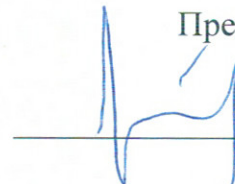


СОГЛАСОВАНО

Председатель ТК 039



Питерский Л.Ю.

15 июня 2022 г.

МЕТОДИКА

для измерений и верификации результатов комплексных энергоэффективных мероприятий в части ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ и МОЩНОСТИ

1. Введение

Методика основана на национальном стандарте – ГОСТ 56743-2015 «Измерение и верификация энергетической эффективности. Общие положения по определению экономии энергетических ресурсов» (далее – ГОСТ 56743). Методика предназначена для верификации результатов от проведения энергоэффективных мероприятий (ЭЭМ) в части электроэнергии и мощности при применении современных технологий, в том числе: цифрового моделирования энергопотребления, управления нагрузками и прочих технологий.

Также принимаются во внимание положения мировых стандартов:

- International performance measurement and verification protocol (IPMVP®)
(Евросоюз и остальные страны, кроме США);
- ASHRAE Guidelines №14 (США);
- FEMP M&V Guidelines (Весь мир).

Методика является рекомендательным документом и предоставляет возможность расчета и верификации экономии как для коммерческих предприятий, так и для бюджетных предприятий и учреждений.

2. Метод верификации

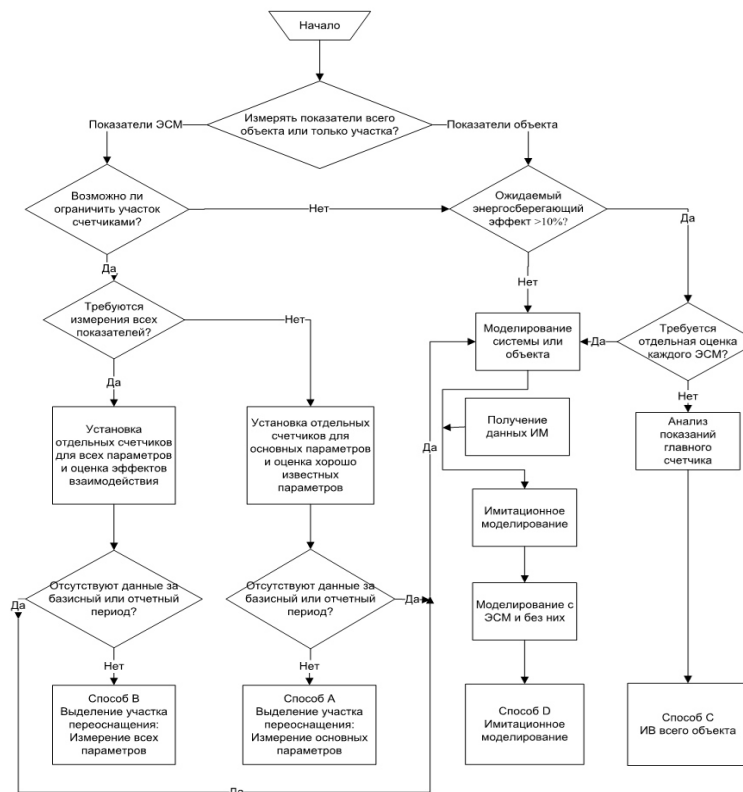


Рисунок 1 – Процесс выбора способа измерения и верификации

Основные методы измерения и верификации экономии предусмотрены в ГОСТ 56743.

Для целей измерения и верификации экономии электроэнергии и мощности, достигаемой при помощи цифрового моделирования нагрузок и управления энергопотреблением по математическим моделям в качестве основного метода измерения и верификации энергосбережения Объекта рекомендуется метод «С» ввиду того, что в этом методе измеряются показатели всего Объекта (Рис.1).

Для верификации эффекта, достигнутого при помощи цифрового моделирования нагрузок и управления энергопотреблением по математическим моделям не требуется оценка каждого энергоэффективного мероприятия в отдельности.

