

УДК 621.3

О прогнозировании трендов изменения удельных смешанных нагрузок электропотребителей микрорайонов и городов в условиях недостаточности данных

**канд. техн. наук, доц. Гашо Е.Г.
канд. техн. наук, доц. Гужов С.В.
канд. экон. наук, доц. Кролин А.А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский университет "МЭИ",
г. Москва*

В работе дается краткий анализ современных методов анализа, подтверждения и прогнозирования удельных смешанных нагрузок электропотребителей микрорайонов и городов и формулируются основные проблемы, стоящие перед реорганизацией отрасли с учётом требований цифровизации экономики. С целью выявления преимуществ и недостатков различных решений по оптимизации составления энергобалансов строится математическая модель, позволяющая анализировать потребность микрорайонов и городов в электрической энергии и осуществлять прогноз развития городских энергосистем в различных социально-экономических и природно-климатических условия.

Благодарности:

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 16-19-10568.

1. Состояние задачи прогнозирования нагрузок смешанных потребителей электроэнергии в России

Планирование режимных параметров и технико-экономических показателей является одним из важнейших задач промышленного и коммунального комплексов Российской Федерации. Необходимость точного прогнозирования обусловлена как технологическими, так и экономическими причинами. Точный расчёт обеспечивает оптимальные с технической точки зрения надёжность и резерв мощности системы. В экономическом аспекте корректный прогноз позволяет потребителям целесообразнее планировать закупку энергоресурсов с учётом изменений тарифной политики, климатических и метеорологических факторов, технологических, социальных и иных особенностей.

Снижение производительных издержек и удельной энергоёмкости на 40% к 2020 году, а также повышение энергетической эффектив-

ности промышленными и коммунальными системами являются одними из основных задач, поставленных перед энергетической отраслью и зафиксированных в Указе Президента РФ от 4 июня 2008 г. N 889 "О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики" и требованиях к отраслевым, региональным программам энерго- и ресурсосбережения.

Решение актуальной для электроэнергетики задачи составления прогнозных балансов ТЭР основывается на использовании полной и достоверной информации о процессах в оборудовании и энергосистеме в целом. Ввиду известной специфики энергосистем, основным способом получения такой информации является математическое моделирование [1]. Доминирующее сегодня сугубо численное моделирование и различные программно-вычислительные комплексы его реализации далеко не всегда обеспечивают необходимую полноту и достоверность указанной информации [2]. В связи с этим неизбежно возникает необходимость применять весьма существенные упрощения и ограничения, что приводит к снижению точности прогноза [3].

Целью работы является разработка методов, алгоритмов и программных средств анализа и планирования балансов энергоресурсов, потребляемых промышленными и коммунальными системами в условиях недостаточности данных.

Практическая ценность при проведении промышленных экспериментов и обследований ряда предприятий энергоёмких отраслей промышленности состоит в реализации государственной задачи 40%-го снижения энергоёмкости ВВП к 2020 г. по сравнению с 2007 г. и определении приоритетов использования подходов к цифровизации энергетической отрасли экономики и снижению затрат на составление энергобалансов посредством автоматизации процедуры прогнозирования объёмов потребления топливно-энергетических ресурсов промышленных и коммунальных потребителей в условиях недостаточности данных.

2. Пример составления прогнозной функции электропотребления г. Анадырь

Для анализа выбрана система электроснабжения г. Анадырь, получающая электрическую энергию от двух источников. Отличительной особенностью энергосистемы является её изолированность от единой энергосистемы страны. Не вполне точное соответствие объёмов

поставленной в сеть и потребленной электрической энергией свидетельствует о факте отсутствия системы АСТУЭ. Согласно данным за 2017 год, погрешность от ручного сбора данных об электропотреблении составляет 4,1%. Для последующего анализа применим математический аппарат анализа статистических данных в условиях их недостаточности и частичной недостоверности.

На основании почасовых данных за 2017 год проведён анализ суммарного электропотребления г. Анадыр, включая ЖКХ, уличное освещение, дорожную инфраструктуру, предприятия [4] и пр.. Регрессионный анализ проводился на основании определения корреляции относительно 7 факторов:

1. T – температура воздуха на высоте 2 метра над поверхностью земли, °C;
2. P_0 – атмосферное давление на уровне станции, мм.рт.ст.;
3. U – относительная влажность на высоте 2 метра над поверхностью земли, %;
4. DD – угол направления ветра на высоте 10-12 метров над земной поверхностью, осредненное за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения, м/с;
5. FF – скорость ветра на высоте 10-12 метров над земной поверхностью, осредненная за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения, м/с;
6. N – общая облачность, %;
7. Π – продолжительность светового дня, мин.

