

ПРЕЗЕНТАЦИЯ НА ТЕМУ: МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПО КРИТЕРИЮ МИНИМУМА ФИНАНСОВЫХ ЗАТРАТ



Автор: магистрант гр. ЗМ43-11
специальности 1-43 80 01 «Энергетика»
Кочемазов Дмитрий Сергеевич
Научный руководитель: к.т.н., доцент
Зализный Дмитрий Иванович

Цель работы: Повысить эффективность использования эксплуатируемых и проектируемых систем электрического освещения, что подразумевает снижение финансовых затрат на эксплуатацию систем электрического освещения, путём оптимизации времени включения осветительных установок.

Актуальность темы: В настоящее время в Республике Беларусь, как и во многих других странах возникает вопрос о низком сроке службы эксплуатируемых источников света. Также, с существующими тенденциями экономического развития и энергоэффективности прогнозируется, что мировой спрос на искусственное освещение к 2030 году станет на 80% выше и будет всё ещё распределён неравномерно. Таким образом, ввиду данных условий, тема диссертации является актуальной.

В диссертации рассматривается вопрос об оптимальном проектировании систем электрического освещения по критерию минимума финансовых затрат. Для правильного составления методики нужно решить **задачи:**

- 1) Исследовать линии электроосветительных установок и их составляющие;
- 2) Составить эмпирические коэффициенты различных источников света, пуско-регулирующей и прочей аппаратуры осветительных установок, отражающие их рабочие параметры, частоту включений и полезное время эксплуатации;
- 3) Рассчитать рациональные зависимости между износом частей и затратами на электроэнергию от общего времени эксплуатации;
- 4) Написать алгоритм расчёта для внедрения в широкий круг пользования.

Методика исследования:

- 1) Выполнение аналитического обзора существующих подходов к проектированию систем электрического освещения;
- 2) Разработка методики оптимального проектирования систем электрического освещения по критерию минимума финансовых затрат;
- 3) Выполнение имитационного моделирования, позволяющего обеспечить эффективность предложенного метода.

• Актуальность проблемы в РБ и за рубежом

Основной целью энергетической политики Республики Беларусь является поиск путей и формирование механизмов оптимального развития и функционирования отраслей ТЭК, а также техническая реализация надежного и эффективного энергообеспечения всех отраслей экономики и населения, обеспечивающих производство конкурентоспособной продукции и достижение стандартов уровня и качества жизни населения высокоразвитых европейских государств при сохранении экологически безопасной среды. Предлагаемая методика позволяет добиться экономического положительного эффекта, при сохранении того же качества освещения.

Суммарная установленная мощность всех источников достаточна для полного самообеспечения республики электроэнергией, однако уже во многих случаях эксплуатация устаревшего оборудования становится невыгодной в сравнении с импортом электроэнергии из соседних государств - России и Литвы, т.к. топливная составляющая себестоимости производства выше стоимости импортируемой электроэнергии. В этих условиях появляется проблема "замороженных" собственных основных фондов, которые необходимо либо консервировать, либо демонтировать, либо модернизировать. В абсолютных ценах топливная составляющая на АЭС колеблется от 0,2 до 1 цента на 1 кВт·ч, на обычных тепловых электростанциях у нас в стране в 2009 году эта величина составила 5,63 цента на 1 кВт·ч. Таким образом, снижение потребляемой электроэнергии и установленной мощности можно добиться, применяя предлагаемую методику оптимального проектирования систем электрического освещения по критерию минимума финансовых затрат.

Как с исторической, так и с экономической точки зрения, человеческая цивилизация вращается вокруг искусственного света. Как первая услуга, предложенная электроснабжающими компаниями, освещение является одной из сфер конечного применения, на которые приходится значительная часть общего потребления электроэнергии. В масштабах всей планеты на долю сетевого электрического освещения приходится 19% от общего производства электроэнергии – это немного более, чем используют для всех целей европейские страны, входящие в ОЭСР. На освещение требуется столько электроэнергии, сколько вырабатывается всеми электростанциями, сжигающими природный газ, и на 15% больше, чем вырабатывается ГЭС или атомными электростанциями. Головая стоимость таких услуг, включая энергию, осветительное оборудование и затраты на труд, составляет 360 миллиардов долларов, что приблизительно равняется 1% мирового ВВП. На долю электроэнергии приходится приблизительно две трети от этой суммы.

