

# УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

УДК 681.3

С.В. Иносов

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев*

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

*Проведена статистическая идентификация системы централизованного теплоснабжения на базе автоматизированной отопительной котельной. Выявлено, что в течение отопительного сезона тепловая мощность находится в убывающей линейной зависимости от температуры наружного воздуха, сглаженной тепловой инерционностью системы. Тепловая инерционность системы удовлетворительно моделируется алгоритмом экспоненциального сглаживания. Такой алгоритм управления складывается стихийно, как интегрированный результат взаимодействия многочисленных систем ручного и автоматического регулирования температуры, как по отклонению, так и по возмущению, как локально в зданиях, так и централизованно.*

**Ключевые слова:** статистическая идентификация, централизованное отопление, автоматизированные системы управления

### Постановка проблемы

Свыше 70% тепловой нагрузки больших городов покрывается централизованными теплоисточниками. До 65% вырабатываемой тепловой энергии расходуется в холодное время года на поддержание необходимых тепловых условий в зданиях массовой застройки. Основной задачей управления централизованным теплоснабжением является регулирование подачи тепловой энергии в зависимости от основного климатического фактора – температуры наружного воздуха. То есть реализуется принцип регулирования по возмущению (по разомкнутой схеме). Отсутствие обратных связей частично компенсируется учетом температуры обратной воды, возвращающейся от потребителей тепловой энергии. Тем не менее, задача обеспечения высококачественного регулирования в сетях теплоснабжения представляет собой сложную проблему. Недостаточно качественное регулирование отопления зданий влечет за собой перерасход электроэнергии на цели обогрева.

### Анализ последних исследований и публикаций

Известно, что методами статистической идентификации можно создавать модели систем распределенного управления теплоснабжением жилых территорий, интегрально учитывающие тепловые инерционности и особенности регулирования многочисленных зданий [1].

### Цель исследования

Получение модели для последующего исследования эффективности системы

автоматического регулирования централизованного теплоснабжения.

### Изложение основного материала

В предлагаемой работе проведена статистическая идентификация системы централизованного теплоснабжения на базе автоматизированной отопительной котельной с целью последующего анализа энергетической эффективности системы. Возмущением является температура наружного воздуха, реакцией – текущая тепловая мощность котельной. Выявлено, что в течение отопительного сезона тепловая мощность находится в убывающей линейной зависимости от температуры наружного воздуха, сглаженной тепловой инерционностью системы (а не непосредственно). Тепловая инерционность системы удовлетворительно моделируется алгоритмом экспоненциального сглаживания.

Такой алгоритм управления складывается стихийно, как интегрированный результат взаимодействия многочисленных систем ручного и автоматического регулирования температуры, как по отклонению, так и по возмущению, как локально в зданиях, так и централизованно.

Структура модели и схема идентификации ее параметров приведена на рис. 1. Модель системы включает два блока, моделирующие инерционные свойства системы теплоснабжения и ее регулировочные характеристики.

Идентификация параметров системы централизованного теплоснабжения проведена путем сравнения реакции компьютерной модели системы на известный график изменения

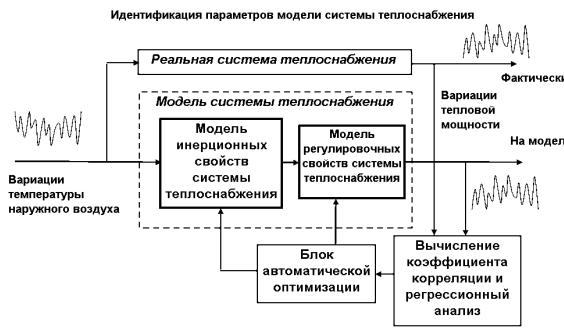


Рис. 1. Схема идентификации параметров модели

температуры наружного воздуха с реакцией реальной теплотрассы в течение отопительного сезона. Идентификация сведена к решению двух независимых оптимизационных задач:

а) максимизация по модулю коэффициента корреляции между вариациями тепловой мощности и сглаженной температуры воздуха за счет подбора инерционных свойств модели системы

б) определение параметров линейной регулировочной характеристики модели с помощью регрессионного анализа. Использованы исходные данные за один отопительный сезон на автоматизированной отопительной котельной теплопроизводительностью 35 Гкал/сутки в г.Киеве.

