Двунаправленный подход к оценке факторов энергосбережения объектов электросетевого хозяйства

Прыкин Б.В.
Кулиева Ю.Т.

УДК 621.311

Статья посвящена проблеме внедрения энергосберегающих технологий при строительстве и эксплуатации объектов электроэнергетики с учетом влияния различных факторов энергосбережения. Актуальность тематики энергосбережения предопределила необходимость продолжения исследований в данной области, а также заставляет взглянуть на поставленные перед сектором строительства задачи с точки зрения энергоэффективности разрабатываемых инженерно-технических решений. В данной статье представлены промежуточные итоги диссертационного исследования по специальности «Технология и организация строительства», одним из этапов которого является проведение моделирования влияния факторов энергосбережения на уровень выработки электрического ресурса объектом электроэнергетики. Авторский подход заключается в обосновании необходимости выполнения двунаправленной технико-экономической оценки факторных признаков применительно к объектам электросетевого хозяйства. В связи с тем, что объекты электросетевого хозяйства в совокупности составляют Единую энергосистему страны (ЕНЭС), автором высказывается предположение о том, что снижение технических потерь в сетях при передаче и трансформации электроэнергии может способствовать, в свою очередь, снижению суммарных потерь в ЕНЭС благодаря действию кумулятивного эффекта. Объект электросетевого хозяйства рассматривается в двух проекциях своего функционального назначения: электроснабжение потребителей и электроснабжение на собственные нужды трансформаторной подстанции. Соответственно, исходя из функционального назначения объекта, было выделено два основных направления анализа потенциала энергосбережения и сокращения потерь. Таким образом, для проработки вопросов, связанных с оценкой экономического и ресурсного эффекта от внедрения энергосберегающих технологий, в статье, в частности, рассматривается и анализируется структура потерь электроэнергии в процессе эксплуатации трансформаторных подстанций. Также уделено внимание поиску технического условия, при котором целесообразно отключение части работающих трансформаторов с учетом потерь мощности подстанции в случае работы на холостом ходу. В статье представлены статистические данные о возможных объемах прямой экономии энергопотребления. Полученные на данном этапе исследования результаты проиллюстрированы графиками и диаграммами, которые наглядно отображают выявленные зависимости. В дальнейшем предполагается, что вследствие проработки обозначенных выше вопросов, станет возможным выполнить заключительный этап расчетов по прогнозированию выработки электроэнергии и подготовить алгоритм метода по оценке влияния факторов энергосбережения для объектов электросетевого хозяйства в процессе их строительства и эксплуатации. Это, в свою очередь, позволит использовать данную разработку как один из эффективных способов анализа имеющихся у электросетевых компаний данных, а также предоставляет собой широкие возможности для применения в качестве инструмента при RAB-регулировании.

Ключевые слова: *электроэнергетика, энергосбережение, энергоэффективность, строительство, эксплуатация, объекты энергетического назначения, энергопотребление, центры питания, энергоменеджмент, ЕНЭС.*



Прыкин Борис Владимирович,
д-р техн. наук, профессор кафедры организации строительства и управления недвижимостью, Институт градорегулирования и управления недвижимостью, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», 129337, Россия, Москва, Ярославское шоссе 26, +7-183-95-29, osun_kaf@mgsu.ru;



Кулиева Юлия Теймуровна,
аспирант кафедры организации строительства и управления недвижимостью, Институт градорегулирования и управления недвижимостью, ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», 129337, Россия, Москва, Ярославское шоссе 26, +7-183-95-29, juliakulieva@gmail.com.

Одним из приоритетов в обеспечении рационального природопользования является освоение потенциала сокращения энергопотребления в энергетическом секторе, за счет чего предполагается достичь максимального снижения потерь в единой национальной электрической сети (ЕНЭС) [1]. В настоящее время усиливается тенденция прогнозирования энергозатрат на этапах строительства и эксплуатации зданий и сооружений [8]. Особенную актуальность эта задача приобретает в секторе электроэнергетики, в частности, для объектов электросетевого хозяйства. В связи с этим, логично обратить внимание на объекты, осуществляющие распределение и передачу энергоресурсов до конечного потребителя.

Анализ потенциала для сокращения энергопотерь показывает, что Россия может снизить потребление топлива на электростанциях почти на 31%. Данная оценка не учитывает экономию энергии, которая может быть достигнута в результате более широкого использования ТЭЦ, децентрализации производства и оптимизации системы распределения электричества [7]. Значительное количество электроэнергии можно сэкономить, снизив потери в магистральных и распределительных сетях, а также сократив расходы на собственные нужды объекта и электроэнергетики в целом.

