

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ БЕНЧМАРКИНГА  
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТАРИФОВ НА УСЛУГИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ КОМПАНИЙ**

*Чернов Сергей Сергеевич, к.э.н., доцент, зав. кафедрой Производственного менеджмента и экономики энергетики Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: [chernov@corp.nstu.ru](mailto:chernov@corp.nstu.ru) orcid.org/0000-0001-9366-8939*

*Колкова Наталья Александровна, аспирант кафедры Производственного менеджмента и экономики энергетики Новосибирского государственного технического университета, г. Новосибирск, e-mail: [natasha.kolkova@gmail.com](mailto:natasha.kolkova@gmail.com), orcid 0000-0002-5520-6917*

**Аннотация**

Энергетика является инфраструктурной, жизнеобеспечивающей отраслью. Исключительно важной задачей является вопрос тарифного регулирования на услуги энергетических компаний. Анализ структуры тарифов на электроэнергию для конечного потребителя показал, что 46% стоимости электроэнергии определяется электросетевой составляющей. Стоит отметить, что при существующих подходах к ценообразованию электросетевые компании сталкиваются с проблемой недофинансирования. Имеет место дефицит финансовых средств на развитие и модернизацию основных фондов электросетевых компаний. Таким образом, задачу установления обоснованного уровня расходов территориальных сетевых компаний (ТСО) следует считать приоритетной.

Результаты предварительного анализа мирового опыта формирования тарифов на услуги электросетевых компаний позволяют заключить о наличии принципиальной возможности внедрения бенчмаркинга при регулировании деятельности электросетевых компаний. Суть бенчмаркинга заключается в проведении сравнительного анализа электросетевых организации и ранжировании их на эффективные и неэффективные. Реализация принципов бенчмаркинга при регулировании деятельности электросетевых организаций формирует квазиконкурентную среду, что способствует созданию финансовой основы устойчивого развития электросетевого бизнеса.

В статье приведены методы бенчмаркинга, используемые зарубежными государствами при определении индекса эффективности электросетевых организаций, представлена регрессионная модель эффективного уровня операционных расходов электросетевых компаний Сибири, а также результаты ранжирования компаний по уровню индекса эффективности.

При разработке модели были использованы данные о деятельности 51 электросетевой компании Сибирского федерального округа за 2014-2016 гг. по 11 показателям. В качестве исследуемых факторов выступали данные об отпущенной электроэнергии, протяженности линий электропередач и т.д., макроэкономические показатели основного региона присутствия (уровень заработной платы, стоимость потребительской корзины), климатические показатели (толщина стенок гололеда, средняя температура января и т.д.).

**Ключевые слова:** энергетика, электросетевая организация, тариф, государственное регулирование, бенчмаркинг, X-эффективность, необходимая валовая выручка, подконтрольные расходы, индекс эффективности.

## EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF APPLYING BENCHMARKING METHODS IN THE FORMATION OF TARIFFS FOR THE SERVICES OF TERRITORIAL ELECTRIC GRID COMPANIES

*Chernov Sergey Sergeevich, Ph.D., Associate Professor, head of the department of Industrial management and economics of power engineering of Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, e-mail: [chernov@corp.nstu.ru](mailto:chernov@corp.nstu.ru), [orcid.org/0000-0001-9366-8939](https://orcid.org/0000-0001-9366-8939)*

*Kolkova Natalia Aleksandrovna, Postgraduate at the department of Industrial management and economics of power engineering of Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk e-mail: [natasha.kolkova@gmail.com](mailto:natasha.kolkova@gmail.com), [orcid 0000-0002-5520-6917](https://orcid.org/0000-0002-5520-6917)*

**Abstract**

Energy is an infrastructural, life-supporting industry. The issue of tariff formation for the services of transmission companies is an exceptionally important task. Analysis of the structure of electricity tariffs for the end user showed that 46% of the cost of electricity is determined by the grid component. It should be noted that with the existing approaches to pricing, transmission

companies are faced with the problem of underfunding. There is a shortage of financial resources for the development and modernization of fixed assets of transmission companies. Thus, the task of establishing a reasonable level of expenses of territorial grid companies should be considered a priority.

The results of the preliminary analysis of the world experience in the formation of tariffs for transmission companies make it possible to conclude that there is a fundamental possibility of implementing benchmarking in regulating the activity of electric grid companies. The essence of benchmarking is to conduct a comparative analysis of the power grid organizations and rank them into effective and inefficient ones. The implementation of the principles of benchmarking when regulating the activities of for transmission companies forms a quasi-competitive environment, which contributes to the creation of a financial basis for the sustainable development of the electric business.

The article presents benchmarking methods used by foreign states in determining the efficiency index of electric grid organizations, presents a regression model for the effective level of operating costs of Siberia's electric grid companies, as well as the results of ranking companies according to the level of the efficiency index.

During the development of the model, data on the activity of 51 electric grid companies of the Siberian Federal District for 2014-2016 were used. 11 indicators. In the process of approbation of the model in practice (51 companies), it was possible to conclude that the selected factors of the multiple regression model ("consumer basket value", "actual vacation volume" and "energy loss level") to estimate the independent variable "controlled costs" effective level of operating costs.