Потребление энергии для обеспечения освещения влечет за собой выбросы парниковых газов в довольно впечатляющих масштабах: 1900 млн т CO₂ в год, что равняется 70% выбросов от легковых автомобилей во всем мире. Однако не все эти выбросы являются результатом производства электроэнергии. Освещение на основе топлива, используемое как в транспортных средствах, так и на территориях, не покрытых электрическими сетями, увеличивает цифры такого потребления и вторичное влияние освещения на здоровье людей и окружающую среду. В настоящее время 1,6 миллиарда людей живут без доступа к электрическому освещению, эта цифра больше, чем в те времена, когда Томас Эдисон ввел в продажу лампу накаливания в 1880-х годах. Парафиновое и дизельное освещение, которое они используют, менее эффективно, чем даже самая неэффективная лампа накаливания, является большим источником выбросов CO₂ и очень дорогостоящим. В совокупности такие источники обеспечивают лишь 1% мирового освещения, но на его долю приходится 20% выбросов CO₂, связанных с освещением.

Темпы роста, с которыми человечеству удалось повысить использование искусственного освещения, являются одновременно и поразительными, и удручающими. В течение 200 лет потребление искусственного освещения обычным человеком (англичанином) увеличилось в 12 000 раз, от 5 килолюмен-часов на начало 19-го века до 60 мегалюмен-часов на сегодняшний день, хотя доля доходов, затрачиваемых на него, не выросла. Глобальный по масштабу, но отнюдь не однородный, спрос на искусственное освещение все еще далек от насыщения. В то время как средний житель Северной Америки потребляет 101 мегалюмен-час ежегодно, средний житель Индии использует лишь 3 мегалюмен-часа. С существующими тенденциями экономического развития и энергоэффективности прогнозируется, что мировой спрос на искусственное освещение к 2030 году станет на 80% выше и будет все еще распределен неравномерно. Если это произойдет и темп совершенствования технологий не повысится, то мировой спрос на электрическое освещение достигнет 4250 млрд кВт·час: это почти вдвое превышает объем производства электроэнергии всеми современными атомными электростанциями. Более того, без дальнейшего внедрения мер политики энергоэффективности ежегодные выбросы CO₂,

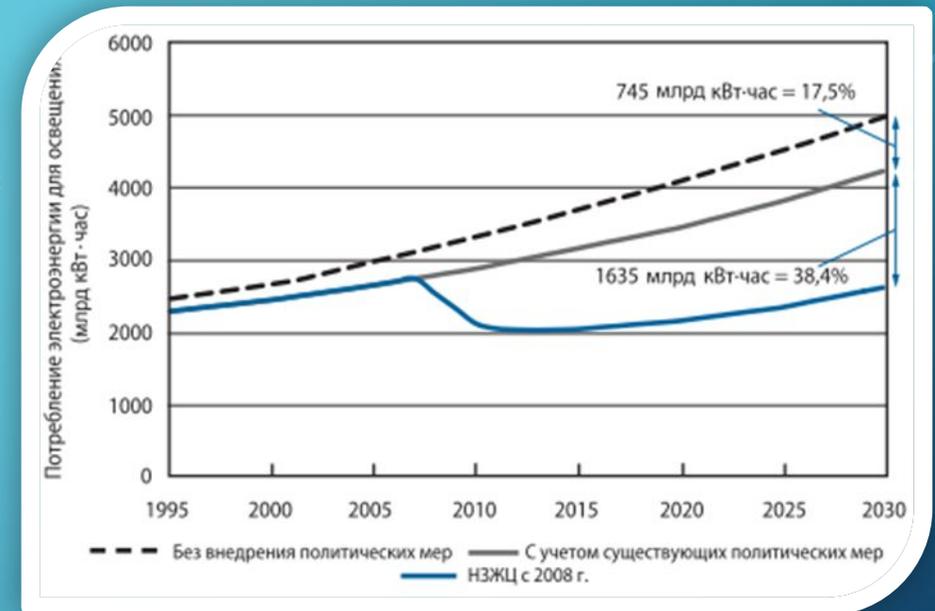


Рисунок 1.1 – Мировое потребление электроэнергии для освещения в 1995–2030 годах по сценариям «без внедрения политических мер», «с учетом существующих политических мер» и НЗЖЦ* с 2008 г

Сокращение: НЗЖЦ – наименьшие затраты жизненного цикла.



• Методы расчета освещения

Качественное освещение всегда имело большое значение для благополучной жизни человека. Свыше 90 % информации человек получает через глаза, путем обработки зрения. По этой причине при проектировании системы освещения важно использовать эффективные методы расчета освещения. Хорошее освещение способно создать удобную обстановку, которая может тонизировать и успокаивать нервную систему, поднимать настроение. Улучшение освещенности способствует улучшению работоспособности даже в тех случаях, когда процесс труда практически не зависит от зрительного восприятия. При проектировании зданий и сооружений необходимо учитывать освещенность помещений, в которых будут постоянно пребывать люди. Особенно важна освещенность в детских учреждениях (детских садах и школах), больницах, кабинетах и т.п. Это связано с напряженной зрительной работой, которую будут производить люди в этих помещениях.

