

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ КРАСНОЯРСКА

Морохотова Е.А., Минаев В.В.

Научный руководитель - к.т.н., доцент Сизганова Е.Ю.

Сибирский федеральный университет

Эффективность процесса энергосбережения в образовательных учреждениях г. Красноярска по результатам моделирования может быть оценена сопоставлением двух интегральных показателей, один из которых характеризует получаемый положительный эффект, а второй – затраты.

Положительный эффект, получаемый от внедрения методологии оптимального управления электропотреблением, оценивается интегральным показателем вида:

$$IP_w = \frac{\int_0^{\infty} W_1(r)dr - \int_0^{\infty} W_2(r)dr}{\int_0^{\infty} W_1(r)dr}, \quad (1)$$

где $W_1(r)$ – ранговое параметрическое распределение образовательных учреждений по электропотреблению, построенное в результате имитационного моделирования, при условии отсутствия управляющего воздействия, направленного на энергосбережение; $W_2(r)$ – ранговое параметрическое распределение образовательных учреждений по электропотреблению, полученное при наличии управляющего воздействия.

Затраты на внедрение методологии оптимального управления электропотреблением также оцениваются интегральным показателем техноценнологического типа:

$$IP_z = 1 + \frac{\int_0^{\infty} Z_2(r)dr}{\int_0^{\infty} Z_1(r)dr}, \quad (2)$$

где $Z_2(r)$ – ранговое параметрическое распределение образовательных учреждений по затратам на внедрение энергосберегающих технологий, построенное по результатам моделирования; $Z_1(r)$ – ранговое параметрическое распределение образовательных учреждений по затратам на оплату за потребленную электроэнергию применительно к варианту без управляющих воздействий.

Критерием эффективности техноценнологического типа здесь является максимизация интегрального показателя эффективности:

$$IP = \frac{IP_w}{IP_z} \xrightarrow{k \in [1, n]} \max, \quad (3)$$

при выполнении ограничений:

$$W(r_k) - \frac{\{\Phi(p_\delta)\}^{-1}[\sigma_k]}{2} \leq w_k \leq W(r_k) + \frac{\{\Phi(p_\delta)\}^{-1}[\sigma_k]}{2}, \quad (4)$$

где

$$\{\Phi(x)\}^{-1} = \left\{ \frac{1}{2\pi} \int_0^{x/2} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \right\}^{-1} - \text{обратная функция Лапласа, задающая нижнюю и верх-$$

нюю границы доверительного интервала; n – общее количество образовательных учреждений; W_k – эмпирическое значение электропотребления k -го образовательного учреждения, получаемое по результатам имитационного моделирования; $W(r_k)$ – электропотребление, соответствующее рангу k -ого образовательного учреждения на кривой $W(r)$; p_δ – априорно принимаемая 95%-ная доверительная вероятность; $[\sigma_k]$ – эмпирический стандарт распределения $W(r)$ в кластере k -ого образовательного учреждения.

Для реализации гауссового разброса параметров в пределах кластера доверительная вероятность p_δ принимается равной 0,95. Эмпирический стандарт $[\sigma_k]$ рассчитывается по результатам процедур интервального оценивания и кластеранализа [7,8].

Формально интегральный показатель IP_w исчисляется в диапазоне $[0,1]$, левая граница которого соответствует полному отсутствию управляющих энергосберегающих процедур, а правая – «абсолютному энергосбережению», сводящему электропотребление к нулю. В свою очередь, интегральный показатель IP_z исчисляется в диапазоне $[1, \infty)$. Левая граница показателя соответствует состоянию с нулевыми затратами на выполнение мероприятий по энергосбережению, правая – бесконечным затратам. Очевидно, что при этом интегральный показатель эффективности IP находится в пределах $[0,1]$, формально приобретающая свое критериальное значение при строгом выполнении равенства: $IP = 1$. Реально критериальное значение показателя IP должно определяться с учетом минимальных технологических потребностей образовательных учреждений в электроэнергии, соответствующих нижней границе переменного доверительного интервала (левая часть неравенства (4)).