**Keywords:** power engineering, electricity distribution company, tariff, state regulation, benchmarking, X-efficiency, gross revenue requirement, controlled expenses, efficiency index

### **Введение**

Формирование тарифов в электроэнергетике является одной из ключевых задач. Ценообразование на электроэнергию в России сочетает в себе рыночные черты (прежде всего на оптовом рынке) и достаточно жесткий механизм государственного регулирования.

Вопрос установления сбалансированных тарифов территориальных сетевых организаций (ТСО) в части определения оптимального уровня подконтрольных расходов актуален ввиду, как минимум, двух причин – высокой электросетевой составляющей тарифов и постоянного ухудшения показателей качества функционирования электросетевой инфраструктуры.

Для решения указанных задач Федеральной антимонопольной службой (ФАС), а до 2015 года Федеральной службой по тарифам (ФСТ), изыскиваются способы обеспечения устойчивого развития электросетевого комплекса. Так, например, стратегией развития электросетевого комплекса Российской Федерации установлена задача по снижению удельных расходов сетевых организаций на содержание и развитие инфраструктуры, ресурсосбережение, в рамках которой предусмотрены мероприятия по проведению сравнительного анализа основных показателей эффективности деятельности ТСО по ЕНЭС с крупнейшими зарубежными электросетевыми компаниями.

Такие методы ценообразования, как метод экономически обоснованных расходов (затрат), метод индексации тарифов, метод сравнения аналогов, метод доходности инвестированного капитала и метод долгосрочной индексации необходимой валовой выручки, не позволяют решить в полной мере стоящие перед отраслью задачи. Одним из перспективных способов является внедрение альтернативных методов тарифообразования. Таким методом является бенчмаркинг. Суть применения бенчмаркинга для целей тарифного регулирования ТСО заключатся в проведении сравнительного анализа и ранжировании компаний на эффективные и неэффективные с последующей дифференциацией подконтрольных расходов на значение индекса операционных расходов.

Эффективность применения методов тарифного регулирования на основе бенчмаркинга в значительной степени определяется количеством объектов регулирования (ТСО). Ко второму полугодью 2016 года, в сравнении с аналогичным периодом 2015 года, число ТСО уменьшилось на 39% – с 3146 до 1905, что обусловлено вступлением в силу постановления Правительства Российской Федерации от 28.02.2015 №184 [1], в соответствии с которым утверждены критерии отнесения объектов электросетевого хозяйства к территориальным сетевым организациям. Сокращение числа ТСО дает возможность упростить процедуру регулирования тарифов Федеральной антимонопольной службой, так как снижение числа контролируемых организаций позволяет повысить качество регулирования, что в свою очередь делает возможным применение принципов тарифного регулирования на основе бенчмаркинга.

Согласно предварительным исследованиям, в России представляется возможным внедрить систему формирования тарифов на основе сравнительного анализа. Исследования показали, что бенчмаркинг подконтрольных расходов следует проводить по федеральным округам, так как, во-первых, в России большое количество ТСО, во-вторых, условия эксплуатации дифференцированы (климатические особенности, особенности рельефа местности и т.д.), что влияет на эффективность деятельности предприятий.

Цель исследования заключается в разработке модели эффективного уровня операционных расходов электросетевых компаний Сибири, поскольку предварительный анализ продемонстрировал, что особенно остро проблема недофинансирования стоит перед сибирскими ТСО.

#### **Основной текст статьи**

До 2016 года темп роста тарифов на услуги электросетевых компаний превышал уровень инфляции, что негативно сказывалось как на основных показателях социально-экономического развития России, так и на конкурентоспособности предприятий и финансовом благополучии граждан страны. В настоящее время установление тарифов проводится по принципу «инфляция минус». Индексация тарифов сетевых компаний на передачу электрической энергии для всех категорий потребителей, исключая население, осуществляется по формуле «прогнозная инфляция соответствующего года минус 1 процентный пункт», и составила в 2017 и 2018 годах 3%.

Данное решение в области электроэнергетики является стратегическим, поскольку дальнейшее повышение тарифа ограничено необходимостью сохранения социальной стабильности и приемлемости тарифа для потребителя. Для достижения указанных целей система ориентирована на приоритеты снижения операционных издержек и потерь, ресурсосбережение, повышение эффективности хозяйственной деятельности. Однако при существующих подходах к ценообразованию электросетевые компании сталкиваются с проблемой недофинансирования. Имеет место дефицит финансовых средств на развитие и модернизацию основных фондов электросетевых компаний.

В России расходы ТСО подразделяются на неподконтрольные и подконтрольные. При существующей системе тарифообразования происходит ежегодная индексация подконтрольной части расходов, в частности, по индексу эффективности операционных расходов, значение которого отрицательно (от -1% до -3%). В структуре себестоимости ТСО подконтрольные расходы составляют 30-65 %.

В исследуемой группе (репрезентативная выборка из 51 электросетевой компании Сибирского Федерального округа) индекс эффективности электросетевых компаний принимает значение, равное 1% для 73% компаний, что указывает на отсутствие дифференциации по условиям операционной деятельности. Также стоит отметить тот факт, что на данный момент индекс эффективности выступает исключительно в качестве понижающего коэффициента. В совокупности данные факторы сдерживают качественное развитие электросетевых компаний, так как даже эффективным компаниям подконтрольные расходы сокращают.

