4. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». – URL: https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=101&page=1&month=-1&year=-1&search=&RegNum=54&DocOnPageCount=100&id=210053.

5. Лескина Л.М., Головкова Н.П., Чеботарев А.Г., Пасеков А.Н. Распространенность хронических общесоматических заболеваний у работников производства люминесцентных ламп // Медицина труда и промышленная экология. – 2014. – № 5. – С. 18-22.

Серёгина Виктория Викторовна
Кандидат социологических наук, доцент кафедры «Математика и биоинформатика»
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФБОУ ВО «Донской государственный аграрный институт», г. Зерноград, Россия
vic.victora@yandex.ru

Удинцова Надежда Михайловна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и биоинформатика»,
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФБОУ ВО «Донской государственный аграрный институт», г. Зерноград, Россия
udinczowa@yandex.ru

Середина Марина Николаевна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и биоинформатика»,
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФБОУ ВО «Донской государственный аграрный институт», г. Зерноград, Россия
smn1472@yandex.ru

Жидченко Татьяна Викторовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и биоинформатика»
Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФБОУ ВО «Донской государственный аграрный институт», г. Зерноград, Россия
tvzh@inbox.ru

Чабаненко Вячеслав Викторович
Студент Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФБОУ ВО «Донской государственный аграрный институт», г. Зерноград, Россия
slavikchabanenko06@gmail.com

Экономика одного киловатта: математика на службе у энергорынка

Аннотация. В статье рассматривается математическая модель составляющих элементов цены электроэнергии. Определена её цель – минимизация общей стоимости. Приведен гипотетический расчет стоимости электроэнергии для региона с разнообразной генерацией, такого как Ростовская область, где есть Ростовская АЭС, Новочеркасская ГРЭС, ТЭЦ и ветропарки. В основе такого расчёта авторами положена оценка удельной себестоимости производства на разных типах станций. В статье также приведены расчёты стоимости производства электроэнергии для угольных, газовых и возобновляемых энергетических источников электроэнергии.

Ключевые слова: цена электроэнергии**,** задача оптимизации, солнечные электростанции, маржинальная прибыль.

Seregina Victoriya V.
Udintsova Nadezhda M.
Seredina Marina N.
Zhidchenko Tatiana V.
Chabanenko Vyacheslav V.

The Economics of a kilowatt: mathematics at the service of the energy market

Abstract. This article examines a mathematical model of the components of the electricity price. Its objective is defined as minimizing the overall cost. A hypothetical calculation of the electricity cost is presented for a region with diverse generation, such as the Rostov Region, home to the Rostov Nuclear Power Plant, Novocherkassk State District Power Plant, combined heat and power plants, and wind farms. The authors base this calculation on an assessment of the specific production costs of different types of power plants. The article also presents calculations of the cost of electricity production for coal, gas, and renewable energy sources.
Key words: electricity price, optimization problem, solar power plants, marginal profit.

Электроэнергия является уникальным товаром, который невозможно запастить в промышленных масштабах без дорогостоящих накопителей, передается со скоростью света, а его производство и потребление требуют мгновенного балансирования. Именно поэтому стоимость одного киловатт-часа – это не простая цифра, а результат сложной работы системы, где физические законы пересекаются с рыночными механизмами. Управляет этой системой математический аппарат высочайшей сложности. Современный энергорынок можно сравнить с гигантским вычислительным центром, где решения на миллиарды рублей принимаются алгоритмами оптимизации, теорией игр и методами искусственного интеллекта [1–4].

Раскроем, как математика формирует цену и экономику каждого киловатт-часа.

Изначально цена электроэнергии определялась через себестоимость производства. Формула проста: сумма капитальных, топливных и эксплуатационных затрат, деленная на объем выработки. Однако такая модель игнорирует ключевой фактор – время. В разные часы суток стоимость производства одного киловатт-часа на одной станции различается кардинально. Причина – в неоднородности спроса и структуре генерирующего парка. Энергосистема всегда использует сначала самые дешевые в эксплуатации источники (атомные и гидроэлектростанции), затем более дорогие (угольные), и только в пиковые часы – самые затратные (газовые пиковые станции). Так формируется восходящая кривая предложения. На оптовом рынке, например, в секторе «День вперед» в России, ежедневно встречаются заявки от потребителей и генераторов. Математическая модель этого процесса представляет собой задачу оптимизации. Ее цель – минимизировать общую стоимость покупки электроэнергии для покрытия спроса. Формально это выглядит так: необходимо найти минимум суммы произведений цены из каждой заявки генератора на предлагаемый им объем. При этом должны соблюдаться строгие ограничения [1–4]:

- Сумма всей купленной генерации должна в точности равняться прогнозному спросу.
- Каждая электростанция может работать только в пределах своих технических возможностей.
- Нельзя превысить пропускную способность линий электропередачи.