В общем случае неравенство (4) определяет необходимость реализации процесса электропотребления во всех образовательных учреждениях Красноярска в границах гауссового переменного доверительного интервала, определяемого в ходе интервального оценивания. При этом не допускается снижение электропотребления объектов ниже значения, определяющего минимальные технологические потребности, которые задаются нижней границей переменного доверительного интервала. Оба условия (4) должны конъюнктивно выполняться на всей области определения рангового параметрического распределения ($k \in [1, n]$).

Оптимизация процесса электропотребления должна осуществляться одновременно на двух системных уровнях: *первый уровень* предполагает внедрение эффективных решений, направленных на энергосбережение в рамках конкретных технологических процессов (технические мероприятия); *второй уровень* – управление инфраструктурой образовательных учреждений Красноярска организационными методами с целью снижения электропотребления до минимального уровня, обеспечивающего нормальное функционирование образовательных учреждений.

По результатам моделирования и двухуровневой оптимизации процесса электропотребления можно определить такой важный прогнозный параметр, как потенциал энергосбережения образовательных учреждений Красноярска (рис. 2).

Числитель критериального выражения (1), вычисленный по результатам оптимизационного процесса, может рассматриваться как потенциал энергосбережения образовательных учреждений Красноярска:

$$\Delta W_t = \int_0^{\infty} W_1(r)dr - \int_0^{\infty} W_2(r)dr, \quad (5)$$

при выполнении ограничений:

$$\begin{cases} IP = \frac{IP_w}{IP_z} \xrightarrow{k \in [1, n]} \max; \\ W(r_k) - \frac{\{\Phi(p_\delta)\}^{-1}[\sigma_k]}{2} \leq w_k \leq W(r_k) + \frac{\{\Phi(p_\delta)\}^{-1}[\sigma_k]}{2}, \end{cases} \quad (6)$$

где ΔW_t – потенциал энергосбережения тяговой подстанции (кВт·ч) на глубину времени t .

Под потенциалом энергосбережения понимается полученная в результате моделирования на расчетную глубину времени абсолютная разница (в кВт·ч) между электропотреблением образовательных учреждений без реализации энергосберегающих мероприятий и процедур, с одной стороны, и электропотреблением, полученным в результате внедрения методологии оптимального управления электропотреблением на системном уровне с реализацией комплекса технических и технологических мероприятий, с другой стороны.

Реализация разработанной динамической модели электропотребления осуществляется с помощью информационно-аналитического комплекса.

Оценка эффективности методологии оптимального управления электропотреблением, а также потенциала энергосбережения образовательных учреждений Красноярска осложняется необходимостью осуществления практической внедренческой работы, растягивающейся на несколько лет. А ответ, как правило, необходимо иметь еще до принятия решения о внедрении методологии. Для решения этой задачи используется программа, позволяющая моделировать процесс реализации методики на глубину 5-7 лет и более. В основу здесь положен алгоритм имитационного моделирования с динамическими обратными связями [2]. Собственно оценка эффективности и потенциала энергосбережения образовательных учреждений выполняется по критериальным выражениям, основанным на законе оптимального построения техноценозов [2].

При реализации программы применительно к дошкольным образовательным учреждениям Свердловского района г. Красноярска для упрощения расчетов сделано допущение, что каждое образовательное учреждение в будущем будет потреблять электроэнергию по прогнозируемой стохастической норме с учетом гауссового разброса параметров внутри доверительного интервала соответствующего кластера техноценоза [8].

Первоначально с использованием модифицированных программ прогнозирования, интервального оценивания и нормирования осуществляется кластерный анализ и интерполяция норм электропотребления объектов техноценоза на моделируемый единичный временной интервал (месяц) [2,5,6,7,8].

Ввиду недостаточной исследованности ряда динамических параметров, описывающих процесс электропотребления ДОО Свердловского района г.Красноярска, в данной программе приняты два допущения [1-4]:

1. При отсутствии в системе управления электропотреблением ДОО стимулирующих воздействий, направленных на энергосбережение, в качестве математического ожидания и стандарта принимаются соответствующие параметры нормы, вычисленной для кластера. В противном случае математическое ожидание уменьшается в k_1 раз, а стандарт – в k_2 раза.