Представляется возможным и целесообразным при формировании подконтрольной части расходов ТСО реализовать принципы бенчмаркинга. Как было отмечено ранее, внедрение бенчмаркинга способно сформировать квазиконкурентную среду между естественно-монопольными электросетевыми компаниями, что, в конечном счете, способствует ресурсосбережению и стимулированию компаний к повышению эффективности их деятельности

Рассмотрим основные методы бенчмаркинга, применяемые зарубежными государствами при регулировании естественно-монопольных организаций. Основные методы бенчмаркинга, используемые в зарубежной практике:

1. Индекс удельных единиц (PPI-анализ);
2. Индекс совокупной производительности факторов производства (TFP-анализ);
3. Анализ среды функционирования (DEA-анализ);
4. Модели эконометрического анализа;
5. Анализ с использованием стохастических границ производственных возможностей (SFA-анализ).

Общая структура моделей бенчмаркинга при регулировании деятельности электросетевых организаций следующая:

- Входные данные – операционные, капитальные или общие затраты и натуральные данные, такие как технические характеристики деятельности организации, особенности среды функционирования и т.д.;
- Выходные данные – оценка эффективности деятельности компании (дается оценка в долях единицы, значение показателя эффективной компании принимается равным 1).

Под эффективностью деятельности компании понимается отношение полезного результата (объема отпущенной электроэнергии потребителям, число потребителей) к величине производственных затрат. Для проведения бенчмаркинга компаний используется методы моделирования границы затрат: непараметрические и параметрические.

Общей особенностью группы непараметрических методов является отсутствие введение предпосылок о функциональной форме границы затрат. Также отличительной особенностью данного метода является простота расчета. Применение параметрических методов для оценивания функции затрат предполагает построение регрессионной модели затрат. Данный метод позволяет произвести количественное описание взаимосвязей между экономическими переменными.

#### *Индекс удельных единиц (PPI-анализ)*

Данный метод бенчмаркинга относится к группе непараметрических методов.

Индекс удельных единиц может определяться как отношение «ресурса» к «продукту». Электросетевые компании Ирландии определяют значение данного индекса, к примеру, как отношение операционных расходов к затратам на вырубку лесного массива на километры сети и т.д.

Преимуществом данной модели бенчмаркинга (кроме простоты расчета) является отсутствие особых требований к базе данных (минимальное количество наблюдений). Основным недостатком модели является тот факт, что производится оценка отдельных аспектов производственной деятельности компании.

#### *Индекс совокупной производительности факторов производства (TFP-анализ)*

Данный метод относится к непараметрической группе методов, поэтому позволяет сравнивать данные при малом объеме выборки. Индекс совокупной факторной производительности задается следующим уравнением:

$$TFP = \frac{Q_{it}}{X_{it}}, \quad (1)$$

где  $Q_{it}$  и  $X_{it}$  – агрегированные показатели выпуска и затрат ресурсов;  
 $i$  и  $t$  – определенная компания и временной период.

Рост используемых факторов производства или изменение комбинации их использования приводит к росту показателя выпуска. Разность роста стоимости выпуска и изменения стоимости затрат определяет ту часть роста выпуска, которая не объясняется ростом факторов производства, то есть может быть отнесена к росту эффективности или улучшению технологии производства по отрасли в целом.

Такие государства как Австралия, Новая Зеландия, Канада (штат Онтарио), США (Калифорния) проводят бенчмаркинг посредством TFP-анализа.

Преимуществами TFP-анализа является относительная простота расчета и наличие возможности проведения оценки долгосрочных тенденций производительности компании и отрасли.

Следует отметить, что для проведения TFP-анализа требуется выборка за длительный период. Несмотря на тот факт, что реформирование электроэнергетической отрасли России полностью завершено в 2010 году, а распределительные сетевые компании образованы к 2008 году, собрать информацию о выходных параметрах фактически удалось лишь за период 2014-2016 гг. Информация о входных параметрах (затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание) за данный период не представлена в достаточном объеме.

В связи с тем фактом, что стандарты раскрытия информации электросетевых компаний введены только в 2014 году, для TFP-анализа не сформирована достаточная информационная база. Таким образом, получение адекватных оценок TFP-анализа для российских электросетевых компаний на данный момент не представляется возможным.

Недостатки метода заключаются в отсутствии механизма учета случайных ошибок модели и сложности учета различий в условиях эксплуатации;

#### *Анализ среды функционирования (DEA-анализ)*

Данный метод основан на линейном программировании. Использование DEA-анализа [10,11] в отечественной научной литературе носит фрагментарный характер [6, 9] переводится как анализ среды функционирования. DEA-анализ представляет возможность оценивать большое количество электросетевых компаний. Анализ среды функционирования подразумевает формирование многомерного пространства входных-выходных параметров компании, каждой из которых соответствует определенная точка.

Модель позволяет опознавание возрастающего либо снижающегося эффекта масштаба для каждого предприятия, а также, в этой связи, разделение эффективности на техническую эффективность и эффективность в зависимости от эффекта масштаба [7].