Метод «С» предполагает проведение анализа на основе данных счетчика коммерческого учета (ПКУ), что позволяет считать используемые данные для верификации независимыми и достоверными, и точными (класс точности приборов учета составляет 0,5s).

3. Границы измерений.

В качестве границы измерения принимается граница балансовой принадлежности сетей Объекта, так как математическое моделирование нагрузок затрагивает весь Объект в целом.

4. Метод вычисления не потреблённой энергии.

Для расчета не потреблённой электроэнергии используется разница между скорректированным базисным энергопотреблением и фактическим энергопотреблением, определенным согласно приборам коммерческого учета электроэнергии и мощности, установленным на Объекте.

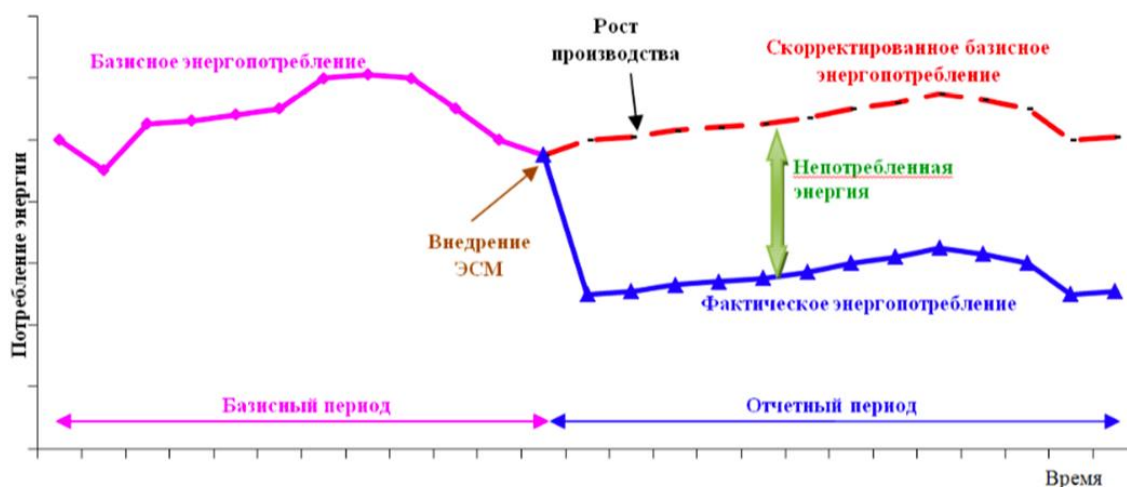


Рисунок 2 – Пример истории потребления электроэнергии

5. Расчет скорректированного базисного энергопотребления («базовой линии»)

5.1. Базисный период.

За базисный период принимается 12-месячный интервал, предшествующий году реализации ЭЭМ (любой предшествующий 12-месячный интервал, за который есть полноценные данные, а также в течение которого не случилось обстоятельств форс-мажор, как например: прекращение работы Объекта в связи с пандемией, иными чрезвычайными ситуациями). Такой выбор базисного периода охватывает годичный цикл работы Объекта и влияние зимних и летний погодных, а также иных факторов, влияющих на энергопотребление.

5.2. Агрегация данных по потреблению

Для проведения регрессии для объекта с интервальными приборами учета используются данные по суточному потреблению или среднесуточная нагрузка, среднесуточная температура (суточный интервал, сформированный на основании часовых (получасовых) измерений приборов учета, выбран для устранения случайных внутрисуточных колебаний нагрузки).

