

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Прокофьев В.Ю.

*Российская Федерация, г. Самара,
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королева*

Аннотация. Рассматривается экономико-математическая модель энергораспределения, описывающая взаимосвязи финансовых потоков и процессов распределения потоков электрической энергии. Экономико-математическая модель описывает взаимосвязь оплаты поставки, оказания услуг и компенсации потерь при передаче определенного объема электроэнергии.

Ключевые слова: электрические сети, потоки электроэнергии, энергораспределение, стоимость электроэнергии, технические и коммерческие потери электроэнергии, математическая модель.

Цель настоящей статьи – разработка экономико-математической модели энергораспределения, нахождение объема электрической энергии (далее ЭЭ), при котором будет максимальная прибыль в организации.

В статье рассматривается модель, позволяющая представить процесс передачи ЭЭ и финансовые потоки.

Высокая стоимость энергоресурсов изменила отношение к организации энергоучета [1]. Основой энергосбережения и повышения энергетической эффективности является учёт энергетических ресурсов, в том числе ЭЭ. Потери составляют разность объема ЭЭ, отпущенной в сеть и расходуемой потребителем. Энергетические предприятия составляют программы по энергосбережению для уменьшения коммерческих потерь, которые нормируют потери в электросетях и включают в себя тарифы на ЭЭ [2].

Для обеспечения равенства тарифов на передачу ЭЭ используют котловой принцип их формирования, предусматривающий расчет стоимости услуг на передачу всех электросетевых организация субъекта РФ и определение единых тарифов для различных категорий потребителей [3]. В данной модели используется «смешанный котел». На рисунке 1 описаны потоки распределения ЭЭ и финансовые потоки ООО «Юг сети». ООО «Юг сети» закупает у ПАО «Россети Волга» ЭЭ и оплачивает ее поставку, а с ПАО «Самараэнерго» взаимодействует только финансово.

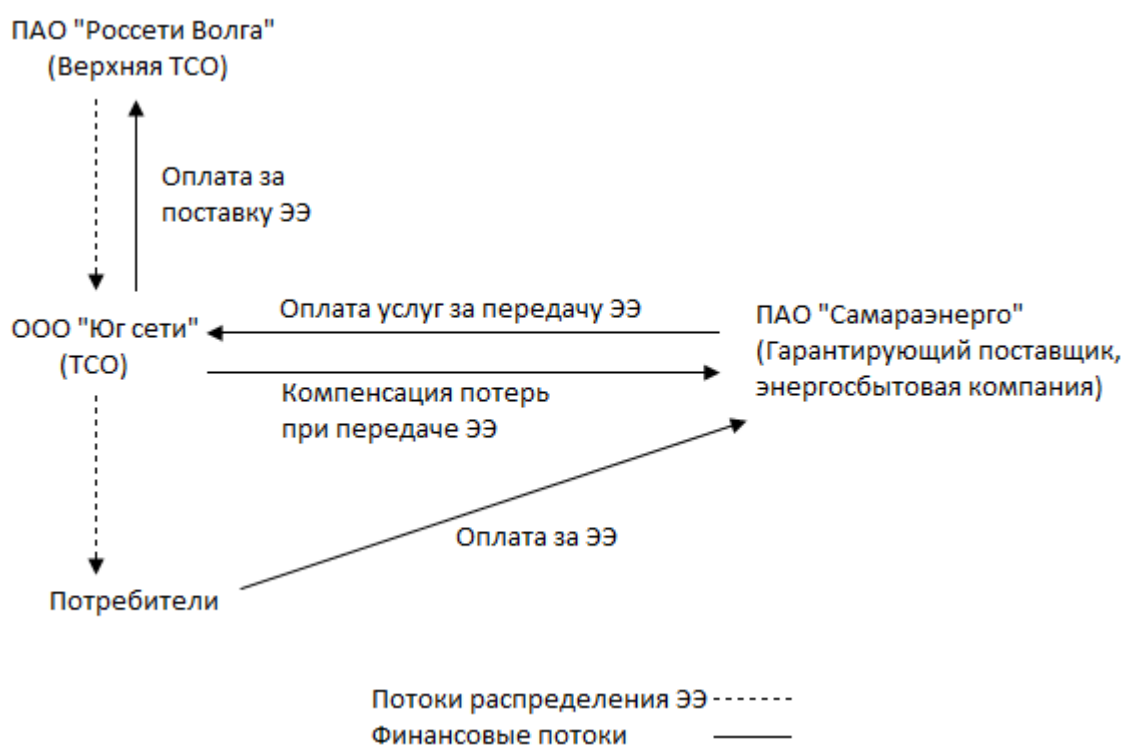


Рисунок 1. Потоки распределения ЭЭ и финансовые потоки

Поставляет ЭЭ вышестоящая территориально сетевая организация по тарифу, установленным государством по модели [4].