DEA-анализ, наряду с другими методами, используется в Новом Южном Уэльсе в целях исследования производственной эффективности компаний, где в качестве ресурсов выступают операционные расходы, протяженность сети и мощность трансформаторов, а в качестве продукта – полезный отпуск, число потребителей и пиковая нагрузка. Также такая модель бенчмаркинга используется в Австрии и Германии (определение рейтинга эффективности и фактора роста X-эффективности) В качестве ресурса используется значение операционных и капитальных затрат, а в качестве продукта выступают число точек подключения, пиковая нагрузка, протяженность линий электропередач и т.д.

Основным преимуществом метода является отсутствие предпосылок о функциональной форме модели и возможностью тестирования статистических гипотез. Также применение этого метода анализа предусматривает возможность проведения статистических тестов.

Недостатки метода заключаются в требовании наличия надежной базы данных и высокой чувствительности к наличию выбросов (резко отклоняющихся значений) данных. Кроме этого не учитываются случайные ошибки модели.

В результате исследования непараметрических методов проведения сравнительного анализа электросетевых компаний, выявлено, что на данный момент при проведении DEA-анализа возможно получение корректных результатов ввиду следующих факторов:

- комплексный показатель результатов деятельности компании, поскольку операционная эффективность компаний рассматривается в нескольких аспектах (в отличие от РРІ-индекса);
- не требуется приводить долгосрочную статистику исследуемых показателей (в отличие от TFP-анализа).

Стоит отметить, что в сравнении с параметрическими методами, описание которых представлено ниже, форма функции DEA-анализа не требует обоснования. Поскольку в зарубежных странах практика бенчмаркинга предусматривает наличие не менее двух моделей сравнительного анализа, можно заключить, что результаты DEA-анализа электросетевых компаний могут использоваться регулирующими органами при формировании рейтинга эффективности каждой компании.

#### *Модели эконометрического анализа*

Эконометрический анализ относится к группе параметрических методов (регрессионная модель затрат). Применение данного метода позволяет произвести количественное описание взаимосвязей между экономическими переменными. Общий вид регрессионной модели для проведения бенчмаркинга ТСО выглядит следующим образом:

$$\ln C = f(x_1, \dots, x_n) + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $C$  – издержки ТСО;

$x_1, \dots, x_n$  – факторы регрессии;

$\varepsilon$  – случайная величина, характеризующая отклонение реального значения результативного признака от теоретического, найденного по уравнению регрессии.

Выполнение бенчмаркинга с использованием эконометрического подхода включает:

1. отбор факторов регрессии;

На данном этапе осуществляется выбор переменных, характеризующих натуральные показатели деятельности электросетевого бизнеса (отпуск электроэнергии), цены на факторы производства и характеристику среды функционирования. Факторы модели регрессии должны отвечать следующим требованиям:

- количественная измеримость. При необходимости включения качественных факторов в модель, им следует придать количественную определенность (баллы, ранги);
  - отсутствие корреляции факторов между собой и функциональной связи.
2. определение формы функции затрат (линейная, Кобба-Дугласа, транслогарифмическая);
- выбор метода оценивания функции затрат (Метод наименьших квадратов, метод скорректированных наименьших квадратов, модифицированный метод наименьших квадратов).

Эконометрический анализ наряду с DEA-анализом и TFP-анализом применяется в Новом Южном Уэльсе. Форма функции операционных затрат представлена в линейном и логарифмическом виде, а в качестве переменных используется число потребителей, протяженность линий, полезный отпуск, пиковый спрос и тип сетей (городской или сельский) [5].

Преимущество моделей эконометрического анализа заключается в наличии возможности проведения статистических тестов и возможности учета различий в условиях эксплуатации электросетевых компаний.

Недостатки метода:

- необходима надежная база данных;
- наличие доказательной базы о выборе формы функции затрат и ее переменных;
- зависимость результатов от спецификации модели.

*Анализ с использованием границ производственных возможностей (SFA-анализ)*

Метод стохастической границы производственных возможностей, как и наименьших квадратов, относится к группе параметрических методов. Данный метод является усовершенствованной формой традиционного эконометрического анализа, так как ключевая идея метода заключается в разделении случайного члена  $\varepsilon_i$  на составляющие шума ( $v_i$ ) и неэффективности ( $u_i \geq 0$ ).

Модель эффективности по выпуску записывается следующим образом (в логарифмах):

$$\ln y_i = \ln f(x_i, \beta) + v_i + u_i, \quad (3)$$

где  $i$  – номер предприятия;

$y_i$  – его выпуск;

$x_i$  – регрессоры, факторы производства;

$\beta$  – вектор значений оцениваемых параметров.

В моделях SFA-анализа ослаблена предпосылка о том, что индивидуальный эффект может трактоваться как неэффективность компании.

При внедрении принципов бенчмаркинга для регулирования деятельности электросетевых компаний необходимо учитывать тот факт, что компании отрасли функционируют в разных условиях, в связи с этим однородность выборки – спорный вопрос, поэтому наблюдаемая неоднородность в действительности есть сумма неэффективности и неоднородности.

SFA-анализ применяется в Австралии, Финляндии, Новом Южном Уэльсе и в Германии наряду с DEA-анализом. В Германии для SFA-анализа используется линейная модель, также отдача от масштаба постоянна, усечено-нормальное распределение случайной величины.