Выполнение светотехнических расчетов возможно методами: 1) методом коэффициента использования светового потока, 2) методом удельной мощности, 3) точечным методом.



В современных методах расчёта электрического освещения, ввиду отсутствия заинтересованности производителей источников света, а, следовательно, и углублённых исследований, направленных на увеличение продолжительности срока службы ламп, практически отсутствует информация о методах проектирования/реконструкции/эксплуатации ОУ на основе критерия экономической эффективности. Т.е. конечный потребитель источников света находится в невыгодном положении, ввиду отсутствия методик расчёта ОУ, ориентированных на лица, эксплуатирующие лампы. Разрабатываемая, в рамках магистерской диссертации, методика оптимального проектирования систем электрического освещения по критерию минимума финансовых затрат призвана решить вышеуказанные проблемы.

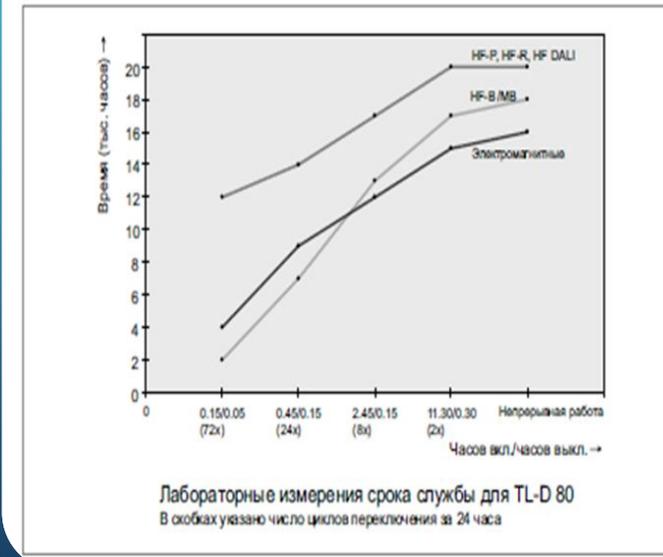
Промышленность изготавливает следующие газоразрядные источники света с лампами:

- люминесцентные ртутные низкого давления;
- дуговые ртутные высокого давления (типа ДРЛ);
- ксеноновые (типа ДКсТ) высокого давления с воздушным охлаждением и сверхвысокого давления с водяным охлаждением;
- натриевые лампы высокого и низкого давления.

Наибольшее распространение получили первые два типа ламп.

Газоразрядные лампы имеют следующие основные особенности. Световой коэффициент полезного действия (КПД) ламп накаливания находится в пределах 1,6-3 %, а их световая отдача не превышает 20 лм/Вт потребляемой мощности для мощных ламп и снижается до 7 лм/Вт для ламп мощностью до 60 Вт. Световой КПД люминесцентных ламп и ламп ДРЛ достигает 7 %, а световая отдача превышает 40 лм/Вт. Однако такие лампы включаются в электрическую сеть только через пускорегулирующую аппаратуру (ПРА).

Люминесцентные лампы может потребоваться включать и выключать более чем несколько раз в сутки, в особенности тогда, когда они используются в сочетании с такими элементами управления, как детекторы движения и фотоэлементы. Влияние цикла переключения на срок службы люминесцентных ламп различных типов в разных схемах различно. В приложениях, где происходит больше одного переключения за три часа, требуется использовать балласты с предварительным нагревом. Если переключение происходит менее часто, то могут использоваться балласты холодного запуска. Заметьте, что даже в случае редкого переключения, балласты теплового запуска дадут более высокий результат.



Основные результаты исследований

В результате проведённых исследований, была получена методика оптимального проектирования систем электрического освещения по критерию минимума финансовых затрат, которую можно разделить на две независимые части:

- 1) Методика частного расчёта оптимального времени включения осветительных установок (до отключения) по критерию минимума финансовых затрат;
- 2) Методика общего расчёта экономической эффективности осветительных установок.

1) Методика частного расчёта оптимального времени включения осветительных установок (до отключения) по критерию минимума финансовых затрат позволяет рационализировать использование денежных средств на нужды электросвещения. Может применяться как в качестве организационных, так и организационно-технических мероприятий (с применением автоматических систем контроля и управления электроосвещением). Рассмотрим более подробно данный расчёт, применяя его к люминесцентным лампам низкого давления.