Использование регрессионного анализа с $R^2 = 0,8448$ позволило описать следующую зависимость электропотребления города:

$$W = 2923,2 - 53,1 \cdot T + 3,4 \cdot P_0 + 2,6 \cdot U - 0,4 \cdot DD + 21,8 \cdot FF + 267,9 \cdot N + 1,4 \cdot \Pi \quad (3)$$

Использование полиномиального определения с $R^2 = 0.8669$ позволило выявить аналогичную зависимость (рис. 1):

$$W = -5E-06x^4 + 0,0041x^3 - 0,9798x^2 + 62,434x + 5321,7 \quad (4)$$

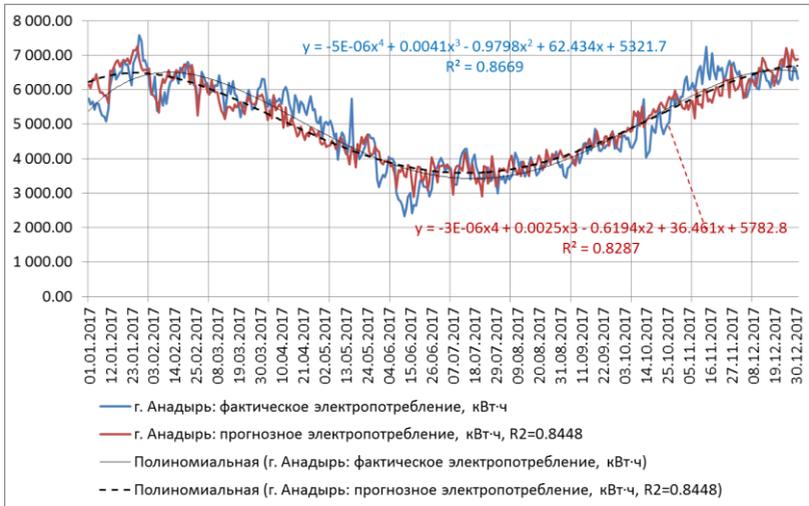


Рисунок 1. Анализ потребления электроэнергии г. Анадырь

Несмотря на достаточно высокий коэффициент корреляции соответствия полинома фактическим значениям, использование подобного подхода для прогнозирования электропотребления невозможно, в силу отсутствия учёта ряда влияющих факторов [5].

На основании полученных данных в табл. 1 проанализирована значимость воздействия климатических факторов.

Таблица 1
Значимость воздействия климатических факторов на электропотребления г. Анадырь

| T, °C | P0, мм.рт.ст. | U, % | DD | FF, м/с | N, % | П, мин. |
|-------|---------------|------|------|---------|-------|---------|
| 15.1% | 1.0% | 0.8% | 0.1% | 6.2% | 76.3% | 0.4% |

3. Анализ трендов изменения удельных смешанных нагрузок электропотребителей микрорайона Москвы и административного центра Анадырь

Суммарная площадь жилья г. Анадырь [6] составляет 335,8 тыс.кв.м. Жилой фонд города насчитывает 157 домов [6] и в сумме 5405 квартир. Численность населения составляет 15604 чел. Суммарное

электропотребление города составляет 1 849 332.41 кВт·ч в год. Для сравнения взяты данные электропотребления 12 жилыми зданиями района Люблино г. Москвы. Суммарная площадь жилья составляет 111 394.00 кв.м. и насчитывает 1935 квартир. Численность населения - 5347 чел. Суммарное электропотребление составляет 387 339.59 кВт·ч в год с учётом того, что в данной цифре не учтены иные электропотребители района кроме электропотребления жилыми зданиями. С точки зрения действующей нормативной документации [7] по проектированию вновь сооружаемых и реконструируемых электрических сетей городов, районов и микрорайонов существуют утверждённые удельные значения энергопотребления. Нормативные и аналогичные им рассчитанные значения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нормативные удельные значения потребляемой электрической энергии г. Анадьрь и микрорайона Люблино г. Москвы

| | | г.Анадьрь | микрорайон г. Москва |
|------------------------|---|--|--|
| кВт / 1 м ² | Фактическое удельное значение, включая все нагрузки, кВт / 1 м ² | 0,628 | 0,3969 |
| | Удельное значение по РД 34.20.185-94, кВт / 1 м ² | 0,093 | 0,109 |
| кВт / 1 чел. | Фактическое удельное значение, кВт/чел. | 0,34586 | 0,29196 |
| | Удельное значение по РД 34.20.185-94, кВт/чел. | 0,528 (допустим диапазон 0,396 – 0,528) | ~0,27 (допустим диапазон 0,24-0,32) |
| кВт / 1 кв. | Фактическое удельное значение, кВт/ квартира | 0,34215 | 0,80677 |
| | Удельное значение по РД 34.20.185-94, кВт/ квартира | 0,620125 | 0,620125 |

Приведенные показатели учитывают нагрузки: жилых домов, общественных зданий (административных, учебных, научных, лечебных, торговых, зрелищных, спортивных), коммунальных предприятий, наружного освещения, электротранспорта (без метрополитена), систем водоснабжения и канализации, систем теплоснабжения. К центральным районам города относятся

сложившиеся районы со значительным сосредоточием различных административных учреждений, учебных, научных, проектных организаций, предприятий торговли, общественного питания, зрелищных предприятий и др. В силу несопоставимых условий не производится анализ удельного потребления электроэнергии на 1 м², т.к. в данных г. Анадырь учтены все нагрузки города, а в нормативных удельных показателях приведены значения, учитывающие только нагрузку жилых домов.