Источником погодных данных принимаются архивы официальных действующих метеорологических станций сети Росгидромета. Выбор станции производится по критерию наименьшего расстояния до конкретного объекта. Перечень действующих станций Росгидромета приведён в <http://esimo.ru/>. Фактом того, что метеорологическая станция принадлежит к сети Росгидромета является наличие у станции пятизначного уникального цифрового идентификатора – синоптического индекса. Источником получения архивов погоды является ресурс www.rp5.ru

5.3. Принципы построения

Ниже описана процедура расчёта, скорректированного на регулярные поправки базисного потребления (или базовой линии) и определенного в соответствии п.п.5.5.14 ГОСТ Р 56743-2015 как:

$$E_6^k = E_6 \pm A_{\text{отч}}^{\text{рег}}, \quad (1)$$

где:

E_6^k – скорректированное базисное потребление или «Базовая линия»;

E_6 – базисное потребление;

$A_{\text{отч}}^{\text{рег}}$ – регулярная корректировка для отчётного периода.

Для расчета корректировки и получения базовой линии применяется математическая модель, основанная на регрессионном анализе.

5.4. Выбор метода множественной регрессии

Уравнение множественной регрессии описывает зависимость результирующего признака y_k от нескольких факторов $x_{ik}, i = \overline{1, m}$.

Уравнение множественной линейной регрессии имеет вид:

$$y_k = \beta_0 + \beta_1 x_{1k} + \beta_2 x_{2k} + \dots + \beta_m x_{mk} + \varepsilon_k, \quad (2)$$

где:

m – число наблюдений,

x_{mk} – независимые переменные,

y_k – зависимая переменная,

ε_k – случайная составляющая,

β_m – коэффициенты регрессии.

За основу принимается n -факторная регрессионная модель, учитывающая погодные, а также иные факторы, если это будет необходимо для анализа.

Допускается использование дополнительных независимых переменных в случае, если для них выполняется условие, определенное ASHRAE Guideline, согласно которому t -статистика при проведении регрессионного анализа не должна превышать значений, определённых в [TABLE 5-1 ASHRAE Guideline 14] для заданных границ доверительного интервала. Условие независимости переменных проверяется вычислением матрицы корреляций с помощью функции «Корреляция» пакета «Анализ данных» MS Excel.

Регрессионный анализ энергопотребления от указанных факторов для большинства объектов с интервальным учетом дает 80-90% для показателя R2, что позволяет считать эти результаты достоверными ($R2 > 70\%$) [Annex B3 ASHRAE Guideline 14].

Создание регрессионных моделей производится согласно методике ASHRAE Guideline 14, приложение D.

Наиболее подходящей для целей моделирования является трёхфакторная модель [Annex D3 ASHRAE Guideline 14], которая позволяет корректно учитывать летний и зимний режимы работы оборудования.

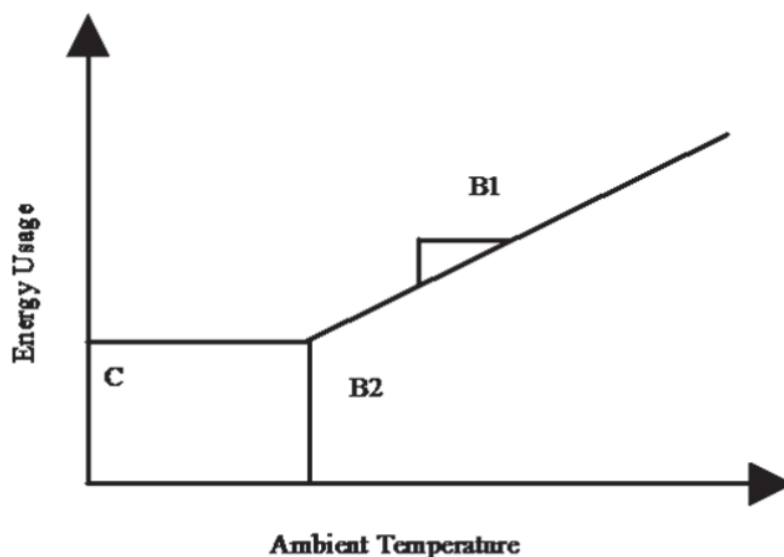


Рисунок 3 – Пример использования трёхфакторной модели (ASHRAE Figure D-1d)