Спектр проблем рассматриваемого вопроса достаточно обширен. Некоторые задачи удалось решить, но большинство из них сегодня изучены не до конца, а ряд положений носит дискуссионный характер. Вопросы энергосбережения на объектах электроэнергетики необходимо прорабатывать, используя комплексный подход к обозначенной проблематике исследования. В связи с этим возникла идея рассмотреть актуальные вопросы энергосбережения [4] несколько под другим углом зрения, делая акцент непосредственно на энергообъект, функционирующий в ЕНЭС, и рассматривая процесс его проектирования, строительства и эксплуатации через призму энергосбережения [6].

На начальном этапе анализа потенциала энергосбережения на этапах строительства и эксплуатации определяем составные части суммарной эффективности энергообъекта [3]. Для этого разбиваем предложенный показатель на два слагаемых – экономический и энергетический. Данная разбивка суммарной энергоэффективности объекта позволяет наиболее полно проанализировать имеющиеся статистические данные и выполнить оценку по двум группам параметров – энергетических и экономических.

Подобный двунаправленный подход к исследованию обусловлен тем, что ЕНЭС является сложносоставной системой и включает в себя центры питания, питающие сети и кабельные линии, распределительные и соединительные пункты и т.д. Данный факт заставляет принять во внимание некий кумулятивный эффект, который будет достигаться за счет снижения потерь во всей национальной энергосистеме (рис. 1) с помощью снижения потерь в каждом элементе ЕНЭС. Таким образом, повышение энергоэффективности каждого объекта энергетического хозяйства будет способствовать повышению энергоэффективности ЕНЭС в целом [5]. Такая отличительная особенность объектов энергетики требует производить анализ с учетом потерь, которыми неизбежно сопровождается преобразование и передача ресурсов до конечного потребителя.

Как видно из диаграммы 1 нагрузочные потери и потери при работе электрооборудования на холостом ходу составляют около 65% от суммарного уровня потерь в сетях, в связи с чем при рассмотрении структуры потерь [2] основное внимание было уделено анализу режимов работы силовых трансформаторов электроподстанций высокого напряжения (ПС). Для сопоставления данных по загрузке силовых трансформаторов было определено условие целесообразного отключения части трансформаторов с учетом потерь мощности. Потери мощности в трансформаторе ΔРТ складываются из условно-переменных потерь, зависящих от нагрузки (нагрузочные потери), и условно-постоянных потерь, независящих от нагрузки (потери холостого хода).

Рис.1. ***Структура потерь электроэнергии в ЕНЭС, 2010 год***



ШР – Шунтирующий реактор; КУ – компенсирующие устройства; СН – собственные нужды; за другие потери приняты: потери электроэнергии от токов утечки по изоляторам ВЛ, на плавку гололеда, в трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, соединительных проводах, ограничителях перенапряжений, сборных шинах распределительных устройств ПС, устройствах присоединения ВЧ-связи, а также в счетчиках.

При нагрузках трансформатора близких к номинальной нагрузочные потери намного больше потерь холостого хода, а при малых нагрузках соотношение меняется. Потери [2] электроэнергии холостого хода в силовых трансформаторах определяем на основании паспортных данных о потерях мощности холостого хода (формула 1):

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^{m} T_{pi} \left(\frac{U_{BHi}}{U_{BH_{НОМ}}} \right)^2 , (1)$$

где:

ΔP_x – паспортные потери мощности холостого хода трансформатора;

T_{pi} – число часов работы трансформатора в i-ом режиме;

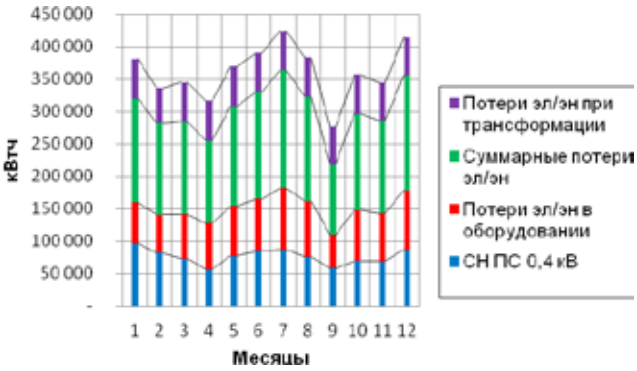
U_{BHi} – напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора в i-ом режиме;

$U_{BHном}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора;

m – количество режимов работы трансформатора в базовом периоде.