Фактический срок службы источника света определяется исходя из множества критериев:

$$T_{\text{фак}} = T_{\text{ном}} - \left(T_{U\%}^{\text{обр}} + T_{\text{фсети}}^{\text{обр}} + T_{\text{прочее}}^{\text{обр}} \right) + \left(T_{\text{окр.ср}}^{\text{обр}} + \left(T_{\text{вл.окр.ср}}(\varphi) = \left\{ \begin{matrix} t, ^\circ\text{C}, \\ f_{\text{max}}, (\text{г/м}^3), \end{matrix} \right. \right) + T_{\text{вибр}}^{\text{обр}} + T_{\text{иные факт.окр.ср.}}^{\text{обр}} \right) + \left(T_{\text{эксплуат}}^{\text{тек}} + \left(T_{\text{ср.оптим}} - \left[\frac{\sum_{i=1}^n \lim_{0 \rightarrow T_{\text{ср.опт}}} (T_{\text{вкл}})}{\sum_{i=1}^n \lim_{0 \rightarrow T_{\text{ср.опт}}} (n_{\text{вкл}})} \right] \cdot n_{\text{вкл}} \right) \right) + \left((T_{\text{ном}} - (T_{\text{ном}} \cdot (0,95 \div 1,05))) + (T_{\text{ном}} - (T_{\text{ном}} \cdot 0,98^m \cdot k_{\text{попр типа ламп}})) \right)$$

В рамках данного исследования нас интересует величина оптимального времени включения лампы, на которую мы можем воздействовать непосредственно (не внося технических изменений).

Рассматривая процесс электроосвещения с двух противоположных сторон, вычислим объём финансовых затрат, амортизированных на один пуск и затрат на э.э. за один период включения:

$$Z_{1\text{ПУСК}} = (C_{\text{Л}} \cdot n_{\text{Л}} \cdot l_{\text{Л}}^{-1} \cdot k_{\text{НДС}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{ПОПР1}}) + (C_{\text{Э.Э}} \cdot k_{\text{ПОПР2}} \cdot (W_{\text{ПУСК}} - W_{\text{НОМ.РАБ}})) = D_{\text{Л}} + D_{\text{ПРА}} + Z;$$
$$Z_{\text{Э.Э}} = t_{\text{раб}} \cdot (C_{\text{Э.Э}} \cdot P_{\text{Л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos\varphi_{\text{СВЕТ}}); \quad Z_{1\text{ПУСК}} = Z_{\text{Э.Э}}, \text{ при } t_{\text{раб.опт}} = ?$$

Таким образом, денежные затраты на одно включение лампы должны быть равны плате за электроэнергию за определённое время $t_{\text{раб.опт}}$. Т.к на данный момент существует множество критериев оптимальной работы электроосветительных установок, для нового критерия вводим обозначение $t_{\text{КЧ}}$, ч.

$$t_{\text{КЧ}} = \frac{Z_{1\text{ПУСК}}}{(C_{\text{Э.Э}} \cdot P_{\text{Л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos\varphi_{\text{СВЕТ}})}$$

Для более точного расчёта времени оптимального использования электроосветительных установок на основе критерия экономической эффективности $t_{\text{КЧ}}$ также нужно учитывать вероятность отказа ПРА, источников света, электропроводки (из-за коротких замыканий и прочих ненормальных режимов работы сети). При постоянной величине интенсивности отказов $\lambda(t)$, выражения для показателей надёжности ПРА принимают вид:

Таким образом, все показатели надёжности для периода нормальной работы ПРА определяются по интенсивности отказов λ .

Среднее время безотказной работы ПРА $L_{\text{раб}}$ связано в основном с нагревостойкостью изоляции обмоточного провода. Время старения изоляции обмотки зависит от теплового режима ПРА. Длительный срок службы ПРА обеспечивается нормированием тепловых параметров: превышением температуры нагрева корпуса ПРА и конденсаторов и температурой нагрева обмотки. Нормирование температуры корпуса ПРА связано в основном с требованием безопасности эксплуатации и не играет решающей роли для работоспособности и срока службы ПРА.

Учёт вероятности отказа ПРА, стоимости электроэнергии, расходуемой на пуск ламп, а также иные несущественные показатели рекомендуется полноценно принимать в расчёт лишь в случаях выполнения программных расчётов и/или при расчёте ОУ на больших предприятиях. В прочих случаях, не превышая погрешность в 5%, рационально учитывать вышеуказанные параметры в качестве поправочных коэффициентов, постоянных для определённых источников света.