Стоимость услуг на передачу ЭЭ определяется суммарными затратами на содержание электрических сетей и оплаты за потери ЭЭ [5]. Доходы организации зависят от переданного объема ЭЭ по средним и низким сетям напряжения с дифференцированным тарифом для групп потребителей [6].

Общие потери ЭЭ в сетях состоят из суммы технических и коммерческих потерь [7]. Статистические данные свидетельствуют о повсеместном росте потерь ЭЭ [8], в организациях, занимающихся данной отраслью, потери при передаче ЭЭ достигают 15–20 % от общего объема переданной ЭЭ [9], основная доля которых приходится на электрические сети напряжением 0,4 кВ [10]. Проблема технических потерь существует давно и в настоящее время полностью ее решить невозможно [11]. Коммерческие потери составляют большую часть от общих потерь ЭЭ [12], это прямой денежный убыток энергоснабжающего предприятия [13]. Для их сокращения нужно внедрять и использовать мероприятия по снижению потерь ЭЭ [14], перспективными являются методы и средства учета с коррекцией погрешностей [15-17] и достоверной системой учёта ЭЭ [18]. Цена компенсации 1кВтч зависит от среднерыночной закупки ЭЭ, превышая определенную норму потерь, заданную в %, цена за компенсацию будет выше, следовательно, чем больше объем потерей, тем выше цена и конечная сумма.

К постоянным издержкам относятся затраты на содержание электрической сети, заработная плата работников, аренда помещений, расходы на экипировку. Их полная стоимость рассчитывается регулирующим органом на основе нормативных документов.

Рассмотрим модель прибыли территориально сетевой организации в деятельности передачи ЭЭ на примере ООО «Юг сети», построение на основе [19-24].

Организация выступает как посредник при передаче ЭЭ от вышестоящей организации до потребителей, предоставляя свои сети и за это получает финансовую выгоду.

$$\Pi = PV - P_{\Pi}V_{\Pi} - C_V(V + V_{\Pi}) - C_F, \quad (1)$$

где

Π – прибыль организации за предоставление услуг по передаче электроэнергии;

P – цена услуг за 1 кВтч;

V – общий объем переданной электроэнергии в кВтч;

P_{Π} – цена компенсации потерь при передаче электроэнергии;

V_{Π} – объем потерь при передаче электроэнергии в кВтч;

C_V – издержки за поставку электроэнергии;

C_F – постоянные издержки.

Рисунок 2 отображает зависимость цены поставки 1 кВтч в рублях от объема общей поставки ЭЭ. С увеличением объема увеличивается и цена, передача очень больших объемов может сильно повлиять на расходы. Данные для расчетов берутся за 2018-2021 гг, но не все, а выборочно, такие, чтобы R^2 был максимально приближен к 1, демонстрируя характерную зависимость цен от объема ЭЭ.



Рисунок 2. График зависимости издержек (закупочной цены) 1 кВтч от объема поставки ЭЭ

График зависимости цены переданного 1 кВтч от объема услуг по передаче ЭЭ изображен на рисунке 3. При передаче меньших объемов ЭЭ, цена за 1 кВтч будет больше, чем при больших объемах. Следовательно, нужно стараться удерживать передачу определенного объема ЭЭ, чтобы цена услуг была выше, а цена за поставку ниже.