Преимущества SFA-анализа:

- наличие возможности проведения статистических тестов;
- разделение величины случайной ошибки и неэффективности компании;
- учитывает различия в условиях эксплуатации.

Недостатки:

- требуется надежная база данных;
- более сложный расчет (в сравнении с PPI, TFP);
- требуется обоснование корректности модели, которое заключается в объяснении формы функции затрат, выбранных переменных;
- результаты чувствительны к спецификации модели;
- распределение и среднее значение неэффективности чувствительно к форме распределения случайной ошибки.

Основным недостатком SFA-анализа является требование большого количества данных для разделения случайной величины на составляющие «шума» и «неэффективности». Наличие данного факта не представляет возможным проведение SFA-анализа в рамках данного исследования, поскольку в свободном доступе отсутствует необходимая информация для анализа «шума» и «неэффективности».

Таким образом, бенчмаркинг позволяет ранжировать компании на более или менее эффективные, учитывая множество факторов деятельности. Процедура сравнительного анализа успешно проводится зарубежными государствами на протяжении долгосрочного периода, стимулируя компании к повышению эффективности оказываемых услуг. В нашей стране предпринята попытка ФСТ в 2013 году сформировать методические указания по проведению сравнительного анализа электросетевого сектора [8].

Проект методических указаний содержит модель эффективного уровня подконтрольных расходов электросетевых компаний России и алгоритм расчета индекса

эффективности, который применяется при ежегодном индексировании подконтрольной части расходов. Изучив результаты анализа проекта методических указаний (в частности модели эффективного уровня подконтрольных расходов), представляется возможным заключить о нецелесообразности использования проекта методических указаний.

Для изучения операционной эффективности электросетевых компаний Сибири, в рамках данного исследования, выбран метод наименьших квадратов.

Выбор функциональной формы регрессии зависит от количества регрессоров модели (драйверов затрат). Изучив опыт регулирования на основе бенчмаркинга зарубежных государств, а также анализ зарубежной и отечественной зарубежной литературы, позволяет заключить, что функциональную форму операционных затрат следует описывать функцией Куба-Дугласа.

Анализ зарубежной академической литературы и модели эффективных подконтрольных затрат проекта ФСТ позволил сформировать перечень показателей, которые предполагается включить в модель:

- стоимость потребительской корзины, тыс. рублей (P);
- количество точек подключения, шт. (C);
- трансформаторная мощность подстанций, у.е. (T);
- количество условных единиц по линиям передач, у.е. (L);
- фактический объем отпуска, млн. кВтч (O);
- уровень потерь электроэнергии, % (M);
- средняя температура января, К [2] (k1);
- показатель толщины стенки гололеда, мм [3] (k2).

В таблице 1 приведена статистическая значимость коэффициентов на 2014 год.

Таблица 1.

Статистическая значимость коэффициентов на 2014 год (итерация 1)

	ОРЕХ	P	C	T	L	O	M	k1	k2
ОРЕХ	—								
P	0,068	—							
C	0,122	7,762	—						
T	15,24	0,149	0,188	—					
L	14,69	0,64	0,745	16,35	—				
O	14,624	0,16	0,12	17,051	12,464	—			
M	1,732	0,324	0,961	1,417	1,812	0,023	—		
k1	0,529	0,24	0,049	0,388	0,929	0,095	0,719	—	
k2	0,016	0,63	1,643	0,052	0,321	0,212	0,378	0,238	—

В результате исследования статистической значимости коэффициентов (Таблица 1), установлено, что между некоторыми регрессорами модели наблюдается тесная связь. Также установлено, что на подконтрольные расходы большее влияние оказывают такие регрессоры, как «трансформаторная мощность подстанций», «трансформаторная мощность подстанций» и «фактический объем отпуска». С целью устранения взаимного влияния регрессоров, было проведено несколько итераций, таких как включение новых регрессоров (  $\frac{\text{количество точек подключения}}{\text{трансформаторная емкость подстанций}}$ ,  $\frac{\text{количество точек подключения}}{\text{количество условных единиц по линиям передач}}$  ) (таблица 2) и преобразование Бокса-Кокса регрессора k3 для снижения корреляции между новыми регрессорами.

## Описание переменных модели (итерация 2)

№	Переменная	Описание	Единица измерения
1	$k_1$	<i>стоимость потребительской корзины</i>	тыс. руб.
2	$k_2$	$\frac{\text{количество точек подключения}}{\text{трансформаторная емкость подстанций}}$	шт./у.е.
3	$k_3$	$\frac{\text{количество точек подключения}}{\text{количество условных единиц по линиям передач}}$	шт./у.е.
4	$k_4$	<i>фактический объем отпуска</i>	млн. кВтч
5	$k_5$	<i>средняя температура января</i>	К
6	$k_6$	<i>показатель толщины стенки гололеда</i>	мм
7	$k_7$	<i>уровень потерь электроэнергии</i>	%

В таблице 3 представлена информации о статистической значимости коэффициентов после включения новых регрессоров.

Таблица 3.