5.5. Алгоритм построения скорректированного базисного потребления

Построение скорректированного базисного потребления («базовой линии») производится следующим образом. Для расчета регуляторных корректировок формируется база данных со следующими показателями для каждого объекта за каждые сутки базисного и отчетного периодов:

- Среднесуточная температура наружного воздуха;
- Продолжительность светового дня;
- Загруженность Объекта;
- Прочие факторы (ПФ1 ... ПФn), имеющие значительное влияние на электропотребление
- Среднесуточная нагрузка объекта на основе данных прибора коммерческого учёта.

Данные из базы, сформированной за базисный период, делятся на три группы:

- «Период минимальной нагрузки» – сутки с $T_{нв} \leq X$ °C;
- «Период пропорциональной нагрузки» – сутки с $T_{нв} > + X$ °C.

Где X – значение температуры, определённое на основании статистического анализа данных электропотребления объекта в соответствии с методикой, изложенной в [Annex D4 ASHRAE Guideline 14].

Перечень прочих факторов для анализа может включать: расписания проводимых мероприятий, расписания работы оборудования, влажность воздуха внутри и снаружи помещения и т.д.

Загрузка объекта учитывается следующим образом:

$$Z = T/24(3)$$

Где:

T – среднесуточное время, в течение которого Объект использовался согласно расписанию (в часах) за отчетный период.

Корректировочный фактор вычисляется:

$$\frac{k \cdot Z_{\phi}}{Z_{\text{баз}}} = \frac{T}{24} \quad (4)$$

Где:

k – коэффициент, учитывающий влияние загрузки Объекта на энергопотребление комплекса, вычисляется на базе регрессионной модели описанной ранее.

Z_{ϕ} – загрузка Объекта в отчётный период;

$Z_{\text{баз}}$ – загрузка Объекта в базовом периоде;

Для каждого из периодов строится множественная линейная регрессия. Вычисление коэффициентов производится по стандартным процедурам при помощи метода наименьших квадратов (МНК). Система линейных уравнений, являющихся решением МНК, имеет вид:

$$\begin{cases} \sum y_k = nb_0 + b_1 \sum x_{1k} + b_2 \sum x_{2k} + \dots + b_m \sum x_{mk} \\ \sum x_{1k} y_k = b_0 \sum x_{1k} + b_1 \sum x_{1k}^2 + b_2 \sum x_{1k} x_{2k} + \dots + b_m \sum x_{1k} x_{mk} \\ \dots \\ \sum x_{mk} y_k = b_0 \sum x_{mk} + b_1 \sum x_{1k} x_{mk} + b_2 \sum x_{2k} x_{mk} + \dots + b_m \sum x_{mk}^2 \end{cases} \quad (5)$$

Решение можно найти, например, методом Крамера. Для двухфакторной регрессии решение методом Крамера имеет вид:

$$\hat{b}_i = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad (6)$$

где:

Δ – определитель корреляционной матрицы,

Δ_i – частные определители.

Например, для двухфакторной регрессии ($m = 2$):

$$\hat{b}_1 = \frac{r_{yx_1} - r_{x_1x_2} r_{yx_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2} \quad \hat{b}_2 = \frac{r_{yx_2} - r_{yx_1} r_{x_1x_2}}{1 - r_{x_1x_2}^2}. \quad (7)$$

При использовании для расчётов ПО MS Excel, открывается пункт меню «Данные» → «Анализ данных». В открывшемся окне выбирается пункт «Множественная регрессия», после чего в окошки для зависимых и независимых переменных вводятся указатели на ячейки, содержащие данные из описанных выше трех диапазонов. Сформированные в результате коэффициенты регрессии подставляются в уравнение для базисной линии по формуле:

$$P_{\text{б.л.}} = b_0 + b_1 \cdot T_{\text{нв отч}} + b_2 * Z + b_3 \cdot \text{ПФ1} + \dots + b_n \cdot \text{ПФ}n \quad (8)$$

