

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПРЕДСКАЗЫВАЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

*Шокодько Ф.А.¹, Глазырин А.С.^{2,4}, Ковалев В.З.^{2,4}, Филипас А.А.², Боловин Е.В.^{2,3},
Архипова О. В.⁴, Беляускене Е.А.², Кулеш Ю.О.²*

¹Томский политехнический университет, ИШИТР, студент гр. 8Т02, e-mail: fas6@tpu.ru

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

³ООО ИНТ АО «ЭлеСи», Россия, 634021, г. Томск, ул. Алтайская, 161А

⁴Югорский государственный университет, Россия, 628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16.

Аннотация

Показана проблематика восстановления на основе дискретных замеров тренда полезного сигнала на выходе измерительных каналов нестационарных динамических систем на фоне аддитивных помех. Разработано математическое и программно-алгоритмическое обеспечение прогнозной модели. На основе математического моделирования и обработки данных с регионально обособленных электротехнических комплексов (РОЭТК) доказана возможность обеспечения достаточной точности краткосрочного прогноза потребления электрической энергии.

Ключевые слова: метод наименьших квадратов, адаптивное прогнозирование, ретроспективный регрессионный анализ, метод Качмажа, анализ регрессионных остатков.

Введение

Построение краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии является очень важным аспектом в работе промышленных предприятий в развивающихся регионах Арктической зоны и Крайнего Севера. В рамках данной работы рассматривается РОЭТК как нестационарная сложная многосвязная динамическая система [1], состоящая из взаимосвязанных подсистем, в которой происходящие физические процессы оказывают синергетическое влияние на отклик всей системы. В качестве этого отклика выступает мгновенное значение энергопотребления в РОЭТК. РОЭТК как сложная техническая система требует количественного прогноза потребления электрической энергии при оптимальном управлении на протяжении жизненного цикла. Предлагаемое математическое и программно-алгоритмическое обеспечение, позволит решать в реальном времени основные типы задач прогнозирования потребления электрической энергии.

Цель: исследование влияние процесса редукции СЛАУ на интегральную погрешность прогнозной модели в предположении, что низкочастотные моды несут большой вклад в формировании итоговой точности прогноза.

Ход работы

Настоящий метод адаптивного краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии регионально обособленных комплексов (РОЭТК) производится аналитическим подходом на базе ретроспективного регрессионного анализа цифрового сигнала. Предлагаемый цифровой массив можно записать как таблично-заданные математические функции [2]. Аналитическое описание таких массивов в виде приближения (аппроксимации) функции решает задачи для параметрической идентификации, диагностики состояния и прогнозирования.

Полученные данные представляются в виде дискретного сигнала полученного в определенных последовательных выборочных значениях-отсчетах в соответствующие промежутки времени. Отсчеты имеют равные промежутки времени или шаги, дискретизации Δt [3, 7].

Следует отметить, что в работе рассматривается сложная динамическая нестационарная система, в которой преобразование исходного аналогового сигнала отклика (РОЭТК) сопряжено с дискретизацией по времени и квантованием по уровню. Поэтому, как следствие, информация о полезном исходном сигнале была искажена [4].

Разработанный подход к адаптивному краткосрочному прогнозированию потребления электроэнергии основан на ретроспективном регрессионном анализе с учетом экспертной оценки размерности прогнозирующей модели [5]. Исследование проводилось для прогнозирования в офлайн режиме.

Учет априорной информации имеет при прогнозировании стохастического процесса следующий вид (рис. 1), где длительность эксперимента (6 суток) в размере 8640 минут (точек), период дискретизации $\Delta t = 1$ минута:

1. Базовая (начальная) часть ретроспективного процесса (первые сутки).
2. Самонастройка модели (вторые сутки).
3. Участок анализа прогнозов (третьи сутки).

Внешний вид экспериментальных данных – откликов РОЭТК $P_{\text{экс}}$, с учетом получения информации с интервалом в одну минуту, представлен на рисунке 1.

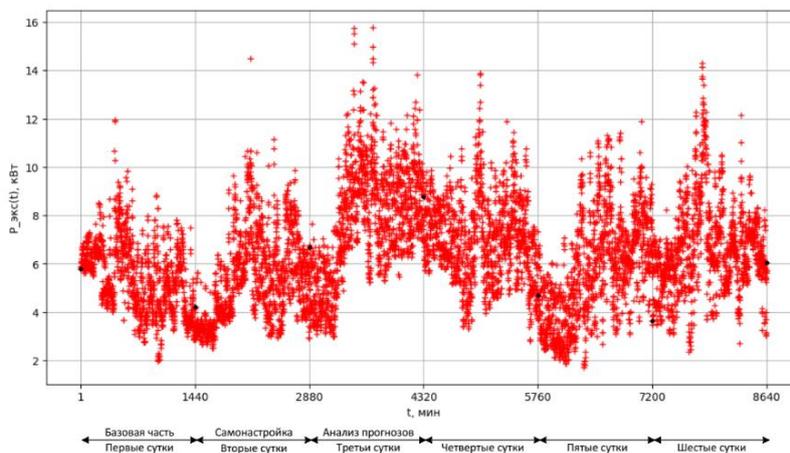


Рис. 1. Экспериментальные данные электропотребления $P_{\text{экс}}(t)$ тестового малого северного поселения, получаемые на протяжении шести суток

Важным фактором при построении процедуры адаптивного краткосрочного прогнозирования энергопотребления на основе ретроспективного регрессионного анализа является рационализация совмещения процессов идентификации коэффициентов при базисных функциях и перестраиваемости математической модели нестационарного дискретного стохастического процесса на каждом шаге [6]. Были проведены восемь экспериментов с постепенным увеличением более высокочастотных мод по результатам каждого вычислительного эксперимента, т.е. в первом эксперименте $n_{\text{макс}} = 1$, в восьмом эксперименте $n_{\text{макс}} = 8$.