## Статистическая значимость коэффициентов на 2014 год (итерация 3)

	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$
$k_1$	—						
$k_2$	1,842	—					
$k_3$	1,44	1,2	—				
$k_4$	0,16	1,758	0,669	—			
$k_5$	0,239	1,253	1,546	0,095	—		
$k_6$	0,631	0,114	0,149	0,212	0,238	—	
$k_7$	0,324	1,151	1,654	0,023	0,719	0,37	—

Дальнейшим шагом построения уравнения множественной регрессии является реализация метода BackWard – метод пошаговой регрессии, позволяющий последовательно удалять переменные до того момента, пока это возможно (например по критерию значимости).

Для определения набора существенно влияющих факторов происходит последовательное исключение факторов на основании оценки скорректированного коэффициента детерминации ( $R^2_{adjusted}$ ). Процесс исключения факторов останавливается на том шаге, при котором все регрессионные переменные значимы (максимальное значение  $R^2_{adjusted}$ ).

Алгоритм метода "пошагового исключения" (stepwise backward selection) следующий:

- на первом шаге перебираются все комбинации из  $m$  числа переменных и исключается наименее информативный признак с точки зрения заданного критерия ( $R^2_{adjusted}$ );
- эти шаги повторяются, пока не будут выполнено условие расчета (максимально приближенное значение к единице).

При включении всех факторов регрессии в модель значение  $R^2_{adjusted} \approx 0,889$ . На 26 итерации рост скорректированного коэффициента детерминации прекращен  $R^2_{adjusted} \approx 0,896$ , в связи с чем можно заключить, что следующие факторы следует включить в модель эффективного уровня подконтрольных расходов:

- стоимость потребительской корзины ( $k_1$ );
- фактический объем отпуска ( $k_4$ );
- уровень потерь электроэнергии ( $k_7$ ).

Представим уравнение регрессии:

$$LN(OPEX) = 1,372 - 1,238 * \ln(k_1) + 0,795 * \ln(k_4) + 0,699 * \ln(k_7). \quad (4)$$

В процессе исследования установлен тот факт, что влияние таких факторов, как факторы климатического условия, количество точек подключения, количество условных единиц по линиям электропередач и трансформаторная мощность подстанций не оказывают значительного влияния на уровень операционных расходов.

Следующим этапом анализа является оценка качества модели. Коэффициент детерминации (0,903) показывает, что около 90,3% вариации зависимой переменной учтено в модели и обусловлено влиянием включенных факторов. Коэффициент множественной корреляции равен 0,95, что демонстрирует высокую тесноту связи зависимой переменной  $LN(OPEX)$  с тремя включенными в модель объясняющими факторами.

Проведем оценку значимости уравнения регрессии. Анализ протокола выполнения регрессионного анализа показал, что значение F—критерия Фишера ( $F_{calculate}$ ) составляет 145,8033. Табличное значение F—критерия Фишера, найденное при помощи функции ФРАСОБР при доверительной вероятности 0,95,  $\nu_1 = 3$ ,  $\nu_2 = 51 - 3 - 1 = 47$ , составляет 2,802.

Поскольку  $F_{calculate} > F_{table}$ , причем расчетное значение превышает табличное в 52 раза, уравнение регрессии следует признать адекватным.

Ситуация гомоскедастичности предполагает непротиворечивость гипотезы однородности дисперсий различных наблюдений вида:

$$H_0 : \delta^2 = \delta^2, i = 1, 2, \dots, N. \quad (5)$$

Для выявления наличия гетероскедастичности воспользуемся критерием Гольфельда—Квандта [17].

Согласно данному критерию всю область изменения  $k^*$  разбивается на три интервала:  $N_1; N - d; N_2$ , значение  $d$  выбирается некоторым целым числом из отрезка  $\left[ \frac{N}{4}; \frac{N}{3} \right]$ . Таким образом, получаем интервал: 17, 17, 17.

Вычислим значение векторов остатков  $e_1, e_2$  и соответствующие им остаточные суммы квадратов  $ESS_1$  и  $ESS_2$ .

Согласно критерию Гольфельда—Квандта гипотеза (формула 5) отвергается с вероятностью ошибки  $\alpha$  (5%), если нарушается хотя бы одно из неравенств:

$$F_{GQ} \leq F_{cr}(1 - \alpha, N_1 - \nu, N_2 - \nu). \quad (6)$$

$$F_{GQ} \cdot F_{GQ}^{-1} \leq F_{cr}(1 - \alpha, N_1 - \nu, N_2 - \nu). \quad (7)$$

где:  $F_{GQ} = \frac{ESS_1 / (N_1 - \nu)}{ESS_2 / (N_2 - \nu)}$ ;  $\nu$  — количество регрессоров модели;  $F_{cr}(1 - \alpha, N_1 - \nu, N_2 - \nu)$  — критическое значение, определенное по таблицам квантилей распределения Фишера.

Значение  $F_{cr}(1 - \alpha, N_1 - \nu, N_2 - \nu)$ , определенное при помощи функции ФРАСОБР при доверительной вероятности 0,95,  $\nu_1 = 3$ ,  $\nu_2 = 51 - 3 - 1 = 47$ , составляет 2,80236.

$$F_{GQ} = \frac{ESS_1 / (N_1 - \nu)}{ESS_2 / (N_2 - \nu)} = \frac{5,7396 * 14}{6,4633 * 14} = 0,888$$

$$F_{GQ}^{-1} = 1,1261.$$

Таким образом, значение  $F_{GQ} < F_{cr}$  и  $F_{GQ}^{-1} < F_{cr}$ , что указывает на непротиворечивость гипотезы однородности дисперсий (формула 5) и проведенный метод наименьших квадратов приводит к получению корректных результатов. На рисунке 1 представлен график значений остатков.