Проведённый прогноз трендов изменения удельных смешанных нагрузок электропотребителей микрорайонов и городов в условиях недостаточности данных показывает, что по параметру «удельное электропотребление на человека» (рис. 2) жилой фонд г. Анадырь обладает потенциалом роста в 52,6%. При этом микрорайон г. Москвы демонстрирует превышение удельного электропотребления на 8,1%.

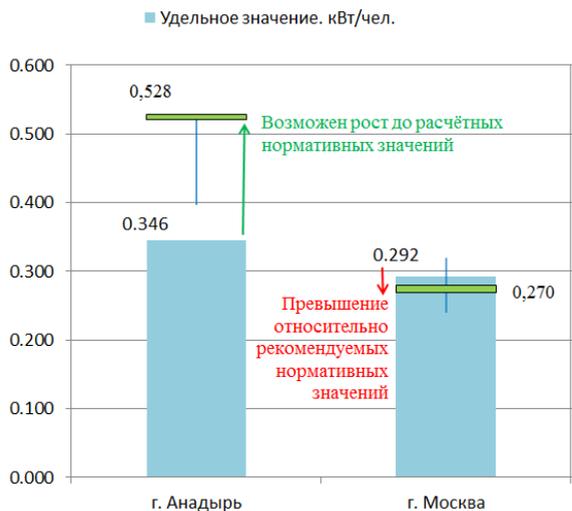


Рисунок 2. Результаты анализа удельного электропотребления на человека.

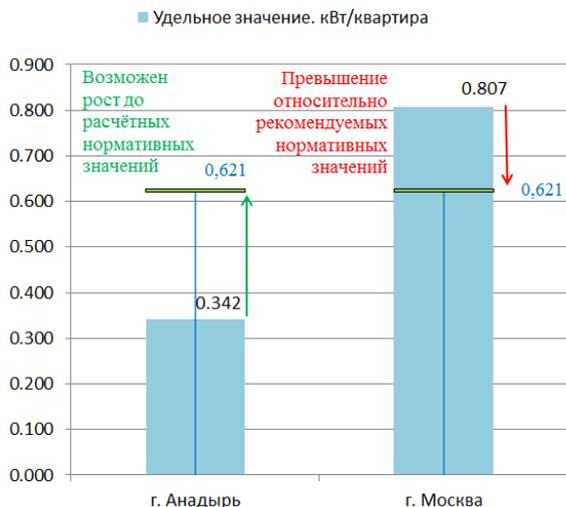


Рисунок 3. Результаты анализа удельного электропотребления на квартиру

По параметру «удельное электропотребление на квартиру» (рис. 3) жилой фонд г. Анадырь обладает потенциалом роста в 81,5%. Разница между уровнями электропотребления на квартиру для сходных согласно норматвам жилому фонду административного центра г. Анадырь и микрорайону г. Москвы составляет 136%. При этом микрорайон г. Москвы демонстрирует превышение удельного электропотребления 29,9%.

Выводы по работе:

1. Для решения задач прогнозирования объёмов электропотребления смешанных нагрузок микрорайонов и городов в условиях недостаточности данных применим подход использования регрессионных моделей.

2. Приведена оценка влияния качества жизни населения на уровень электропотребления жилищными хозяйствами. Различия величин фактического удельного электропотребления для г. Анадырь и г. Москвы составляет 136%.

3. Показано несоответствие значений удельных величин электропотребления в РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию

городских электрических сетей» и фактических уровней удельного электропотребления. Приведённый способ может использоваться для актуализации устаревших удельных значений.

4. Предложенный подход может быть использован для прогнозирования потребностей в энергоресурсах с учётом факторов старения зданий и сетей, увеличения комфортности и нагрузок, реновации, урбанизации пригородов и пр.

Библиографический список

1. **Багблейтер О.И.** Разработка математических моделей и методов для оценки влияния участников системы электроснабжения на качество электроэнергии. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. – Иркутск, 2006. – 150с.

2. **Хоменко Т.В.** Методы и модели принятия решений на этапе поискового проектирования технических систем: автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.13.01 / Хоменко Татьяна Владимировна; [Место защиты: Астрахан. гос. техн. ун-т]. - Астрахань, 2016. - 31 с.

3. **Гусынина Ю.С.** Моделирование управления производственными системами с учетом случайности состояния формирующих параметров : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.10, 05.13.18 / Гусынина Юлия Сергеевна; [Место защиты: Пенз. гос. ун-т]. - Пенза, 2010. - 145 с. : ил.

4. **Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М.** Энергетический анализ хозяйственной деятельности. – Екат-г, 2011 г. – 178 с.

5. **Валеев, С.Г.** Система поиска оптимальных регрессий / С.Г. Валеев, Г.Р. Кадырова. – Казань: ФЭН, 2003. – 160 с.

6. Постановление Администрации Городского Округа Анадырь от 28 декабря 2015 года N 716 "Об утверждении муниципальной программы городского округа Анадырь» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/440587098>

7. Статистика по годам постройки домов в Анадыре [Электронный ресурс]. URL: <http://dom.mingkh.ru/chukotskiy-ao/anadyr/year-stats>

8. РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4995/index.htm>