На рисунке 2 в качестве примера продемонстрирована структура распределения условно-переменных потерь во взаимосвязи с электропотреблением на собственные нужды недозагруженной подстанции. Таким образом, при анализе структуры электропотребления можно определить условие, при котором наиболее экономичный режим работы подстанции достигается за счет увеличения нагрузки на трансформаторы и снижения, тем самым, потерь на холостой ход.

Рис. 2. ***Соотношение потерь и расхода эл/эн на СН ПС***



Выявленную зависимость представляем в виде функции (2) для разного числа работающих трансформаторов n в диапазоне нагрузки (0 – 200 МВА):

$$\Delta P_T = f(S) , (2)$$

где:

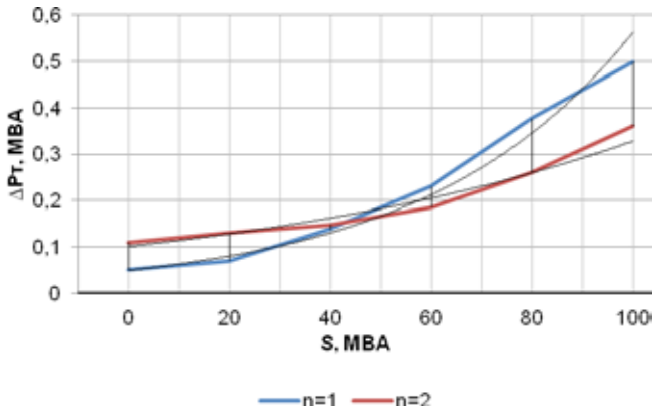
S – суммарная нагрузка трансформаторов подстанции;

n – число трансформаторов, установленных на подстанции;

ΔP_T – потери мощности в трансформаторе.

Графически данная зависимость представлена на рисунке 3 для двух работающих трансформаторов в диапазоне нагрузки от 0 – 100 МВА.

Рис. 3. ***График зависимости ΔPT = f (S)***



Суммарные потери мощности находим по формуле (3).

$$\Delta P_T = n \cdot \Delta P_X + \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta P_K \cdot S^2}{S_{HOM}^2}$$

где:

S – суммарная нагрузка трансформаторов ПС;

$S_{НОМ}$ – номинальная мощность одного трансформатора;

ΔP_K и ΔP_X – соответственно, потери холостого хода и короткого замыкания.

Другой отличительной особенностью, влияющей на уровень потребления ресурсов и эффективность энергообъектов, является двойное функциональное назначение объектов электроэнергетики. Энергообъект по своей сути предназначен не только для снабжения потребителей энергоресурсами, но и для обеспечения собственных нужд подстанций с помощью основных (силовых) трансформаторов, а также резервных трансформаторов собственных нужд (РТСН). Нагрузкой собственных нужд являются: рабочее / аварийное / наружное освещение, система автоматического пожаротушения, вентиляция, кондиционирование, отопление, система принудительного охлаждения трансформаторов, зарядно-подзарядные устройства, АСУ, АИИС КУЭ, ВЧ-связь, а также хозяйственные нужды ПС. Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций может быть определен по показаниям приборов учета, установленных на трансформаторах собственных нужд (ТСН), к которым добавлены нагрузочные потери (формула 4) и потери холостого хода в ТСН (формула 5).

$$\Delta W_н^{TCH} = \Delta P_{кз}^{TCH} \cdot T_p \left(\frac{W^{TCH}}{T_p \cdot S_{ном}^{TCH} \cdot \cos\varphi} \right)^2, \quad (4)$$

где:

$\Delta P_{кз}^{TCH}$ - паспортное значение потерь короткого замыкания ТСН;

T_p – продолжительность работы ТСН в базовом периоде;

W^{TCH} – расход активной электроэнергии, прошедшей через ТСН за определенный период, учтенный счетчиком на установленном напряжении;

$S_{ном}^{TCH}$ - номинальная мощность ТСН;

Cos φ – среднегодовое значение коэффициента мощности нагрузки собственных нужд.

$$\Delta W_x = \Delta P_x \cdot T_p \left(\frac{U_{ср}}{U_{ном}} \right)^2, \quad (5)$$

где:

ΔP_x – паспортные потери мощности холостого хода трансформатора;

T_p – число часов работы трансформатора в базовом периоде;

$U_{ср}$ – среднегодовое значение напряжения обмотки высшего напряжения трансформатора в базовом периоде;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора.

