература**

1. Автоматизированные системы управления энергоэффективным освещением: монография / под ред. Л.С. Казаринова / Казаринов Л.С., Шнайдер Д.А., Барбасова Т.А., Вставская Е.В. и др. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, издатель Т. Лурье, 2011. – 208 с.

2. Казаринов Л.С. Проектирование светодиодных источников света по максимуму функционального резерва при ограничении на весогабаритные характеристики / Казаринов Л.С., Вставская Е.В., Константинов В.И., Барбасова Т.А. // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2011. – Вып. 13, №2 (219). – С. 74–81.

3. Константинов В.И. Выбор оптимального режима работы светодиодных излучателей / В.И. Константинов, Е.В. Вставская, Т.А. Барбасова, В.О. Волков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2010. – Вып. 11, №2 (178). – С. 46–51.

4. Патент 99913 Российская Федерация, МПК Н 04 В 3/56. Устройство для приема-передачи информации по питающей сети и управления режимами работы потребителей электрической энергии / Барбасова Т.А., Вставская Е.В., Константинов В.И., Константинова О.В., Костарев Е.В. – №2010128856/09; заявл. 12.07.2010; опубл. 27.11.2010, Бюл. №33 (IV ч.) – с. 1057-1058.

**Рецензенты:**

Привезенцев А.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры радиофизики и электроники, ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск.

Чернов В.М., д.ф.-м.н., профессор кафедры радиофизики и электроники, ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет», г. Челябинск.

**Работа получена 25.10.2011.**