Решение этой задачи для каждого из 24 часов следующего дня определяет системную (равновесную) цену. Эта цена равна цене заявки самого дорогого из источ-

ников, который был необходим для полного удовлетворения спроса в данный час. Таким образом, ежедневно рассчитывается 24 разные цены на один и тот же товар – электроэнергию.

Чтобы понять этот процесс на практике, рассмотрим гипотетический расчет для региона с разнообразной генерацией, такого как Ростовская область, где есть Ростовская АЭС, Новочеркасская ГРЭС, ТЭЦ и ветропарки.

В основе лежит оценка удельной себестоимости производства на разных типах станций. Формула: Удельная себестоимость = (Годовые капитальные затраты + Годовые топливные затраты + Годовые эксплуатационные затраты) / Годовая выработка [1–4].

На основе среднеотраслевых данных можно получить следующие ориентировочные значения:

Для Ростовской АЭС: 1,0 (капзатраты)+0,4 (топливо)+0,5 (эксплуатация)=1,9 рубля за киловатт-час.

Для угольной ТЭС (аналог Новочеркасской ГРЭС): 0,8+2,0+0,7=3,5 рубля за киловатт-час.

Для газовой пиковой ТЭС: 0,6+3,8+0,6=5,0 рублей за киловатт-час.

Для ветрогенерации (ВИЭ): 2,8 (высокие капзатраты)+0,0+0,9=3,7 рубля за киловатт-час.

Представим зимний день. В течение 20 часов базовая нагрузка составляет 5000 МВт, а 4 вечерних часа – пиковая, 7000 МВт. Генераторы подают заявки по своим ценам. Системный оператор отбирает самые дешевые, пока не закроет спрос.

В базовый период (5000 МВт) будут работать:

АЭС (4000 МВт по 1,9 руб./кВт*ч).

ВИЭ (500 МВт по 3,7 руб./кВт*ч).

Часть угольных ТЭС (500 МВт по 3,5 руб./кВт*ч).

Цена в системе устанавливается по последнему, самому дорогому принятому источнику – угольной ТЭС. Она составит 3,5 рубля за киловатт-час. Все генераторы, включая АЭС, получат за свою энергию именно эту цену [1-4].

В пиковый период (7000 МВт) к отобранным ранее станциям добавляется часть газовых ТЭС (500 МВт). Теперь маржинальным, то есть ценозадающим, источником становится газовая ТЭС с ценой 5,0 рублей за киловатт-час.

Таким образом, средневзвешенная оптовая цена за сутки будет равна:

(3,5 руб.*20 ч+5,0 руб.*4 ч)/24 ч=(70+20)/24=90/24≈3,75 рубля за киловатт-час.

Для потребителя цена не ограничивается оптовой стоимостью генерации. В конечный тариф заложены все услуги по доставке и сбыту. Упрощенная формула для населения:

Конечный тариф=(Оптовая цена+Тариф на передачу+Сбытовая надбавка)*НДС.

Подставим наши данные и средние по региону сетевые тарифы:

Оптовая цена: 3,75 руб./кВт*ч

Тариф на передачу (услуги сетевых компаний): ≈ 2,2 руб./кВт*ч

Сбытовая надбавка (работа гарантирующего поставщика): ≈ 0,4 руб./кВт*ч

Итого до НДС: 3,75+2,2+0,4=6,35 руб./кВт*ч.

С учетом НДС (20%): 6,35*1,20=7,62 рубля за киловатт-час.

Этот расчет наглядно показывает, как изначальная себестоимость в 1,9-5,0 рубля трансформируется в конечную цену для дома, где львиную долю составляют расходы на транспортировку энергии.

Парадокс современной энергетики заключается в обратной зависимости между удельными капитальными затратами на строительство и сроком окупаемости станции.

Дороже всего строить атомные и крупные гидроэлектростанции. Удельные капитальные затраты на 1 кВт установленной мощности для АЭС могут достигать 300–550 тысяч рублей, для ГЭС – 180–450 тысяч рублей. Строительство ведется 10–

15 лет. Однако эти станции обладают самым большим сроком службы (60+ лет для АЭС) и крайне низкой себестоимостью генерации после ввода в эксплуатацию. Их окупаемость растягивается на 20–30 лет, но в долгосрочной перспективе они становятся экономическим фундаментом энергосистемы, обеспечивая стабильную и дешевую базовую генерацию.