Расчет производится для каждой из двух групп с указанными выше температурными режимами (период минимальной нагрузки, период пропорциональной нагрузки). Потребление за сутки суммируется для каждого месяца. При необходимости производятся нерегулярные корректировки. Нерегулярные корректировки используются в случае изменения в своем составе работающего оборудования, в том числе:

- Центральные холодильные машины, оборудование систем вентиляции, кондиционирования и/или отопления;
- изменение мощности светильников более чем на 10%;
- отказ описанного оборудования на срок более 10 дней;
- реконструкция здания с изменением теплотехнических характеристик, приводящих к изменению расчетной тепловой нагрузки здания более, чем на 5%;
- другие подтвержденные материальные изменения в энергопотреблении;

В случае, если на объекте добавляется или вводится в эксплуатацию или начинает эксплуатироваться оборудование, не эксплуатирующееся ранее, а также происходит замена оборудования на оборудование с другими параметрами энергопотребления базовая линия корректируется на величину, равную

$$V = K_{\text{и}} * 8760 * P$$

Где:

P – мощность вводимого оборудования, кВт

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования для данного вида оборудования.

В зависимости от типа вводимого оборудования $K_{\text{и}}$ может быть определено одним из следующих способов:

- Для оборудования с круглосуточным режимом работы (таким, как холодильные машины) $K_{\text{и}}$ принимается равным единице.

- Для оборудования, работающего по расписанию (таким, как – вентиляция, освещение) – Ки определяется на основе графика работы аналогичного оборудования на данной объекте либо на объекте – аналоге (на основе информации о расписании полученных из расписаний запрограммированных в контроллерах или инструкциях для эксплуатационного персонала).
- При отсутствии указанных данных Кс может определяться на основе справочных данных, аналогов, данных учета на аналогичном оборудовании или иным согласованным сторонами способом.

5.6. Расчет скорректированного потребления мощности

Для расчета базисного показателя потребления генерирующей и сетевой мощности для объектов, покупающих электроэнергию и мощность по 3-4 ценовым категориям розничного рынка используется следующий алгоритм. Производится расчет потребления генерирующей мощности и сетевой мощности согласно п. 95 Правил Розничного Рынка электроэнергии, утвержденных Постановлением Правительства №442 от 04.05.2012, за соответствующие месяцы базисного и отчетного периода.

Регулярная корректировка потребления за базисный период производится путем умножения мощности на коэффициент равный отношению скорректированного и нескорректированного потребления электроэнергии за тот же период, что соответствует [6.1.3.6 ASHRAE Guideline 14]:

$$Kn = Wbl/Wr, \quad (9)$$

где:

Wbl – скорректированное базовое потребление электрической энергии объекта, кВт*ч;

Wr – реальное потребление электрической энергии объекта, кВт*ч.

После этого вычисляется разность потребления мощности за отчетный и базисный период с учетом корректировок.

6. Расчет для объектов (зданий), не имеющих архивных данных интервальных приборов учета

Для объектов, у которых архивные данные интервального учета за базовый период недоступны, применяется следующая процедура расчета коэффициентов регрессии. По критерию схожести выбираются объекты схожие с анализируемыми с почасовым учетом энергопотребления и, для них производится расчёт коэффициентов корректировки за выбранный период (месяц) по формуле:

$$k = \frac{\Sigma P_{б.л.}}{\Sigma P}, \quad (12)$$

Расчет скорректированного базисного потребления для анализируемых объектов производится по формуле:

$$P_{б.л.} = k * P_б, \quad (13)$$

где $P_б$ – потребление за отчетный период (месяц).

При ручном снятии показаний приборов учета в базовом периоде, вводится поправка на интервал между снятиями показаний по формуле

$$K_t. = D/D_m, \quad (13)$$

Где T – количество дней между снятием показаний прибора учета для периода, за который производится расчет базовой линии, и датой снятия показаний прибора учет за предыдущий период. D_m – количество дней в месяце для текущего периода.

