

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ В МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ ГОРОДА

О.В. Стукач, Е.А. Карапиш

*Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", г.
Москва, Россия
E-mail: karapishkat@gmail.com*

Рассматривается построение модели здания в виде линейной дискретной стохастической системы с неизвестными параметрами. Для поиска параметров представлен алгоритм на основе метода наименьших квадратов с возможностью контроля точности. Примеры работы алгоритма приведены на основе реальных данных теплоснабжения зданий города Томска и внешней среднесуточной температуры. Показана возможность применения модели здания для разных периодов времени, а также пригодность модели для разных классов жилых зданий.

Ключевые слова: идентификация системы; потребление тепла; поиск параметров; жилое здание; энергоэффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос эффективного потребления тепла жилыми зданиями поднимается в научных работах с целью оптимизации расхода энергии [1, 2]. В ходе исследований по анализу данных теплоснабжения зданий было выявлено, что различные характеристики домов, например, материал стен и год постройки, в меньшей степени влияют на эффективность потребления тепла зданиями, в отличие от возможности регулировать его подачу [3].

В качестве объекта управления в работе создается модель в виде линейной дискретной стохастической системы на основе данных потребления тепла, взятых с общедомовых приборов учёта в городе Томске и среднесуточной температуры по данным гидрометцентра [4].

Для поиска параметров модели в качестве базового алгоритма использован метод наименьших квадратов с возможностью задания размерности системы. Однако метод не учитывает возможность оценки точности и ограничения на используемые данные [5], что при построении регулирования не может гарантировать оптимальный расход ресурсов. Поэтому в базовый алгоритм внесены изменения с добавлением критерия останова для учета наблюдений на основе среднеквадратичной точности и добавлен выбор размерности модели на основе минимизации средней ошибки регулирования.

АЛГОРИТМ ПОИСКА ПАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Рассматриваемая модель здания имеет n уравнений, каждый из которых описывает потребление тепла за один день, учитывая предыдущие данные. Далее x_{k-1} – количество тепла за предыдущие k дней, u_{k-1} – среднее значение температуры, ε_k – ошибка регулирования.

$$x_k = a_1(k)x_{k-1} + \dots + a_p(k)x_{k-q} + b_1(k)u_{k-1} + \dots + b_q(k)u_{k-q} + \varepsilon_k, k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Построение базового алгоритма идентификации основано на применении к системе дифференциальных уравнений метода наименьших квадратов в матричном виде с модификациями, проведенными для конкретной модели, описанной выше.

Вектор параметров модели определяется по формуле

$$\hat{\theta}_n = (B^T B)^{-1} (B^T X), \quad (2)$$

где B – матрица коэффициентов при искомым параметрах, X – вектор реальных значений теплопотребления.

Полученный алгоритм в реализации требует ручного задания количества уравнений в системе n и количества дней k . Такой подход не дает однозначного описания процесса потребления тепла одним зданием.

Измененный алгоритм предлагает автоматическое определение количества берущихся в расчет дней за счет указания желаемой точности и максимальных значений n и k . Значение h – величина определяющая точность, ее обратное значение $1/h$ является ограничением для момента останова $\tau(h)$ на основе информационной матрицы $(B^T B)$

$$\tau(h) = \inf \{n \geq n_0 : ||(B^T B)^{-2}||^{1/2} \leq h^{-1} \}. \quad (3)$$

Для полученного значения $n = \tau(h)$ определяется значение k . Для каждого k составляется модель, описанная выше, и определяются значения неизвестных параметров. Значение, при котором средняя по модулю ошибка регулирования является минимальной, выбирается как оптимальное.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА

Для отдельного дома с УСПД 13 (устройство сбора и передачи данных) при применении базового алгоритма можно исследовать построенные модели при задании различных значений n и k для заданной точности.

На рис. 1а и б показаны графики, для построения которых бралось слишком малое и слишком большое количество данных теплоучета соответственно. На рис. 1в показан пример с автоматическим выбором оптимальных значений n и k при заданных максимальных $n_{\max}$, $k_{\max}$.

Видно, что неверно выбранные значения n , k приводят к потере точности. Наоборот, усовершенствованный алгоритм достаточно точно прогнозирует теплопотребление на основе имеющихся данных, а также убивает необходимость ручного подбора параметров системы.