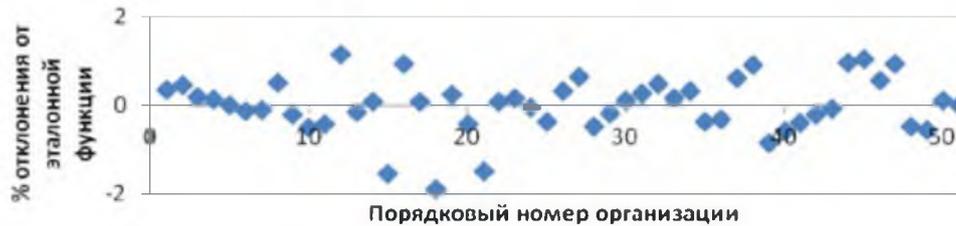


Рисунок 1 - Значение остатков модели за 2014 год.

В результате исследования данных об отклонении коэффициентов детерминации на 2015 и 2016 год ( $R^2$  и  $R_{adjusted}^2$ ), установлено, что их значение не превышает 1%. В этой связи возможно долгосрочное использование модели множественной регрессии (формула 4) для определения эффективного уровня подконтрольных расходов. При проведении анализа возможности долгосрочного использования разработанной модели, выявлено, что коэффициенты регрессоров модели эффективных подконтрольных расходов следует определять ежегодно, так как в результате применения коэффициентов модели подконтрольных расходов 2014 года к данным 2015 и 2016 годов отклонение от эффективного уровня подконтрольных расходов, рассчитанного по данным 2015 и 2016 года больше 5%:

В результате анализа значения остатков для 2015 и 2016 годов значение  $F_{GQ} < F_{cr}$  и  $F_{GQ}^{-1} < F_{cr}$ , что указывает на непротиворечивость гипотезы однородности дисперсий (формула 5) и проведенный метод наименьших квадратов приводит к получению корректных результатов. Коэффициенты модели для 2015 и 2016 года представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Коэффициенты регрессоров по годам

Регрессор	2014	2015	2016
Intersept	1,372	0,389	0,303
Стоимость потребительской корзины в регионе	—1,238	—0,6958	—0,7114
Фактический объем отпуска	0,7954	0,794	0,886
Уровень потерь	0,6995	0,728	0,472

Представленная модель эффективного уровня подконтрольных расходов (формула 4) электросетевых компаний Сибири может использоваться Федеральной антимонопольной службой для ранжирования компании на более или менее эффективные, а также непосредственно электросетевыми компаниями для анализа деятельности. Результаты исследования (в частности алгоритм выбора спецификации модели) могут быть тиражированы на ТСО других федеральных округов России.

Как было отмечено ранее, в рамках современной системы тарифного регулирования России предусмотрено долгосрочное регулирование в течение трех или пяти лет, при котором происходит ежегодная индексация подконтрольной части расходов. Для

определения значения индекса эффективности на основе сравнительного анализа, необходимо представить алгоритм его расчета.

Механизм расчета индекса эффективности следующий: компаниям, чьи фактические подконтрольные расходы ниже расчетных, устанавливается самое высокое значение индекса эффективности 1,03. Неэффективные компании, подконтрольные расходы которых выше более чем на 25% от расчетных (исследовав эффективные уровни операционных расходов за 2014-2016 гг., установлено, что процент компаний-лучших практик в среднем составляет 25%), значение индекса эффективности принимает значение 0,90856, то есть предполагается сокращение расходов на будущий период. Для остальных компаний также разработан алгоритм расчета, однако в рамках данного исследования ограничимся представлением индекса эффективности самых эффективных и неэффективных компаний.

В таблице 5 представлены результаты бенчмаркинга подконтрольных расходов ТСО Сибири за 2016 год. По результатам 2015 года, в исследуемой группе компаний эффективными являются следующие: Абаканские электрические сети (Хакасия); РУСАЛ (Ачинск); Южно—сибирская энергетическая компания (Барнаул); Академэлектросеть (Томская область); Крамз Телеком Красноярск (Ирбейский разрез); Филиал «Оборонэнерго» по Новосибирской области; Филиал «Оборонэнерго» по Томской области; Омская область «РЖД»; Алтайский край «РЖД»; Иркутская область—2 «РЖД»; Республика Бурятия «РЖД» (Таблица 5).

Таблица 5.