Быстрее всего окупаются солнечные электростанции (СЭС) и газовые пиковые ТЭС.

Солнечные электростанции имеют относительно высокие удельные капзатраты (70–110 тысяч рублей за кВт), но период их строительства редко превышает 1 год. При поддержке государства (зеленые тарифы, договоры предоставления мощности) и практически нулевых переменных затратах (солнце бесплатно) они могут окупиться за 5–10 лет.

Газовые пиковые ТЭС дешевы в строительстве (45–90 тысяч рублей за кВт) и возводятся за 2–3 года. Их окупаемость напрямую зависит от цен на газ и частоты работы в дорогие пиковые часы. При благоприятной рыночной конъюнктуре они могут окупиться за 3–7 лет, но их дальнейшая прибыльность очень волатильная [1–4].

Таким образом, самые дорогие и долго строящиеся объекты (АЭС, ГЭС) окупаются дольше всего, но зато служат десятилетиями, обеспечивая низкую цену. А относительно недорогие и быстровозводимые станции (газовые, солнечные) могут окупиться быстро, но их экономика сильно зависит от внешних рыночных условий и государственной поддержки. Этот парадокс объясняет, почему для устойчивой энергосистемы необходимо сочетание разных типов генерации.

Высокая волатильность оптовых цен делает бизнес генерации рискованным. Для защиты используются финансовые инструменты, основанные на стохастическом анализе – математике случайных процессов.

Форварды и фьючерсы – это контракты на поставку энергии по фиксированной цене в будущем. Их стоимость оценивается с помощью сложных моделей (например, модели Шварца), которые рассчитывают вероятности будущих изменений цен.

Опционы – дают право, но не обязанность, купить или продать энергию. Для их оценки применяются методы, подобные модели Блэка-Шоулза, и численные расчеты (метод Монте-Карло), чтобы учесть даже маловероятные, но возможные скачки рынка.

Контракты на разницу (CFD) – стороны рассчитываются деньгами за разницу между рыночной и договорной ценой, не поставляя физическую энергию. Математика здесь заключается в расчете ожидаемой стоимости и волатильности будущих денежных потоков.

Эти инструменты создают параллельный финансовый рынок, где торгуется не энергия, а ценовые риски, связанные с ней.

Точность прогнозов напрямую конвертируется в деньги. Для этого используются:

Прогноз спроса: Классические методы (ARIMA, регрессионный анализ) и современные алгоритмы машинного обучения (градиентный бустинг, нейронные сети LSTM), которые анализируют историю, погоду, день недели и социальную активность.

Прогноз выработки ВИЭ: Комбинация физических моделей прогноза погоды и ML-алгоритмов для корректировки под конкретную площадку солнечной или ветровой станции.

Прогноз цен: Самый сложный элемент. Здесь гибридные модели объединяют фундаментальное анализ (моделирование работы всего рынка), статистику временных рядов и машинное обучение, которое учится на тысячах факторов – от цен на газ до уровня воды в водохранилищах ГЭС.

Эра возобновляемых источников и накопителей породила новые математические задачи.

Оптимизация работы накопителя – типичная проблема динамического программирования. В каждый момент времени система решает: заряжать батарею (когда цена низкая), разряжать (когда цена высокая) или бездействовать. Цель – максимизировать прибыль за весь период, что математически эквивалентно поиску оптимальной траектории в пространстве состояний (заряд, цена, время).

Виртуальные электростанции (ВЭС), агрегирующие множество мелких источников, требуют применения теории игр и методов распределенной оптимизации для координации работы сотен независимых участников.

Прибыль энергокомпании – это не просто выручка минус затраты на топливо. Это результат многофакторного анализа.

Операционная прибыль=Рыночная выручка+Выручка за мощность-Полная себестоимость.

Ключевой показатель для ежедневных решений – маржинальная прибыль в конкретный час: Рыночная цена в этот час-Переменные затраты (в основном топливо). Если эта величина отрицательна, экономически целесообразно остановить генерацию.

Особую роль играет рынок мощности (в России – механизм ДПМ). Это платеж за готовность станции гарантированно выдать мощность в пик. Выручка за мощность=Цена за киловатт мощности*Установленная мощность*Коэффициент готовности. Этот платеж покрывает постоянные издержки и является основой для возврата инвестиций в новые станции.

Строительство станции – проект на миллиарды рублей с окупаемостью 15–25 лет. Чтобы не понести убытки, инвесторы проводят глубокий анализ.