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = e^{-\lambda t};$$
$$f(t) = \lambda(t) P(t) = \lambda e^{-\lambda t};$$
$$L_{\text{раб}} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda.$$

К примеру, выполним расчёт для помещения с 4 электросветильниками, имеющими 2 люминесцентные лампы Т5/840-28W-КС (Цена, бел. руб с НДС = 3,04 BYN) в каждом и 3 электросветильниками, имеющими 4 люминесцентные лампы Т8/840-18W-КС (Цена, бел. руб с НДС = 2,08 BYN) в каждом. Предположим, что включение всей ОУ производится с помощью одноклавишного выключателя и в качестве ПРА используются ЭПРА с холодным розжигом ламп (учитываем, как коэффициент увеличения на 1,2). Тогда:

$$Z_{1\text{пуск}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = ((3,04 \cdot (4 \cdot 2) \cdot 2000^{-1}) + (2,08 \cdot (3 \cdot 4) \cdot 1500^{-1})) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 0,0363 \text{ BYN}$$

Пересчитаем тариф оплаты за электроэнергию на текущий курс доллара США. При соотношения курса белорусского рубля к доллару США 2,0461:1, тариф был равен 0,25197 BYN/кВт.ч. тогда текущий тариф:

$$T_{\text{тек}} = T_{\text{б}} \cdot \left(0,19 + 0,81 \cdot \frac{K_{\text{тек}}}{K_{\text{б}}} \right) \cdot k_{\text{ндс}} = 0,25197 \cdot \left(0,19 + 0,81 \cdot \frac{1,9141}{2,0461} \right) \cdot 1,2 = 0,2866 \text{ BYN/кВт} \cdot \text{ч}$$

Тогда оптимальное время включения лампы по критерию экономической эффективности: $t_{\text{КЧ}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,0363}{0,2866 \cdot 0,44 \cdot 0,97} = 0,297 \text{ ч} \approx 18 \text{ минут}$

При включении только электросветильников с лампами Т5:

$$Z_{1\text{пус}}^{\text{T5}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = (3,04 \cdot (4 \cdot 2) \cdot 2000^{-1}) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 0,0153 \text{ BYN}$$

$$t_{\text{КЧ}}^{\text{T5}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,0153}{0,2866 \cdot 0,224 \cdot 0,97} = 0,245 \text{ ч} \approx 14 \text{ минут}$$

При включении только электросветильников с лампами Т8:

$$Z_{1\text{пус}}^{\text{T8}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = (2,08 \cdot (3 \cdot 4) \cdot 1500^{-1}) \cdot 1,2 \cdot 1,05 = 0,021 \text{ BYN}$$

$$t_{\text{КЧ}}^{\text{T8}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,021}{0,2866 \cdot 0,216 \cdot 0,97} = 0,35 \text{ ч} \approx 21 \text{ минута}$$

Другой пример: в помещении установлены 9 электросветильников с лампами Т8/840-36W-КС (Цена, бел. руб с НДС = 2,86 BYN) по две штуки в каждом. Управление ОУ осуществляется с помощью двухклавишного выключателя (5 от первой клавиши, 4 – от второй). В качестве ПРА используются ЭПРА (учитываем, как коэффициент увеличения на 1,35). Тогда, при одновременном включении всех электросветильников: $Z_{1\text{пуск}}^{1,2\text{кл}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = ((2,86 \cdot (5 \cdot 2) \cdot 1500^{-1}) + (2,86 \cdot (4 \cdot 2) \cdot 1500^{-1})) \cdot 1,35 \cdot 1,05 = 0,0486 \text{ BYN}$

$$t_{\text{КЧ}}^{1,2\text{кл}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}^{1,2\text{кл}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,0486}{0,2866 \cdot 0,648 \cdot 0,99} = 0,184 \text{ ч} \approx 11 \text{ минут}$$

При включении только первой клавиши выключателя: $Z_{1\text{пуск}}^{1\text{кл}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = (2,86 \cdot (5 \cdot 2) \cdot 1500^{-1}) \cdot 1,35 \cdot 1,05 = 0,027 \text{ BYN}$

$$t_{\text{КЧ}}^{1\text{кл}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}^{1\text{кл}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,027}{0,2866 \cdot 0,360 \cdot 0,99} = 0,264 \text{ ч} \approx 16 \text{ минут}$$

При включении только второй клавиши выключателя: $Z_{1\text{пуск}}^{2\text{кл}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot l_{\text{л}}^{-1} \cdot k_{\text{ндс}}) + (C_{\text{ПРА}} \cdot l_{\text{ПРА}}^{-1} \cdot k_{\text{попр1}}) + (C_{\text{э.э}} \cdot k_{\text{попр2}} \cdot (W_{\text{пуск}} - W_{\text{ном.раб}})) = (2,86 \cdot (4 \cdot 2) \cdot 1500^{-1}) \cdot 1,35 \cdot 1,05 = 0,0216 \text{ BYN}$

$$t_{\text{КЧ}}^{2\text{кл}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}^{2\text{кл}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = \frac{0,0216}{0,2866 \cdot 0,288 \cdot 0,99} = 0,264 \text{ ч} \approx 16 \text{ минут}$$