Значение индекса эффективности подконтрольных расходов ТСО Сибири на 2016 год

№	Компания	Индекс эффективности	Логарифмированные переменные	
			Подконтрольные расходы (фактические)	Подконтрольные расходы (расчетные)
1	Абаканские электрические сети (Хакасия)	1,03	4,8905	5,4100
2	РУСАЛ (Ачинск)	1,03	2,3702	3,8007
3	Южно-сибирская энергетическая компания (Барнаул)	1,03	3,0488	4,6571
4	Академэлектросеть (Томская область)	1,03	1,0086	2,3381
5	Крамз Телеком Красноярск (Ирбейский разрез)	1,03	3,8384	4,2459
6	Новосибирская область "Оборонэнерго"	1,03	3,8232	4,8284
7	Томская область "Оборонэнерго"	1,03	1,6159	1,8916
8	Омская область "РЖД"	1,03	3,4564	4,1833
9	Алтайский край "РЖД"	1,03	4,1032	4,8397
10	Иркутская область-2 "РЖД"	1,03	5,6806	6,5556
11	Республика Бурятия "РЖД"	1,03	4,4845	5,3416
...	...	...	...	...
49	Забайкальский край-1 "РЖД"	0,90856	2,1992	1,6374
50	Кемеровская область "Оборонэнерго"	0,90856	3,1678	2,1889
51	ООО "Водоканал" Кемерово	0,90856	0,4242	0,2343

Такой механизм способствует повышению эффективности деятельности электросетевых компаний, так как действующая в настоящее время система определения индекса эффективности подконтрольных расходов не учитывает различий в условиях эксплуатации электросетевых активов, о чем указывает низкий уровень дифференциации индекса эффективности ( $EI_j = 1\%$  для 73% ТСО).

Стоит отметить следующий факт: за период 2014—2016 гг. у компаний РУСАЛ (Ачинск), Южно—сибирская энергетическая компания (Барнаул), Академэлектросеть (Томская область) значение  $EI_j = 1,03$ , что указывает на высокий уровень операционной эффективности ТСО.

Для неэффективных компаний, среди которых по результатам 2016 года (Таблица 5) филиал «Оборонэнерго» в Кемеровской области, АО «РЖД» (Забайкальский край—1) и ООО «Водоканал» г. Кемерово, предполагается снижение подконтрольных расходов.

Уровень подконтрольных расходов текущего периода зависит от степени эффективности компании предшествующего года: чья эффективность в базовом периоде высока, обладают более высоким уровнем подконтрольных расходов в текущем периоде.

Таким образом, в статье продемонстрирована принципиальная возможность внедрения принципов бенчмаркинга при регулировании электросетевой деятельности в России. Стоит отметить, что бенчмаркинг при регулировании деятельности электросетевых организаций формирует квазиконкурентную среду, что способствует созданию финансовой основы устойчивого развития электросетевого бизнеса и, как следует, повышению эффективности деятельности ТСО.

### Список литературы

1. Постановления Правительства РФ «Об отнесении владельцев объектов электросетевого хозяйства к территориальным сетевым организациям» от 28.02.2015 № 184 (ред. от 17.10.2016) // КонсультантПлюс. ВерсияПроф [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2015].
2. Строительная нормы и правила РФ: СНиП 23.01.99 Строительная климатология нормативно-технический материал. – Москва, 2003. – 65 с.
3. Свод правит 20.13330.201 Нагрузки и воздействия. актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. Минрегионразвития Москва 2011 – 80 с.
4. Баландин Д.В. Оценка производственной эффективности генерирующих компаний при формировании тарифов на электроэнергию : Дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / Баландин Дмитрий Валерьевич ; науч. рук. Ю.В. Федотов – Санкт-Петербург, 2006. – 201 с.
5. Дробыш И.И. Бенчмаркинг при регулировании тарифов электросетевых компаний / И. Дробыш // труды ИСА РАН. Том 63. 1/2013, с. 97-106.
6. Кривоножко В.Е., Пропой А.И., Сеньков Р.В., Родченков И.В., Анохин П.М. Анализ эффективности функционирования сложных систем // Автоматизация Проектирования. 1999. –№1. –С. 2-7.
7. Лисситса А., Бабичева Т. Анализ оболочки данных (DEA)—современная методика определения эффективности производства [Электронные данные] / Алексей Лисситса, Тамара Бабичева // Iamo.de. – 2003. – Режим доступа: <http://www.iamo.de/fileadmin/documents/dp50.pdf>
8. Проект «Методические указания по определению базового уровня операционных (подконтрольных) расходов территориальных сетевых организаций с применением метода сравнения аналогов (бенчмаркинга) при регулировании тарифов на услуги по передаче электрической энергии» // docs.tehekspert.ru. – 2013. – 3 июля. Режим доступа: <http://docs.tehekspert.ru/document/499030828>
9. Сеньков Р.В. Параметрические методы оптимизации в анализе эффективности сложных систем на основе АСФ технологии : дис. канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 / Сеньков Роман Викторович ; науч. рук. Е.В. Кривоножко –Москва, 2002. –153 л.
10. Weinstein, M. A. Query 2: The sum of values from a normal and a truncated normal distribution // Technometrics, 6(1), 104-105. Winsten, C., 1957. «Discussion on Mr. Farrell's Paper» Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General, 120, pp. 282–284.

## **Известия КГТУ им. И.Раззакова 44/2017**

---

11. William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Joe Zhu Handbook of data envelopment analysis [Электронный ресурс] // <https://link.springer.com>. – 2017. – 27 ноября. – Режим доступа: [http://www.deafontier.net/TOC\\_DEAhandbook1.pdf](http://www.deafontier.net/TOC_DEAhandbook1.pdf)