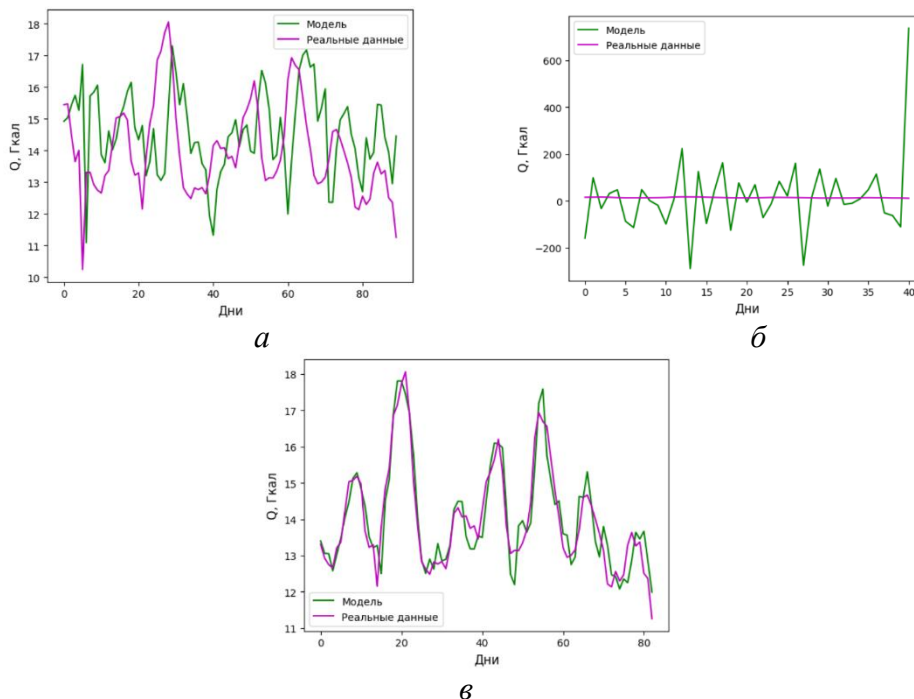


Рис. 1. Реальные данные теплопотребления здания с УСПД 13 и графики для модели с различными n , k : $n = 4$, $k = 1$ – (*а*); $n = 90$, $k = 50$ – (*б*); $n_{\max} = 90$, $k_{\max} = 50$, $n = 50$, $k = 8$ – (*в*)

Подобранную модель можно также распространить на другой интервал времени для выбранного здания. На рис. 2, в отличие от предыдущего, берется следующий отопительный период.

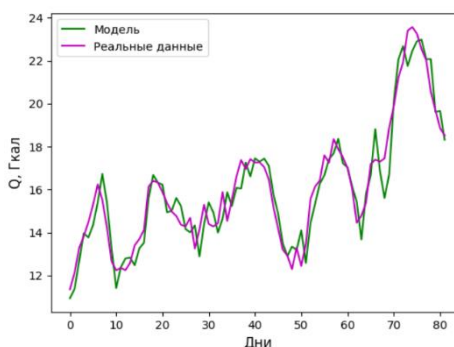


Рис. 2. Реальные данные теплопотребления здания с УСПД 13 и модельные результаты на следующий отопительный период

Но подобная модель не является универсальной для любого здания. Например, при попытке описать, вышеприведенной моделью, процесс

теплопотребления для здания с УСПД 45 получается приближенное повторение поведения системы (рис. 3а), в отличие от использования модели, полученной на основе реальных данных этого здания (рис. 3б).

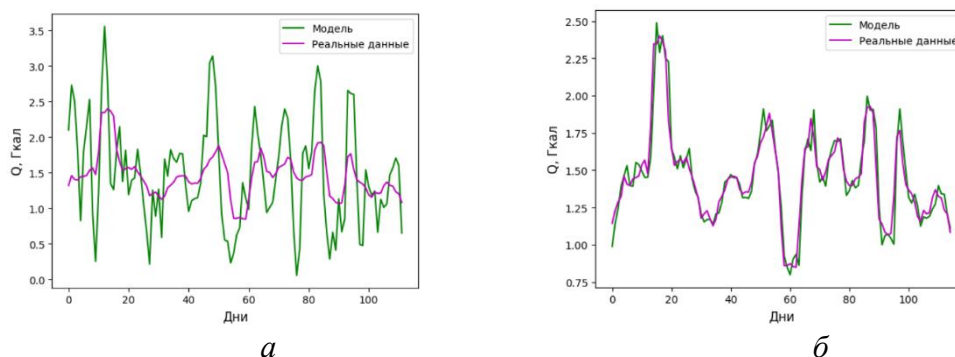


Рис. 3. Реальные данные теплопотребления здания с УСПД 45 и модель для здания: с УСПД 13 – (а), с УСПД 45 – (б)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный алгоритм построения модели здания и поиска параметров на основе реальных данных теплопотребления позволяет достаточно точно описывать изменение количества потребляемой энергии. Результаты работы могут быть использованы для построения модели регулятора, где в качестве объекта регулирования может быть здание, представленное подобной моделью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Агаев Н. Б. Использование нечеткой прогностической модели в оперативно-диспетчерском анализе работы систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2020. № 9. С. 107–112.
2. Хафизов Р. Н. Моделирование функционирования системы централизованного теплоснабжения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2007. №2 (20).
3. Стукач О. В., Зорин П. А. Дисперсионный анализ данных коммерческого учёта тепловой энергии в жилом фонде города Томска // Наука. Технологии. Инновации: Сборник научных трудов. В 9-и частях, Новосибирск, 2019. С. 72-75.
4. Stukach O., Zorin P. Long-Term Data from the Heat Meters in Residential Buildings Depending on the Outside Temperature and Characteristics of Buildings // IEEE Data-port. 2021. DOI: 10.21227/cw53-rr81.
5. Кашковский Д.В., Конев В.В. Последовательная идентификация линейной динамической системы со случайными параметрами // Автоматика и телемеханика. – 2008. Вып. 8. С. 82–95.