Третий пример: в помещении установлены 6 электросветильников с лампами накаливания 60Вт (Цена, бел. руб без НДС = 0,5 BYN). Управление ОУ осуществляется с помощью двухклавишного выключателя (1 от первой клавиши от стабилизатора, 5 – от второй, от сети). ПРА не используется: $Z_{1\text{пуск}}^{1\text{кл}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot \frac{l_{\text{л}}^{-1}}{k_{\text{попр.сети}}} \cdot k_{\text{ндс}}) + (3P_{\text{ном}} \cdot C_{\text{э.э}} \cdot t_{\text{пуск}} \cdot n_{\text{л}} \cdot k_{\text{попр.сети}}^{-5}) = (0,5 \cdot 1 \cdot \frac{2000^{-1}}{1} \cdot 1,2) + (3 \cdot 0,06 \cdot 0,285708 \cdot \frac{1}{720} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1^{-5}) = 0,000371427 \text{ BYN}$

$$t_{\text{КЧ}}^{1\text{кл}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}^{1\text{кл}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = 0,02 \text{ ч} \approx 1,5 \text{ минуты}$$

$$Z_{1\text{пуск}}^{2\text{кл}} = (C_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot \frac{l_{\text{л}}^{-1}}{k_{\text{попр.сети}}} \cdot k_{\text{ндс}}) + (3P_{\text{ном}} \cdot C_{\text{э.э}} \cdot t_{\text{пуск}} \cdot n_{\text{л}} \cdot k_{\text{попр.сети}}^{-5}) = (0,5 \cdot 5 \cdot \frac{2000^{-1}}{0,95} \cdot 1,2) + (3 \cdot 0,06 \cdot 0,285708 \cdot \frac{1}{720} \cdot 5 \cdot 0,95^{-5}) = 0,003194391 \text{ BYN}$$

$$t_{\text{КЧ}}^{2\text{кл}} = \frac{Z_{1\text{пуск}}^{2\text{кл}}}{(C_{\text{э.э}} \cdot P_{\text{л}} \cdot k_{\text{ПРА}} \cdot \cos \varphi_{\text{свет}})} = 0,037 \text{ ч} \approx 2,5 \text{ минуты}$$

2) Использование данной методики влияет на проектирование систем освещения, включая стадию реконструкции. Далее представлены основные

формулы расчёта экономической эффективности.

Снижение годовых потерь э/э, при замене источников света, либо электросветильников в целом, на менее энергозатратные варианты:



Снижение установленной мощности потребителя $dP_{уст}$:

Экономическая эффективность энергосбережения $\Delta_{энерг}$, ВУН:

Годовая экономия за счёт снижения расходов на заменяемые части в год:

Срок окупаемости осветительной установки:

Коэффициент экономической эффективности:

$$dW_{г} = (P_{свет}^{ст} \cdot T_{раб}) - (P_{свет}^{нов} \cdot T_{раб})$$

$$dP_{уст} = \left(\sum_1^i n_i^{ст} \cdot P_i^{ст} \right) - \left(\sum_1^j n_j^{нов} \cdot P_j^{нов} \right)$$

$$\Delta_{энерг} = (P_{осн} \cdot dP_{уст}) + (P_{дон} \cdot dW_{г})$$

$$\Delta_{зам} = (V_{л} \cdot n_{л} \cdot C_{л}) + (V_{ПРА} \cdot n_{ПРА} \cdot C_{ПРА}) - C$$

$$T_{окуп} = \frac{C}{\Delta_{зам} + \Delta_{энерг}}$$

$$E = \frac{1}{T_{окуп}}$$

Таблица 1 – Реконструкция системы освещения ЗАО«Легпромразвитие» на основе общего расчёта методики оптимального проектирования систем электрического освещения по критерию минимума