Базовый метод – оценка дисконтированных денежных потоков (DCF). Рассчитывается чистая приведенная стоимость (NPV) проекта:

NPV=Сумма по всем годам (Денежный поток за год/(1+Ставка дисконтирования)^Номер года)-Капитальные затраты.

Проект считается рентабельным, если NPV>0. Денежный поток складывается из выручки от продажи энергии и мощности за вычетом операционных расходов и налогов.

Ставка дисконтирования высока (10-15%) из-за рисков: изменения рыночных правил, роста цен на топливо, технологического устаревания. Анализ проводится в трех сценариях (оптимистичный, базовый, пессимистичный), и даже в пессимистичном сценарии NPV должен быть близок к нулю или положительным.

Стратегии минимизации рисков:

1. Долгосрочные контракты (например, Договор предоставления мощности – ДПМ), фиксирующие часть выручки на 10–15 лет.

2. Оптимальный выбор технологии под локальные ресурсы (газ – в регионах с его добычей, ВИЭ – там, где лучшие ветер и солнце).

3. Когенерация (ТЭЦ), дающая дополнительный доход от продажи тепла.

4. Поэтапное строительство, снижающее риски больших единовременных вложений.

Итак, экономика одного киловатт-часа – это живой организм, управляемый математикой. От оптимизационных алгоритмов, определяющих его мгновенную цену, и стохастических моделей, страхующих от рисков, до нейросетей, предсказывающих его появление, – каждый этап жизни киловатта просчитан. Современные тренды декарбонизации (сокращения выбросов) и децентрализации (перехода к распределенной генерации) делают эту математику еще сложнее, порождая задачи для теорий игр, динамического программирования и блокчейн-смартконтрактов. Понимание этой невидимой математической основы становится ключом к успеху в энергетике будущего, где потребитель превращается в активного участника рынка, а устойчивость системы обеспечивается не гигантскими станциями, а интеллектуальным управлением миллионами маленьких источников.

Литература и источники

1. Кищен Д., Стрбак Г. Основы экономики электроэнергетических систем / пер. с англ. – М.: Техносфера, 2018. – 488 с.
2. Верон Р. Моделирование и прогнозирование цен и нагрузок в электроэнергетике: статистический подход / пер. с англ. – John Wiley & Sons, 2006.
3. Официальный сайт ТНС энерго Ростов-на-Дону (ПАО «ТНС ЭНЕРГО РОСТОВ-НА-ДОНУ»). – URL: https://rostov-main.tns-e.ru/calculations/tariffs/tariff-table/
4. Материалы Администратора торговой системы (АО «АТС»). – URL: https://www.atsenergo.ru/.

Скидело Ольга Сергеевна
Аспирант ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Академия психологии и педагогики,
г. Ростов-на-Дону, Россия
skidelo2012@yandex.ru

Преодоление коммуникативных нарушений у старших школьников с дислексией

Аннотация. Статья посвящена проблеме преодоления коммуникативных нарушений у старших школьников с дислексией. Трудности коммуникативного характера у обучающихся с дислексией препятствуют развитию коммуникативной компетенции и затрудняет социализацию. Это связано с нарушениями чтения и с особенностями устной речи, которые влияют на коммуникацию. Описывается методика исследования развития коммуникативной компетенции. Установлено, что у обучающихся с дислексией недостаточно развита коммуникативная компетенция. Показано, что важную роль в преодолении коммуникативных нарушений у обучающихся с дислексией играет использование в логопедической работе технологии фасилитации, проектной и исследовательской деятельности, изотерапии, театротерапии, мнемотехники, справочной лингвистической литературы.
Ключевые слова: коммуникация, коммуникативное взаимодействие, коммуникативные нарушения, коммуникативная компетенция, дислексия, старшие школьники с дислексией.

Skidelo Olga S.

Overcoming communication disorders in high school students with dyslexia

Abstract. The article is devoted to the problem of overcoming communicative disorders in senior school students with dyslexia. Difficulties of a communicative nature in students with dyslexia impede the development of communicative competence and make socialization difficult. This is due to reading disorders and oral speech features that affect communication. The article describes a research methodology for studying the development of communicative competence. It has been established that students with dyslexia have insufficiently developed communicative competence. It has been shown that the use of facilitation technology, project and research activities, isotherapy, theater therapy, mnemotechnics, and reference linguistic literature in speech therapy plays an important role in overcoming communicative disorders in students with dyslexia.
Key words: communication, communicative interaction, communicative disorders, communicative competence, dyslexia, high school students with dyslexia.

Коммуникативная деятельность является ведущей в подростковом возрасте, так как процесс общения в этом возрастном периоде играет важную роль в развитии самосознания личности [1].