В качестве модели тепловой инерционности системы теплоснабжения используется алгоритм экспоненциального сглаживания. Он является дискретным аналогом аperiodического звена. Наиболее экономично этот алгоритм реализуется по рекуррентной схеме с обратной связью (рис. 2), которой соответствует рекуррентное разностное уравнение (выходной результат вновь используется на следующем такте) и передаточная функция со знаменателем.

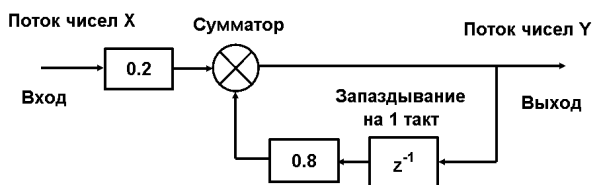


Рис. 2. Модель тепловой инерционности системы – алгоритм экспоненциального сглаживания

Моделирование производится в дискретном времени, так как имеющиеся исходные данные квантованы с периодом 1 сутки. Входной поток чисел  $X$  – это среднесуточные значения температуры наружного воздуха. Выходной поток чисел  $Y$  – это среднесуточные значения температуры, сглаженной тепловой инерционностью. Блок  $z^{-1}$  реализует запаздывание на один такт. Для усилительных блоков указаны численные значения коэффициентов усиления,

полученные в результате идентификации. Обратная связь в структурной схеме означает рекуррентность алгоритма (значение выхода добавляется к входу на следующем такте с коэффициентом 0.8).

Соответствующее расчетное разностное уравнение

$$Y_n = 0.8 \cdot Y_{n-1} + 0.2 \cdot X_n,$$

где  $X_n, Y_n$  – значения входа и выхода для текущего такта с номером  $n$ ,  $Y_{n-1}$  – значение выхода на предыдущем такте.

Дискретная передаточная функция, связывающая вход и выход:

$$W(z^{-1}) = \frac{0.2}{1 - 0.8 \cdot z^{-1}} = \frac{0.2 \cdot z}{z - 0.8}.$$

Статический коэффициент передачи алгоритма равен единице. Численной мерой инерционности является параметр экспоненциального сглаживания, равный 0.8 (по результатам идентификации). Он определяет скорость затухания экспоненциального свободного переходного процесса за один такт. Постоянная времени экспоненты составляет  $1/\text{LN}(0.8) = 4.6$  суток. Этот параметр интегрально учитывает тепловую инерционность зданий, системы трубопроводов и теплоносителя, а также инерционность управления.

На рис.3 представлена статическая регулировочная характеристика модели. В течение отопительного сезона тепловая мощность находится в убывающей линейной зависимости от температуры наружного воздуха, сглаженной тепловой инерционностью системы (а не непосредственно).

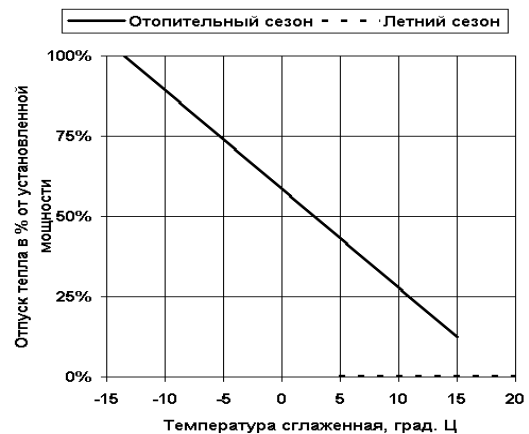


Рис. 3. Статическая регулировочная характеристика

Идентификация параметров объекта сведена к решению двух независимых оптимизационных задач:

а) максимизация по модулю коэффициента корреляции между вариациями тепловой мощности и сглаженной температуры воздуха за счет подбора инерционных свойств модели системы;

б) определение параметров линейной регулировочной характеристики модели с помощью регрессионного анализа.