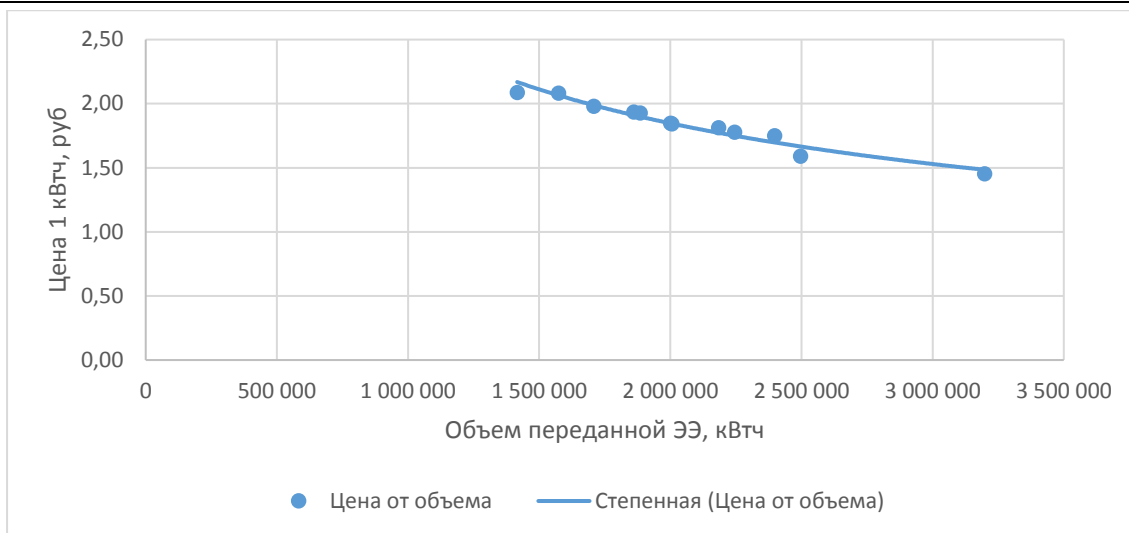


Рисунок 3. График зависимости отпускной цены 1 кВтч переданной ЭЭ от ее объема

Потери при передаче электроэнергии составляют долю γ от объема поставки энергии, которая в данной статье принята равной среднему значению за 2018-2021 гг., а именно 8,2%. На рисунке 4 изображен график зависимости компенсации 1 кВтч от объема потерь, организации следует тщательней вести учет ЭЭ и контролировать свои объекты, т.к. цена увеличивается с увеличением объема потерь.

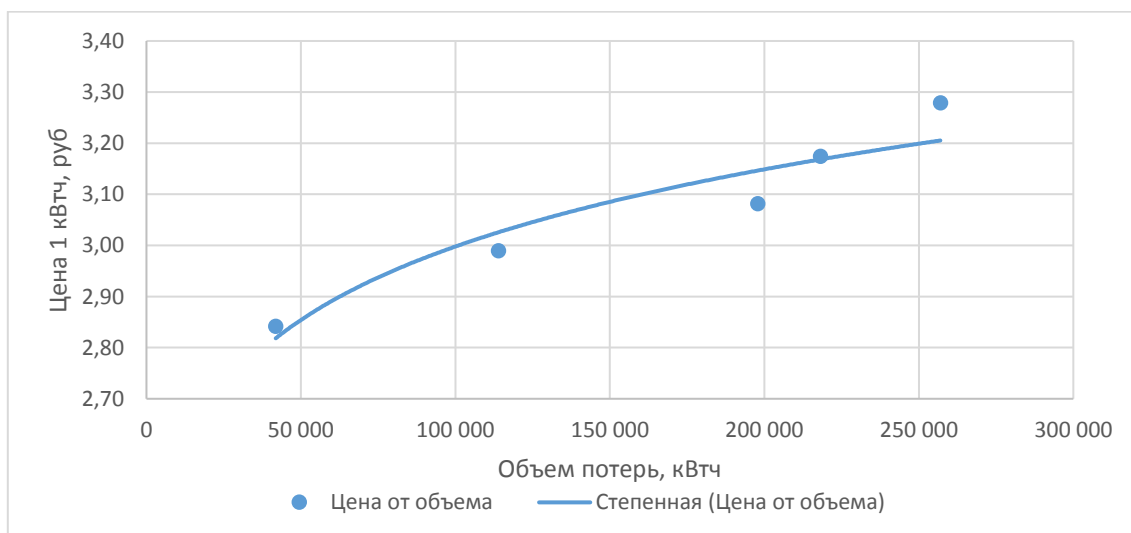


Рисунок 4. График зависимости цены компенсации потерь 1 кВтч от объема потерь ЭЭ

Ниже, в таблице 1 приведены статистические характеристики регрессии. Подставив полученные уравнения в формулу (1) получим график, изображенный на рисунке 5 и формулу (2):

$$\Pi = 1586V^{0,534} - 1,3256V^{1,0709} - 10^{-17}1089,324V^{2,9846} - 446000, \quad (2)$$

Используя формулу (2) строим кривую прибыли и находим точку максимума.