2. Все результаты электропотребления, превышающие норму, заменяются ее максимальным значением для данного ДОО. В случае же если электропотребление объекта при моделировании окажется меньше нижней границы нормы, то в качестве электропотребления ТП принимается минимальное значение нормы.

Полученные моделируемые результаты электропотребления ДОО Свердловского района в будущем месяце при отсутствии мероприятий по энергосбережению,

$$D^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	33	154	160	60	258	265	172	182	51	280	48	45	102	90	23	94	26	202

моделируемые результаты электропотребления ДОО Свердловского района в будущем месяце в условиях проведения мероприятий по энергосбережению

$$D1^T =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	29	147	148	59	258	246	153	158	21	239	40	36	73	66	30	78	23	165

Созданная в MathCad программа позволяет моделировать процесс электропотребления образовательных учреждений на один временной интервал (в данном случае месяц) вперед.

Как показало моделирование (рис.3) потенциал энергосбережения дошкольных образовательных учреждений Свердловского района г. Красноярска в 2010 году составил $\Delta W=276$ тыс. кВт·ч, что соответствует 618,240 тыс. руб.

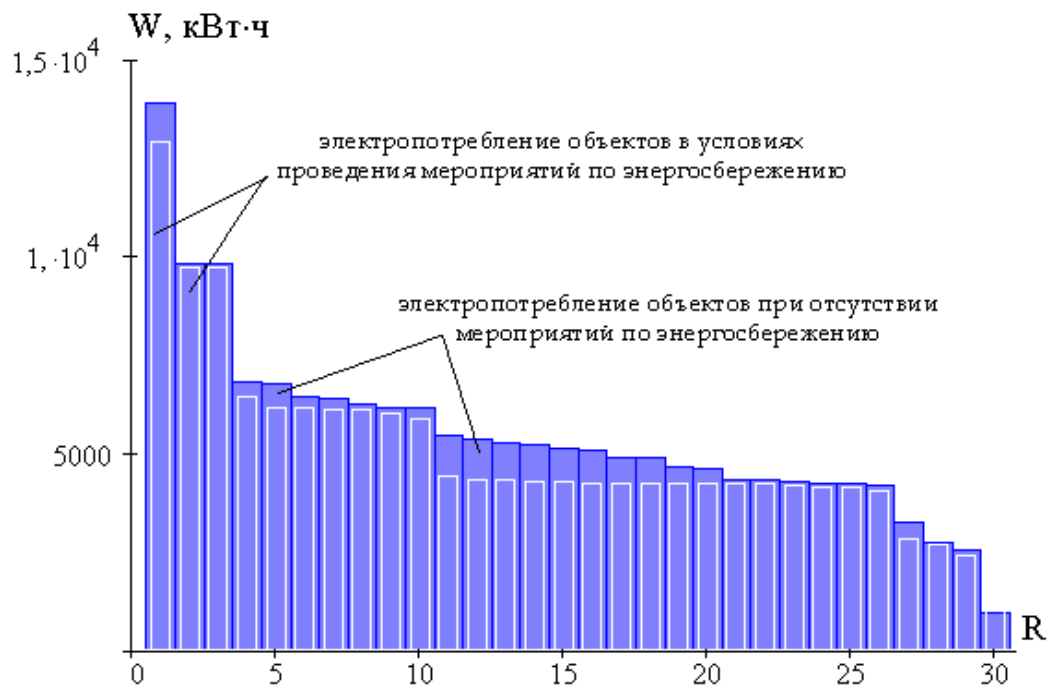


Рис 3. Сравнение электропотребления образовательных учреждений (на примере ДОУ Свердловского района г. Красноярск) к исходу цикла моделирования для двух вариантов

Внедрение методологии оптимального управления электропотреблением с учетом критерия (3) позволит сэкономить в ближайшие пять лет до 1.38×10^3 тыс. кВт·ч (3091,2 тыс. руб.) за счет организационных и технических мероприятий с быстрым сроком окупаемости. Немаловажным резервом является также оптимизация собственно процесса углубленных энергетических обследований (энергоаудита), проводимых на аномальных объектах техноценоза после соответствующих процедур интервального оценивания.