Наименование помещения	Текущие электросветильники			Новые электросветильники			Траб, ч/год	Снижение годовых потерь э/э $dW_{г}$, кВт-ч/год	Снижение установленной мощности $dP_{уст}$, кВт	Экономическая эффективность энергосбережения $\Delta_{энерг}$, бел.руб	Стоимость электросветильника с комплектующими Собр, бел.руб	Суммарная стоимость светильников $\Sigma_{сум}$, бел.руб	Годовая экономия за счёт снижения расходов на заменяемые части $\Delta_{зам}$, бел.руб/год	Срок окупаемости Ток, лет	Коэффициент экономической эффективности E , о.е.
	Тип электросветильников	Кол-во свет-ков псв, шт	Расчётная активная мощность P , кВт	Тип электросветильников	Кол-во свет-ков псв, шт	Расчётная активная мощность P , кВт									
Цех производства пластмассовых изделий	РСП 07 с лампами ДРИ-250	16	4,400	WJY300H850W58Z	17	5,610	5110	-6183,10	-1,210	-7 818 172,15 Р	2 493 400,00 Р	42 387 800,00 Р	15 152 271,3 Р	5,78	0,17
	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	54	4,199	Doctor 228 G86 PRZ	54	3,326	4015	3503,65	0,873	4 456 193,14 Р	520 000,00 Р	28 080 000,00 Р	2 818 130,78 Р	3,86	0,26
	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	5	0,389	Doctor 228 G86 PRZ	5	0,308	3600	290,88	0,081	371 124,69 Р	520 000,00 Р	2 600 000,00 Р	260 938,03 Р	4,11	0,24
Участок подготовки материала	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т12 2х40Вт	6	0,630	СЭС-01-60 Гелиос	2	0,154	3600	1715,04	0,476	2 188 165,85 Р	6 320 000,00 Р	12 640 000,00 Р	179 627,33 Р	5,34	0,19
	ЛПП 1х18	2	0,031	ASM/S 114	2	0,025	3600	23,27	0,006	29 689,97 Р	468 260,00 Р	936 520,00 Р	110 380,00 Р	6,69	0,15
Дробильный участок	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	7	0,544	Doctor 228 G86 PRZ	7	0,431	3600	407,23	0,113	519 574,56 Р	520 000,00 Р	3 640 000,00 Р	365 313,25 Р	4,11	0,24
	Светильник ЛПО 12-18(20)-001 1х18	3	0,058	ASM/S 114	3	0,046	3600	43,63	0,012	55 668,70 Р	468 260,00 Р	1 404 780,00 Р	179 763,78 Р	5,97	0,17
Упаковочный участок	ЛПП30 Т8 2х36-038	33	1,540	HT-S-26	36	0,566	3600	3504,12	0,973	4 470 803,13 Р	580 000,00 Р	20 880 000,00 Р	1 722 191,03 Р	3,37	0,30
	ЛСП 1х18 IP65 ЭПРА	46	0,640	СЭС-01-20/4-М	46	0,364	3600	992,52	0,276	1 266 325,20 Р	970 000,00 Р	44 620 000,00 Р	4 136 377,95 Р	8,26	0,12
Склад готовой продукции	ЛПП с Т8 2х36 Айсберг-SVT/SAN	11	0,536	СЭС-01-45 Гелиос	5	0,238	3600	1074,24	0,298	1 370 589,19 Р	1 798 800,00 Р	8 994 000,00 Р	574 063,68 Р	4,62	0,22
	ЛСП 1х18 IP65 ЭПРА	5	0,046	ASM/S 114	5	0,046	3600	43,63	0,012	55 668,70 Р	468 260,00 Р	2 341 300,00 Р	124 974,32 Р	12,96	0,08
Освещение быт.комнат	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	8	0,498	Doctor 228 G86 PRZ	8	0,394	3600	372,33	0,103	475 039,60 Р	520 000,00 Р	4 160 000,00 Р	417 500,86 Р	4,66	0,21
	Раздевалки (2 шт.)	11	0,684	Doctor 228 G86 PRZ	11	0,542	1825	259,53	0,142	340 886,41 Р	520 000,00 Р	5 720 000,00 Р	574 063,68 Р	6,25	0,16
Душевые (2 шт.)	LW240EL IP65 2х36Вт	7	0,435	Barat 228 I67 PC/PMMA	7	0,345	1825	165,16	0,090	216 927,72 Р	648 700,00 Р	4 540 900,00 Р	365 313,25 Р	7,80	0,13
Освещение коридоров 1 этажа АБК	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	5	0,311	Doctor 228 G86 PRZ	5	0,246	3600	232,70	0,065	296 899,75 Р	520 000,00 Р	2 600 000,00 Р	260 938,03 Р	4,66	0,21
Туалеты 1-го этажа АБК	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	2	0,138	Doctor 228 G86 PRZ	2	0,108	3600	110,59	0,031	141 100,87 Р	520 000,00 Р	1 040 000,00 Р	104 375,21 Р	4,24	0,24
Освещение котельной	LW240EL IP65 2х36Вт	4	0,328	Doctor 228 G86 PRZ	4	0,234	3600	339,26	0,094	432 856,32 Р	520 000,00 Р	2 080 000,00 Р	208 750,43 Р	3,24	0,31
Мастерская электриков	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	6	0,443	Doctor 228 G86 PRZ	6	0,351	7665	706,04	0,092	886 333,47 Р	520 000,00 Р	3 120 000,00 Р	313 125,64 Р	2,60	0,38
Освещение 1 этаж АБК	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	21	1,452	Doctor 228 G86 PRZ	21	1,035	3600	1499,90	0,417	1 913 680,56 Р	520 000,00 Р	10 920 000,00 Р	1 095 939,75 Р	3,63	0,28
Освещение кабинетов	ЛСП 1х18 IP65 ЭПРА	4	0,062	ASM/S 114	4	0,049	3600	46,54	0,013	59 379,95 Р	468 260,00 Р	1 873 040,00 Р	242 800,00 Р	6,20	0,16
	Кабинеты АБК	ARS/R с ЭПРА 4х18	51	4,200	ATF/R 414 ES1	51	2,513	3600	6072,19	1,687	7 747 319,68 Р	1 176 760,00 Р	60 014 760,00 Р	4 533 333,33 Р	4,89
Освещение столовой	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	5	0,346	Doctor 228 G86 PRZ	5	0,246	2100	208,32	0,099	271 542,87 Р	520 000,00 Р	2 600 000,00 Р	260 938,03 Р	4,88	0,20
Коридоры, пролёты АБК	ARS/R с ЭПРА 4х18	11	0,830	ATF/R 414 ES1	11	0,542	3600	1036,51	0,288	1 322 453,21 Р	1 176 760,00 Р	12 944 360,00 Р	977 777,78 Р	5,63	0,18
Слесарно-инструментальный участок	РСП 07 с ДРИ-250	6	1,568	WJY120H850W/Z	8	0,752	3600	2934,36	0,815	3 743 858,06 Р	985 500,00 Р	7 884 000,00 Р	2 086 292,91 Р	1,35	0,74
	ЛПП Айсберг-SVT с ЛЛ Т8 2х36Вт	4	0,346	Doctor 228 G86 PRZ	4	0,246	3600	357,12	0,099	455 638,23 Р	520 000,00 Р	2 080 000,00 Р	208 750,43 Р	3,13	0,32
Проходная	ЖКУ 15-250-001 консольный с ДРИ-250	4	1,100	Ангарес-V 440-01-186	4	0,818	1800	506,88	0,282	666 312,71 Р	4 000 000,00 Р	16 000 000,00 Р	1 348 602,54 Р	7,94	0,13
Внешнее электроосвещение	ЖКУ 15-250-001 консольный с ДРИ-250	18	4,950	Ангарес-V 440-01-186	18	3,683	3500	4435,20	1,267	5 663 632,93 Р	4 000 000,00 Р	72 000 000,00 Р	5 675 591,42 Р	6,35	0,16
Итого	-	355	30,716	-	351	26,053	-	24697,76	7,495	31 599 493,31 Р	-	378 101 460,0 Р	44 298 124,7 Р	4,98	0,20