Критериями схожести являются:

- Схожее функциональное назначение объектов и наличие на объектах аналогичного по назначению и сопоставимого по мощности оборудования.
- Расположение объекта в соответствующем регионе (например, для сравнения объектов, расположенных в Москве, сравнимыми являются объекты, находящиеся также в Москве или Московской области).

7. Расчет финансового эффекта от энергосбережения для отчетного месячного периода

Основными тарифными группами, применяемыми при расчетах за электроэнергию и мощность розничными объектами, являются 1,3,4 ценовые категории. Ниже приведены расчеты финансового эффекта для потребителей, рассчитывающихся по данным ценовым категориям за электроэнергию и мощность.

- 7.1.** Для объектов, покупающих электроэнергию по 1-й ценовой категории розничного рынка электроэнергии, – величина изменения энергопотребления, рассчитанная по описанному выше алгоритму, умножается на тариф отчетного периода.

$$\mathcal{E}^{ЦК} = \Delta W * Ц^{ЦК},$$

где:

$\mathcal{E}^{ЦК}$ – эффект от энергосбережения для объектов покупающих электроэнергию по 1-й ценовой категории розничного рынка электроэнергии, в рублях;

ΔW – величина изменения энергопотребления за отчетный период (мес), в кВт*ч;

$C^{1ЦК}$ – предельный уровень нерегулируемой цены для потребителей 1 ценовой категории гарантирующего поставщика соответствующего уровня напряжения и максимальной мощности энергопринимающих устройств за отчетный период, рассчитанная согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012 и публикуемый гарантирующим поставщиком по итогам отчетного периода, в руб/кВт*ч

7.2. Для расчёта финансового эффекта для объектов, покупающих электроэнергию по 3 ценовой категории розничного рынка электроэнергии, эффект равен сумме:

изменения энергопотребления (кВтч) умноженного на нерегулируемую цену электроэнергии (включая цены на электроэнергию на оптовом рынке, сбытовую надбавку гарантирующего поставщика для соответствующей категории потребителя, утвержденный тариф на передачу электроэнергии в одноставочном выражении для соответствующего уровня напряжения, инфраструктурные платежи) за отчетный период, и

изменения потребления генерирующей мощности (кВт) (используемой для расчета платы за потребленную электрическую мощность) умноженной на соответствующую цену за мощность отчётного периода, публикуемую коммерческим оператором оптового рынка электроэнергии (мощности) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012.

$$\mathcal{E}^{3ЦК} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i * C_i^{3ЦК} + \Delta P^{ген} * C^{ген3Ц}$$

где,

$\mathcal{E}^{3ЦК}$ – эффект от энергосбережения для объектов покупающих электроэнергию по 3-й ценовой категории розничного рынка электроэнергии, в рублях;

ΔW_i - величина изменения энергопотребления за i-ые сутки отчетного периода (мес), в кВт*ч

$C_i^{3ЦК}$ – средняя за i-ые сутки нерегулируемая цена для потребителей 3 ценовой категории гарантирующего поставщика соответствующего уровня напряжения и максимальной мощности энергопринимающих устройств за отчетный период, которая включает в себя среднюю за i-ые сутки цену на электроэнергию на оптовом рынке, рассчитанную на основе публикуемых коммерческим оператором торговой системы оптового рынка электроэнергии за отчетный период (руб/кВт*ч) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012, а также сбытовую надбавку гарантирующего поставщика для соответствующей категории потребителя (руб/кВт*ч), утвержденный тариф на передачу электроэнергии в одноставочном выражении для соответствующего уровня напряжения (руб/кВт*ч), инфраструктурные платежи за соответствующий отчетный период (руб/кВт*ч),

также публикуемые гарантирующим поставщиком и исполнительными органами власти, ответственными за утверждение таких тарифов;

$\Delta P^{ген}$ - изменения потребления генерирующей мощности объекта за отчетный период, в кВт;

$C^{ген}$ - цена за мощность в отчётном периоде, публикуемая коммерческим оператором оптового рынка электроэнергии (мощности) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012, руб/кВт*мес.