Для проработки выше обозначенных вопросов в рамках реализации системного подхода к исследованию проблем энергоэффективности технических и технологических процессов на объектах электроэнергетики решено было поочередно рассмотреть этапы строительства и эксплуатации с двух точек зрения – экономической и энергетической (технической) во взаимосвязи с факторами энергосбережения, определенным образом влияющими на ключевые параметры этапов жизненного цикла объекта.

В ходе дальнейшего детального изучения поставленных задач основная работа была направлена на исследование общих закономерностей путем моделирования основных показателей этапов строительства и эксплуатации, классификацию энергосберегающих технологий, анализ данных проектной документации, эксплуатационных характеристик, а также на выявление факторов энергосбережения. В качестве таких факторов с помощью метода экспертной оценки был выбран ряд стандартных показателей (уровень электропотребления, капитальные/операционные затраты, продолжительность строительства/эксплуатации, мощность объекта и т.д.), но основной акцент был сделан на поиск и выборку современных инженерно-технических решений и технологий, способствующих сокращению потерь. С целью получения максимально точных данных в процессе детальной проработки обозначенных задач моделирование и анализ производились по имеющимся проектным характеристикам центров питания (32 трансформаторных подстанций и линий электропередач, 110-220 кВ), возведенных в период с 2000 по 2012 год в Московском регионе (Москва и Московская область).

Для определения факторов энергосбережения, оказывающих наибольшее влияние на моделируемые показатели, в основу исследования была положена расчетно-аналитическая модель с применением математико-статистических методов обработки данных. В качестве основополагающего метода был выбран регрессионный анализ, позволяющий оценить значимость вклада независимых показателей (параметры/факторы энергосбережения) и вычислить степень их влияния на моделируемый зависимый показатель. Кроме того, сопряженной задачей, наряду с оценкой вклада каждого фактора, явилось прогнозирование изменения зависимого показателя с течением времени, что крайне важно для продолжительного жизненного цикла объекта недвижимости.

Итоги проведения расчетов и анализа данных по капитальным/операционным затратам на этапах строительства и эксплуатации и анализа электропотребления на собственные нужды/технические потери в контексте энергосбережения позволили определить и продемонстрировать:

- динамику изменения затрат на протяжении всего ЖЦ объекта;
- уровень экономии средств при реализации подходов без применения энергосберегающих технологий (с минимальным влиянием факторов энергосбережения) и с учетом их применения (с максимальным влиянием);
- границу экономической энергоэффективности (Тэф);
- ранжировать факторы энергосбережения по приоритетности внедрения.

Таким образом, в практике посредством подготовленной модели предлагается ответить на ключевой вопрос проводимого исследования: как моделируемые зависимые показатели зависят от факторов энергосбережения. На основе полученных результатов станет возможным выделить наиболее значимые факторы энергосбережения, а значит оценить степень их влияния на зависимую переменную. Разработанная двунаправленная модель оценки влияния факторов энергосбережения при строительстве и эксплуатации центров питания может являться одним из механизмов совершенствования системы контроля и прогнозирования затрат в общей системе энергосбережения страны. Так же данная модель позволяет произвести предварительный расчет экономической отдачи от внедрения энергосберегающих технологий и делать оперативные корректировки в программу эксплуатации объектов передачи и распределения энергоресурсов. Данный подход можно использовать в рамках создания интеллектуальной системы энергоснабжения страны.

Литература

1. Дмитриев А. Н. Управление энергосберегающими инновациями в строительстве зданий [Текст]: учебное пособие / А. Н. Дмитриев. – Москва: АСВ, 2001. – 315 с.

2. Матросов Ю. А. Энергосбережение в зданиях. Проблема и пути её решения [Текст] / Ю. А. Матросов. – Москва: НИИСФ, 2008. – 496 с.

*3. Самарин О. Д. **Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность** [Текст]: монография / О. Д. Самарин. – Москва: АСВ, 2009. – 296 с.*

4. Российская Федерация. Инструкция №326 по организации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям [Текст] : утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 30.12.2008: ввод в действие с 20.04.2009. Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – М.: Изд-во Юридическая литература, 2009. - №16. – С.39.

5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства России от 13.11.2009 1715-Р [Текст] // Собрание законодательства РФ. – 2009. – Ст. 5836.

6. Энергоэффективность в России: скрытый резерв [Электронный ресурс]: отчет группы Всемирного банка и ЦЕНЭФ. Режим доступа: www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf/. – Дата обращения :20.07.2011.