Таблица 1. Статистические характеристики регрессии

| Регрессионная модель | Уравнение регрессии | R^2 | Число наблюдений n | Число факторов модели m | $F_{\text{факт}}$ |
|----------------------|--------------------------|-------|----------------------|---------------------------|-------------------|
| C_V | $10^{-14}V^{1,9846}$ | 0,901 | 4 | 2 | 4,55 |
| P | $1586V^{-0,466}$ | 0,949 | 12 | 2 | 83,74 |
| P_{Π} | $1,3256V_{\Pi}^{0,0709}$ | 0,904 | 5 | 2 | 9,42 |

Максимальная прибыль организации при постоянных затратах 446 000 рублей в месяц достигается при переданном объеме ЭЭ равным 3 850 000 кВтч и составляет 3 040 482 рубля.

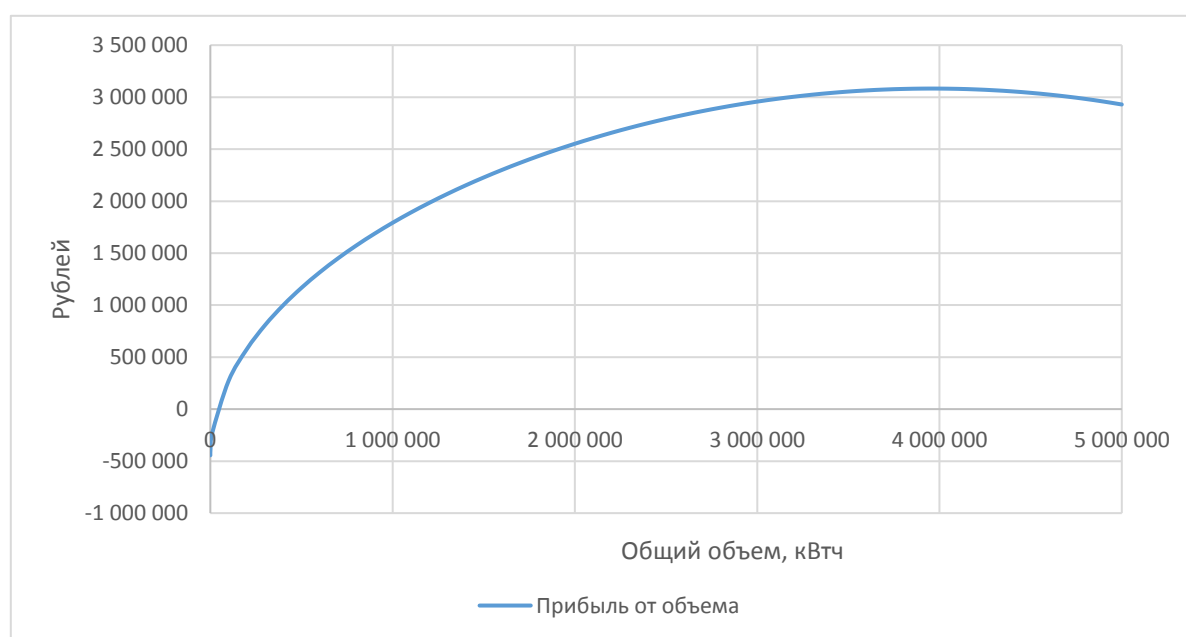


Рисунок 5. График зависимости прибыли организации от объема переданной ЭЭ

Компенсация потерь при таком объеме составит 1 232 557 рублей. Внедрение и использование различных мероприятий по сокращению потерь при передаче ЭЭ позволяет минимизировать их до 4%, что вдвое

меньше среднего процента потерь за 2018-2021 гг, следовательно, получится сократить компенсируемый объем потерь в два раза, уменьшить издержки и увеличить прибыль.

Организации следует достигнуть и удерживать этот объем для извлечения максимальной прибыли, а потери сводить к минимуму.