На рис.4 представлена корреляционная диаграмма сглаженной температуры, полученной на модели, и реальной тепловой мощности. Минимизация (максимизация по модулю) коэффициента корреляции (между тепловой мощностью и сглаженной температурой) позволила идентифицировать постоянную времени тепловой инерционности системы (4.6 суток). Повышение порядка передаточной функции выше первого не оправдывается дальнейшим улучшением коэффициента корреляции, что подтверждает правильность выбора модели тепловой инерционности в виде алгоритма экспоненциального сглаживания первого порядка.

Регрессионный анализ позволил установить численные параметры линейной статической регулировочной характеристики (рис. 4).

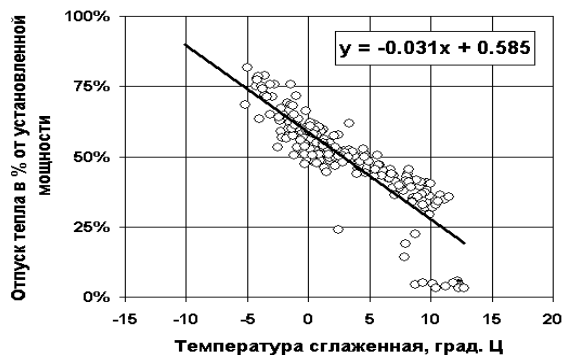


Рис. 4. Корреляционная диаграмма сглаженной температуры и тепловой мощности

Тепловая инерционность системы достаточно сильно сглаживает погодные вариации температуры, чтобы оправдать необходимость ее учета в модели, но недостаточно для полного сглаживания погодных вариаций (рис. 5).

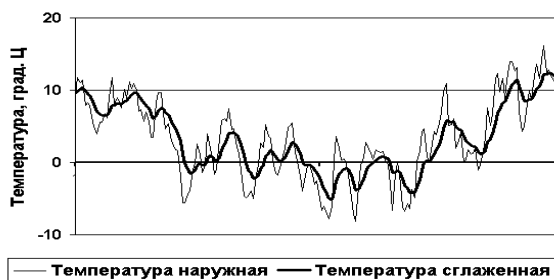


Рис. 5. Осциллограммы наружной температуры и температуры, сглаженной тепловой инерционности.

Похолодания и потепления зеркально отражаются на графике тепловой мощности, но

только, если учитывать эффект сглаживания погодных вариаций температуры тепловой инерционностью системы (рис.6). Это подтверждает правильность принятой модели тепловой инерционности.

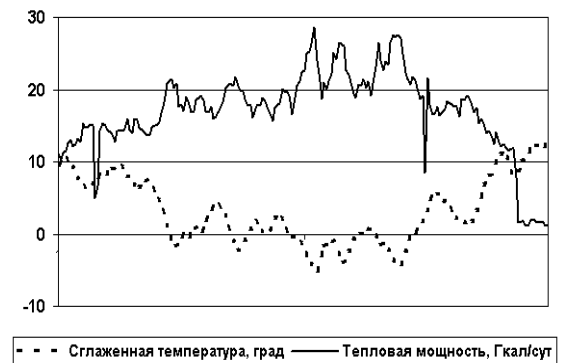


Рис. 6. Осциллограммы сглаженной температуры и тепловой мощности

## Выводы

1. Во время отопительного сезона тепловая мощность находится в линейной убывающей зависимости от температуры наружного воздуха, сглаженной тепловой инерционностью системы
2. Адекватной моделью тепловой инерционности системы является алгоритм экспоненциального сглаживания (дискретный аналог апериодического звена) с постоянной времени 4.6 суток. Этот параметр интегрально учитывает тепловую инерционность зданий, системы трубопроводов и теплоносителя, а также инерционность управления.
3. Такой алгоритм управления складывается стихийно, как интегрированный результат взаимодействия многочисленных систем ручного и автоматического регулирования температуры, как по отклонению, так и по возмущению; как локально в зданиях, так и централизованно.

## Список литературы

1. Иносов С.В., Идентификация системы стихийного электро-отопления в районной электросети. Праці міжнародної науково-технічної конференції „Сучасна автоматизація: проблеми і перспективи”, «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну»,/ С.В.Иносов. – 2008, - с. 541.

Статья поступила в редколлегию: 20.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.И. Мазуренко, Заведующий научным отделом Института электродинамики НАН Украины, Киев.