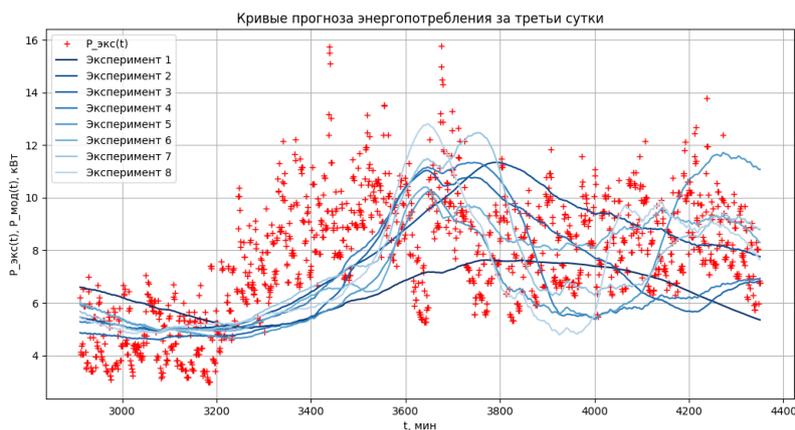


Рис. 2. Данные, полученные от объекта, – отклики РОЭТК $P_{\text{экс}}(t)$, и кривые прогноза энергопотребления $P_{\text{мод}}(t)$ по восьми вычислительным экспериментам на участке анализа прогнозов (третьи сутки, рис. 1)

Из рисунке 2 видно, что характер тренда кривых прогноза энергопотребления по результатам прогнозирования восьми вычислительных экспериментов практически совпадает с характером тренда экспериментальных данных – откликов РОЭТК (рис. 1) за третьи сутки, что подтверждает адекватность

принятых положений при формировании априорной информации для реализации подхода к краткосрочному прогнозированию стохастического процесса на основе ретроспективного регрессионного анализа.

Была сформированная таблица результатов восьми экспериментов, где с допустимой точностью была оценена по интегральному критерию [8] точность прогноза и анализ регрессионных остатков в рамках численного подтверждения визуального анализа (таблица 1) [6].

Таблица 1

Зависимость рассчитанной погрешности по интегральному критерию δ_p и математическому ожиданию $M(P_{\text{мод}}(t))$ от максимального числа задействованных высокочастотных мод $n_{\text{макс}}$

Критерии анализа	Результаты восьми вычислительных экспериментов							
	$n_{\text{макс}} = 1$	$n_{\text{макс}} = 2$	$n_{\text{макс}} = 3$	$n_{\text{макс}} = 4$	$n_{\text{макс}} = 5$	$n_{\text{макс}} = 6$	$n_{\text{макс}} = 7$	$n_{\text{макс}} = 8$
$M(P_{\text{мод}}(t)),$ кВт	1,272	-0,109	0,694	0,742	0,749	0,259	0,238	0,489
$\delta_p, \%$	26,572	22,108	24,805	26,114	27,142	20,733	23,079	24,093

Заключение

Предложен подход адаптивного краткосрочного прогнозирования потребления электроэнергии автономными энергосистемами малых северных поселений на основе методов регрессионного анализа. В соответствии с результатами экспериментов (Таблица 1) было подтверждено влияние процесса редукции СЛАН на интегральный показатель прогнозной модели, т.е. при использовании максимального числа мод $n_{\text{макс}} = 2$, интегральная погрешность составляет 22,108 %, при $n_{\text{макс}} = 8$, погрешность составляет 24,093 %. Было выделено два локальных минимума при $n_{\text{макс}} = 2$ и $n_{\text{макс}} = 6$, следовательно возникает задача поиска глобального минимума по интегральному критерию δ_p .

Список использованных источников

1. Artificial Intelligence techniques for electrical load forecasting in smart and connected communities / V. Alagbe, S.I. Popoola, A.A. Atayero et al. // Lecture Notes in Computer Science. – 2019. – V. 11623 LNCS. – P. 219–230.
2. Multi-sensor measurement fusion based on minimum mixture error entropy with non-Gaussian measurement noise / M. Li, Zh. Jing, H. Zhu, Y. Song // Digital Signal Processing. – 2022. – V. 123. – P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2021.103377> (дата обращения: 10.02.2024).
3. ГОСТ 17657-72. Передача данных. Термины и определения. – М.: Государственный комитет СССР. – 1979. – 25 с.
4. Куксенко С.П., Газизов Т.Р. Итерационные методы решения системы линейных алгебраических уравнений с плотной матрицей. – Томск: Томский государственный университет, 2007. – 208 с.
5. Сергеев В.Л. Непараметрический метод учета априорной информации при идентификации стохастических систем: дис. д-ра техн. наук. – Томск, 2000. – 267 с.
6. Адаптивное краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии автономными энергосистемами малых северных поселений на основе методов ретроспективного регрессионного анализа / А.С. Глазырин, Е.В. Боловин, О.В. Архипова, В.З. Ковалев, Р.Н. Хамитов, С.Н. Кладиев, А.А. Филипас, В.В. Тимошкин, В.А. Копырин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 4. – С.231-248.
7. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. – М., 1933. – С. 1-19.
8. Винокуров В.А. Интегральные оценки погрешности. IV / В.А.Винокуров // Журнал вычислительной математики и математической физики. – № 3. – С.549-566.