Список литературы

1. Якимов А.В. Энергосбережение и энергоаудит // Учебное пособие. 2005. С. 78.
2. Петрушина, В.П. Виды потерь электроэнергии в электрических сетях. Способы их снижения // Ресурсоснабжение. Эффективность. Развитие. 2020. С.122-127.
3. Бабушкин. Г.А., Ильин Р.А. Анализ котлового принципа построения тарифов на современном рынке электроэнергии // Путь науки. 2016. №1(23). С. 8-10.
4. Сафиуллин Р.Р. Логистика в электроэнергетике как инструмент в вопросах качества поставок электроэнергии // В журнале: Трибуна ученого. 2021. №12. С. 332-335.
5. Паздерин А.В., Паздерин А.А. Представление процесса передачи электроэнергии направленными потоками электроэнергии и стоимости в схеме сети // В журнале: Электрические схемы и комплексы. 2017. №1(32). С. 31-36.
6. Габриелян. О.В., Кузовкин А.И., Раев А.И. Дифференцированные тарифы на электроэнергию по диапазонам напряжения и группам потребителей // В журнале: Вестник ФЭК России. 1999. С. 54-60.
7. Воротницкий В.Э., Апраткин В.Н. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях. Структура и мероприятия по снижению // Новости электротехники. Информационно-справочное издание. № 4 (16). 2002.
8. Воротницкий В.Э., Калинин М.А., Комкова Е.В., Пятигор В.И. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия // Энергосбережение. № 2, № 3. 2005.
9. Сапронов А.А. Анализ структуры коммерческих потерь электроэнергии в распределительных электрических сетях // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 4. С. 47–49.
10. Гнатюк В.И., Копылов В.А., Геллер Б.Л. Снижение коммерческих потерь электроэнергии на основе реализации процедур рангового анализа // материалы Международного морского форума. 2016. С. 935-939.

11. Алфимов Д. Г., Лысоконь А. Е., Дейкин Е. Д. Проблема передачи электроэнергии на большие расстояния // В журнале: Вестник современных исследований. 2018. №10.1 (25). С. 256-258.

12. Воротницкий В.Э. Потери электроэнергии в электрических сетях: Анализ и опыт снижения // Энергопрогресс. 2013. С. 103.

13. Маслахов Д.И. Анализ эффективности мероприятий по снижению коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях // Инновационные научные исследования: теория, методология, тенденции развития. 2019. С. 93-96.

14. Воротницкий В.Э., Калинин М.А., Апрыткин В.Н. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций // Энергоснабжение. 2020. №3.

15. Косолапов А.М. Метод улучшения метрологических характеристик средств измерений с гальванической развязкой // Измерительная техника. 1990. №4. С. 43-45.

16. Франтасов Д.Н., Косолапов А.М. Исследование трансформатора тока с коррекцией погрешности // Датчики и системы. 2010. №6. С. 55-58.

17. Франтасов Д.Н., Косолапов А.М. Улучшение метрологических характеристик трансформаторов тока с цифровым блоком коррекции погрешностей // Вестник транспорта Поволжья. 2010. №3(23). С. 90-93.

18. Воротницкий В.Э., Севостьянов А.В. Снижение коммерческих потерь электроэнергии в электрических сетях с применением современных измерительных систем // В журнале: Мир измерений. Учредители: Рекламно-информационное агентство "Стандарты и качество". 2013. С. 11-19.

19. Гераськин М.И. Моделирование рефлексии в нелинейной модели трехагентной олигополии штакельберга для телекоммуникационного рынка России // В журнале: Автоматика и телемеханика. 2018. №5. С. 83-106.

20. Гераськин М. И., Зиновьева А.А. Теоретико-игровой анализ вариантов входа четвертого оператора на телекоммуникационный рынок России // В журнале: Актуальные проблемы экономики и права. 2020. №4. С. 751-770.

21. Гераськин М.И. Приближенное вычисление равновесий в нелинейной модели олигополии штакельберга на основе линеаризации // В журнале: Автоматика и телемеханика. 2020. №9. С. 120-143.

22. Гераськин М.И., Кругова И.В. Моделирование оптимального финансирования портфеля инвестиционных проектов на основе механизма минимальных девиаций оптимумов // В журнале: Прикладная математика и вопросы управления. 2018. №2. С. 130-143.

23. Бирюкова И.А., Гераськин М.И. Анализ рефлексивной игры агентов на телекоммуникационном рынке для случая двух рефлексивных агентов // В журнале: Актуальные проблемы экономики и права. 2018. №3. С. 468-480.

24. Гераськин М.И., Манахов В.В Анализ кривых спроса на товарных и финансовых рынках монополистической конкуренции // В журнале: Актуальные проблемы экономики и права. 2016. №2. С. 80-92.

**ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF ENERGY DISTRIBUTION
OF A TERRITORIAL GRID ORGANIZATION**

V.Yu. Prokofiev

*Samara University,
Samara, Russian Federation*

Abstract. The article considers an economic-mathematical model of energy distribution, which describes the relationship between financial flows and the processes of distribution of electric energy flows. The economic-mathematical model describes the relationship between payment for the supply, provision of services and compensation for losses in the transmission of a certain amount of electricity.

Key words: electrical networks, electricity flows, energy distribution, electricity cost, technical and commercial electricity losses, mathematical model.