Выводы по результатам исследований

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1) Оптимальное время включения лампы по критерию экономической эффективности $t_{КЧ}$ зависит, преимущественно, от мощности осветительной установки, стоимости отпуска электроэнергии, стоимости источников света и оптимального количества циклов включения/отключения лампы l_L , учитывающего

среднестатистический срок службы данного источника света, т.е.:

$$l_L = \frac{T_{\text{ср.стат}}}{t_{\text{опт.изг}}} \cdot k_{\text{попр}};$$

2) В осветительных установках, использующих однотипные комплектующие и источники света одинаковой (суммарной) мощности, величина $t_{КЧ}$ будет практически одинаковой;

3) При условиях п.2 – равномерно разделённая нагрузка на два выключателя, позволяет утверждать, что величина оптимального времени включения лампы по критерию экономической эффективности $t_{КЧ}$ на каждой линии будет приблизительно равна;

4) Для ЛЛ наиболее эффективна работа с учётом времени $t_{КЧ}$, т.к. данные источники света имеют длительный полезный срок эксплуатации, при ограниченном количестве циклов коммутации;

5) Для ЛН, ДРЛ и ДНАТ эффективность работы согласно с временем $t_{КЧ}$ обусловлена лишь в случае с большой нагрузкой, сосредоточенной на одной устройстве управления;

6) Для СД и ИЛ количество циклов включения/отключения практически не ограничено; следовательно, не принимая в расчёт ПРА и редкие виды, можно сказать, что $t_{КЧ}$ для них практически равен нулю;

7) Совокупность представленных способов расчёта позволяет превентивно выбрать наиболее экономичный вариант проекта электроосветительных установок, ещё на этапе проектирования (реконструкции), с учётом того, что известны все необходимые параметры помещений, лимит капитальных вложений в ОУ и текущие стоимости комплектующих. Данная методика также отлично подходит в качестве организационно-технических мероприятий по экономии в уже эксплуатируемых помещениях;

8) Возможно, как применение только организационных мероприятий (работа ОУ по разработанному графику, время включения освещения в помещений максимально близкое к $t_{КЧ}$), так и организационно-технических (включающих также установку систем автоматического включения/отключения светильников, датчиков движения и т.д.);

9) На основании полученных уравнений и коэффициентов можно проводить имитационное моделирование и создать программу расчёта для ЭВМ.