

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.М. Прохоренков, Н.М. Качала (Мурманск)

В настоящее время вопросам внедрения ресурсосберегающих технологий в России уделяется значительное внимание. Особенно остро этот вопрос стоит в районах Крайнего Севера. Снижение затрат на выработку отпускаемой потребителям тепловой энергии возможно только за счет внедрения новых технологий, оборудования, технических средств управления, а также методов оптимизации режимов функционирования.

Климатическая зона, в которой расположен город Мурманск, характеризуется резким изменением температуры, направления и скорости ветра даже в течение суток (рис. 1). Следует также отметить специфику местности. Находящиеся в различных точках холмистого ландшафта города строения приобретают индивидуальные характеристики – как по солнечной радиации, так и по ветровой нагрузке. Как следствие, однотипные здания имеют разные характеристики по потреблению тепловой энергии.

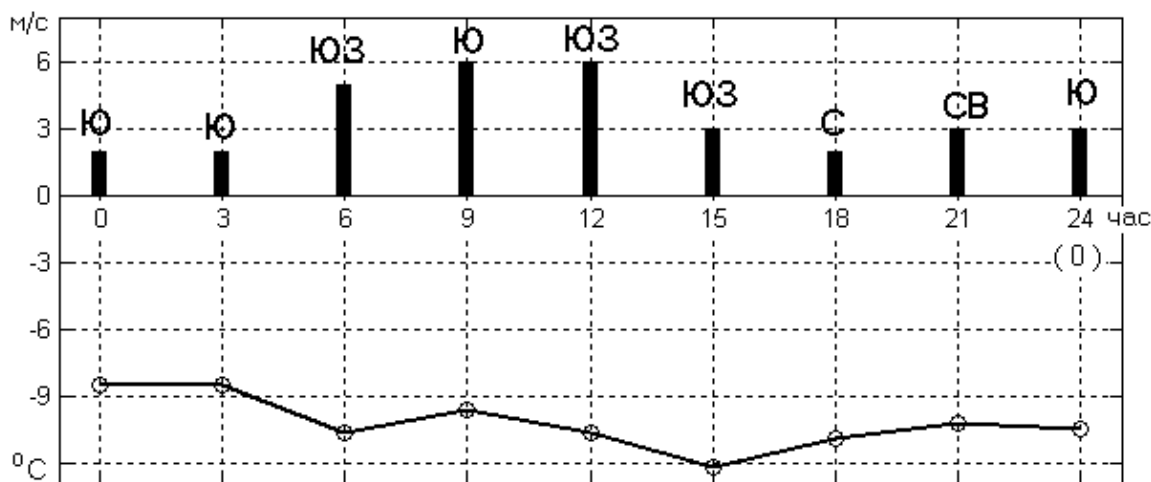


Рис. 1. Изменение направления, скорости ветра и температуры в г. Мурманске 22.01

Основные задачи систем управления теплоснабжением объектов коммунальной энергетики сводятся к следующим двум:

- надежное снабжение потребителя необходимым количеством тепловой энергии с определенными качественными показателями;
- минимизация затрат на выработку и передачу тепловой энергии.

Решение первой задачи осуществляется с помощью увязки графиков подачи с графиками использования теплоты (нагрузки) посредством системы теплообменных аппаратов. Из опыта эксплуатации систем теплоснабжения известно, что на практике не удастся обеспечить полного выполнения отопительного графика. Это объясняется рядом причин, в том числе, случайным характером потребления горячей воды пользователями.

Исследования характера процессов, протекающих в системах теплоснабжения, показали, что процессы изменения давления можно считать стационарными. Тогда как процессы изменения температуры являются или нестационарными по математическому ожиданию (например, изменение прямой и обратной температур котельной и квартальной воды), или нестационарными по дисперсии – температура воды на горячее водоснабжение.

Вторая задача решается при помощи планирования изменения нагрузки и снижения потерь при передаче тепловой энергии. В отличие от существующей системы управления с центральными тепловыми пунктами (ЦТП), являющейся неэффективной с точки зрения оптимального энергопотребления, предлагается управление теплоснабжением микрорайона с учетом характеристик потребителей энергии и реализацией управления теплоснабжением потребителей на уровне домов с помощью индивидуальных тепловых пунктов (ИТП). С целью определения стратегии управления выполнено моделирование совместной работы источника теплоснабжения, участков передачи тепловой энергии ЦТП и потребителей с учетом дней недели и времени максимального отбора, ветровых режимов и температур внешнего воздуха. Рассматривается трехуровневая координирующая система, в которой осуществляется передача вариантов работы потребителей тепловой энергии на уровне ИТП и ЦТП. На основании полученных вариантов центр формирует программу управления теплоснабжением, оптимальную с точки зрения всей системы.

В традиционном подходе главными элементами процесса принятия решений является множество альтернатив, множество ограничений и функция предпочтительности. В противовес традиционному подходу, в работе предлагается реализация советующих систем с нечеткой логикой в классе «ситуация – стратегия управления – действие» [1, 2]. Нечеткая логика используется для формализации нечетких понятий, определяющих нагрузку котельной и режимы работы промежуточных ступеней управления при централизованном теплоснабжении [3]. Описание, принятых в модели лингвистических переменных, представлено в табл. 1.