7. Energy efficiency: elusive megawatt [Электронный ресурс] / The Economist. – The Economist Group. – Режим доступа: http://www.economist.com/node/11326549?story_id=11326549/. – Дата обращения: 20.02.2011.

Bideractional method for assessment of Energy-saving factors at electric power facilities

This article focuses on problem of energy-saving technologies implementation during construction and operation process at power facilities in connection with influence of different energy-saving factors. The relevance of the energy-saving theme predetermined the necessity of research continuation in this area, as well as makes a look at tasks assigned for the construction sector from the view of energy efficiency of developed engineering solutions. This article presents interim results of dissertation research in the specialty «Technology and organization of construction,» one of the stages of which is to carry out modeling the influence of factors on the level of power resource generation by the object. Author's approach lies in fulfillment of feasibility assessment of factorial indicators in relation with power facilities. Due to the fact that the transmission facilities together make up the Unified Energy System of the country (UES), the author suggests that the reduction of technical losses in the circuits during transmission and transformation of energy can contribute, in turn, reducing the total losses in the UES due to the action of cumulative effect. Transmission facility is considered in two projections of the functional purpose: transmission of electricity for consumers and electricity for own needs of the transformer station. Accordingly, based on the functionality of the object two main areas of analysis of the potential energy savings and reduce losses was selected. Thus, to study issues related to economic and resource effect assessment of energy-saving technologies implementation this article, in particular, is reviewed and analyzed the structure of energy losses of transformer substations during operation. Finding the technical conditions when it is advisable a switching off the transformers with taking into account the power loss in the case of no-load running is also in focus. The article presents some statistical data on the possible potential volume of the direct energy savings. Results which were obtained at this stage of the study are illustrated on graphs and diagrams that clearly show the identified dependencies. It is further assumed that, due to study issues outlined above, it will be possible to perform the final stage of calculations to forecast electricity generation and to prepare the algorithm of the method to assess the impact factors for the energy transmission facilities during construction and operation. This, in turn, will allow using this research as one of the most effective ways to analyze existing data of power companies, and provides an ample opportunity for use as a tool in RAB-regulation.

Key words: *electrical power engineering, energy saving, energy efficiency, construction, maintenance, power facilities, energy consumption, power stations, energy management, united national energy system.*

References

1. Dmitriev A. N. Management on energy-saving innovation in construction [*Upravlenie energosberegayushchimi innovatsiyami v stroitel'stve zdaniy, uchebnoe posobie*]. Moscow, ASV Publ., 2001, 315 p.

2. Matrosov Yu. A. Energy-saving in buildings. The problem and ways of problem solving [*Energosberezhenie v zdaniyakh. Problema i puti ee resheniya*]. Moscow, NIISF Publ., 2008, 496 p.

3. Samarin O. D. **Thermal physics. Energy saving. Energy efficiency** [*Teplo-fizika. Energosberezhenie. Energoeffektivnost*]. Moscow, ASV Publ., 2009, 296 p.

4. Instruction №326 approved by Energetic Ministry «On calculation and explanation methodic of process losses standards at electric energy transfer and distribution on electric nets» dated from 30th December, 2008 [*Rossiyskaya Federatsiya. Instruktsiya №326 po organizatsii raboty po raschetu i obosnovaniyu normativov tekhnologicheskikh poter' elektroenergii pri ee peredache po elektricheskim setyam* [*Tekst*] *: utv. M-vom energetiki Ros. Federatsii 30.12.2008: vvod v deystvie s 20.04.2009. Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti.*]. Moscow, Yuridicheskaya literatura Publ., 2009, No. 16, pp.39.

5. Russian energetic strategy on the period till 2030 year: Russian Government order dated from 2009, 13th November, No. 1715-R [*Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossii ot 13.11.2009 1715-R* [*Tekst*], *Sobranie zakonodatel'stva Russian Federation*]. 2009, paragraph 5836.

6. Energy efficiency in Russia: hidden potential [*Energoeffektivnost' v Rossii: skrytyy rezerv*]. Available at: www.cenef.ru/file/FINAL_EE_report_rus.pdf/ (accessed 20 July 2011).

7. Energy efficiency: elusive megawatt. Available at: http://www.economist.com/node/11326549?story_id=11326549/ (accessed 20 February 2011).

About the authors:

Prykin Boris Vladimirovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Construction Organization and Real Estate Management, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, Russin Federation,129337, osun_kaf@mgsu.ru;

K**ulieva Yuliya Teymurovna** - Postgraduate student, Department of Construction Organization and Real Estate Management, Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE), 26 Jaroslavskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 129337, juliakulieva@gmail.com.