7.3. Для потребителей 4 ценовой категории розничного рынка электроэнергии, эффект равен сумме:

изменения энергопотребления (кВт*ч) умноженного на нерегулируемую цену электроэнергии (включая цены на электроэнергию на оптовом рынке, сбытовую надбавку гарантирующего поставщика для соответствующей категории потребителя, утвержденный тариф на компенсацию потерь в электросетях при передаче электроэнергии для соответствующего уровня напряжения, инфраструктурные платежи) за отчетный период, и

изменения потребления генерирующей мощности (используемой для расчета платы за потребленную электрическую мощность) умноженной на соответствующую цену за мощность отчётного периода, публикуемую коммерческим оператором оптового рынка электроэнергии (мощности) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012, а также

изменения потребления собственной пиковой мощности (используемой для расчета платы за содержание электросетей) умноженной на соответствующий утвержденный тариф на содержание сетей для соответствующего уровня напряжения отчётного периода, публикуемую гарантирующим поставщиком и исполнительными органами власти, ответственными за утверждение таких тарифов.

$$\mathcal{E}^{4ЦК} = \sum_{i=1}^n \Delta W_i * C_i^{4ЦК} + \Delta P^{ген} * C^{ген} + \Delta P^{сет} * C^{сет}$$

где,

$\mathcal{E}^{3ЦК}$ - эффект от энергосбережения для объектов покупающих электроэнергию по 4-й ценовой категории розничного рынка электроэнергии, в рублях;

ΔW_i - величина изменения энергопотребления за i-ые сутки отчетного периода (мес), в кВтч

$C_i^{4ЦК}$ - средняя за i-ые сутки нерегулируемая цена для потребителей 4 ценовой категории гарантирующего поставщика соответствующего уровня напряжения и максимальной мощности энергопринимающих устройств за отчетный период, которая включает в себя среднюю за i-ые сутки цену на электроэнергию на оптовом рынке, рассчитанную на основе публикуемых

коммерческим оператором торговой системы оптового рынка электроэнергии за отчетный период (руб./кВт*ч) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012, а также сбытовую надбавку гарантирующего поставщика для соответствующей категории потребителя (руб./кВт*ч), утвержденный тариф на компенсацию потерь при передаче электроэнергии для соответствующего уровня напряжения (руб./кВт*ч), инфраструктурные платежи за соответствующий отчетный период (руб./кВт*ч), также публикуемые гарантирующим поставщиком и исполнительными органами власти, ответственными за утверждение таких тарифов.

$\Delta P^{ген}$ - изменения потребления генерирующей мощности объекта за отчетный период, в кВт;

$C^{ген}$ - цена за мощность в отчётном периоде, публикуемая коммерческим оператором оптового рынка электроэнергии (мощности) и гарантирующим поставщиком согласно Правил Розничного Рынка ПП 442 электроэнергии от 04.05.2012, в руб./кВт*мес.;

$\Delta P^{сет}$ - изменение потребления собственной пиковой мощности объекта (используемой для расчета платы за содержание электросетей) за отчетный период, в кВт;

$C^{сет}$ - утвержденный тариф на содержание сетей для соответствующего уровня напряжения отчётного периода, публикуемый гарантирующим поставщиком и исполнительными органами власти, ответственными за утверждение таких тарифов, руб./кВт*мес.

8. Заключительные положения

Настоящая методика является рекомендательным документом, на основе которого могут быть разработаны условия измерения и верификации экономии для конкретного объекта, с учетом: климатической зоны его расположения, особенностей конструктива, особенностей функционирования оборудования, смонтированного на объекте, а также с учетом особенностей технологии.