Обозначение	Название	Область значений	Термы
$\tau_{\text{сез}}$	Сезон	от 1 января до 31 декабря	«лето», «осень», «зима», «весна»
$\tau_{\text{мес}}$	Месяц	от января до декабря	«январь», «февраль», «март», «апрель», «май», «июнь», «июль», «август», «сентябрь», «октябрь», «ноябрь», «декабрь»
$\tau_{\text{нед}}$	День недели	рабочий или выходной	«рабочий», «выходной»
$\tau_{\text{сут}}$	Время суток	от 00:00 до 24:00	«ночь», «утро», «день», «вечер»
$T_{\text{н.в}}$	Температура наружного воздуха	от $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+32\text{ }^{\circ}\text{C}$	«ниже», «-32», «-28», «-24», «-20», «-16», «-12», «-8», «-4», «0», «4», «8», «12», «16», «20», «24», «28», «32», «выше»
$v_{\text{в}}$	Скорость ветра	от 0 до 20 м/с	«0», «5», «10», «15», «выше»

Таблица 1. Лингвистические переменные, определяющие нагрузку котельной

Для проверки работоспособности нечеткого подхода, который предлагается для оценки ситуации формирования заданий на управление тепловой станцией, разработана модель блока оценки ситуации в среде Matlab – Simulink, представленная на рис. 2. В зависимости от сезона, времени суток, дня недели, а также характеристик наружной среды, блоком оценки ситуаций осуществляется расчёт необходимой производительности источников тепловой энергии.

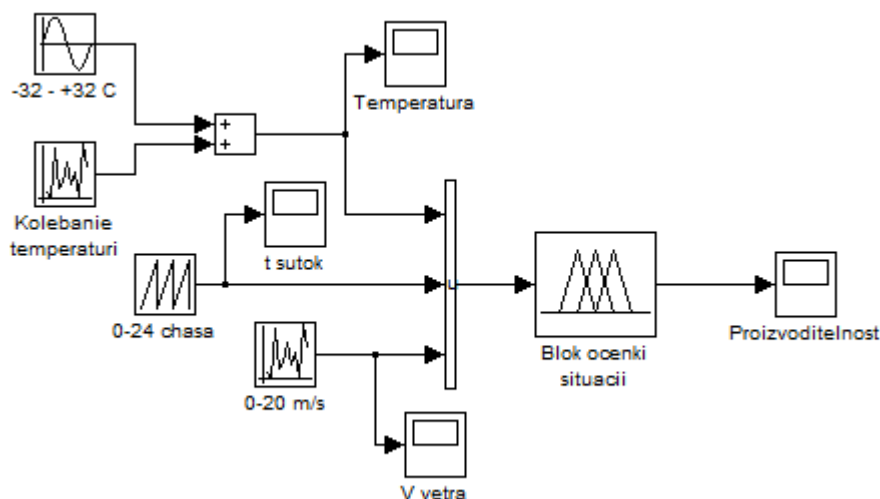


Рис. 2. Модель блока оценки ситуации

С помощью разработанной полномасштабной модели теплообменного аппарата в пакете Matlab была реализована схема движения теплоносителя от ЦТП к ИТП. Структура разработанной системы предусматривает подачу в ИТП теплоносителя с учётом заданного графика температуры в помещении. Схема, с помощью которой производилось моделирование, представлена на рис. 3. Задатчик в контуре регулирования внутренней температуры ( $T_{ВН}$ ) устанавливает график изменения её в течение дня с учётом соблюдения комфортных условий во время нахождения людей в отапливаемом помещении и экономии тепловой энергии, когда в помещении никого нет. Регулятор, осуществляющий управление заслонкой, реализован на базе нечёткой логики. Разработан набор правил, который описывает управляющее воздействие  $U$ .

Модель объекта, формализованная в виде правил, имеет вид (при прочих постоянных условиях):

- если уменьшить подачу теплоносителя, то  $T_{ВН}$  будет убывать;
- если увеличить подачу теплоносителя, то  $T_{ВН}$  будет возрастать.

Регулирование  $T_{ВН}$  осуществляется с помощью контроллера нечеткой логики.

На основании экспериментальных данных и экспертных оценок принято решение, что значения лингвистической переменной «Абсолютное значение температуры  $T_{ВН}(t)$ » в момент времени  $t$  определяется набором термов: «высокая», «нормальная», «низкая». Функции принадлежности  $\mu(T_{ВН})$  нечетким множествам определяются линейными уравнениями вида  $y=kx+b$ . Процесс фазификации состоит в

определении соответствия между измеренными значениями  $T_{ВН}(t)$  и нечеткими множествами  $\mu(T_{ВН})$ .

Лингвистическая переменная «Управление  $U(t)$ » задается набором значений: «открыть», «закрыть», «сохранить положение».

Процесс нечеткого вывода заключается в определении соответствующих нечетких множеств для  $U(t)$  при известных  $\mu(T_{ВН})$ .

Алгоритм управления формализуется в виде правил:

- если  $T_{ВН}$  – «низкая», то  $U$  – «открыть»;
- если  $T_{ВН}$  – «нормальная», то  $U$  – «сохранить положение»;
- если  $T_{ВН}$  – «высокая», то  $U$  – «закрыть».

Набор правил составляет базу правил контроллера.

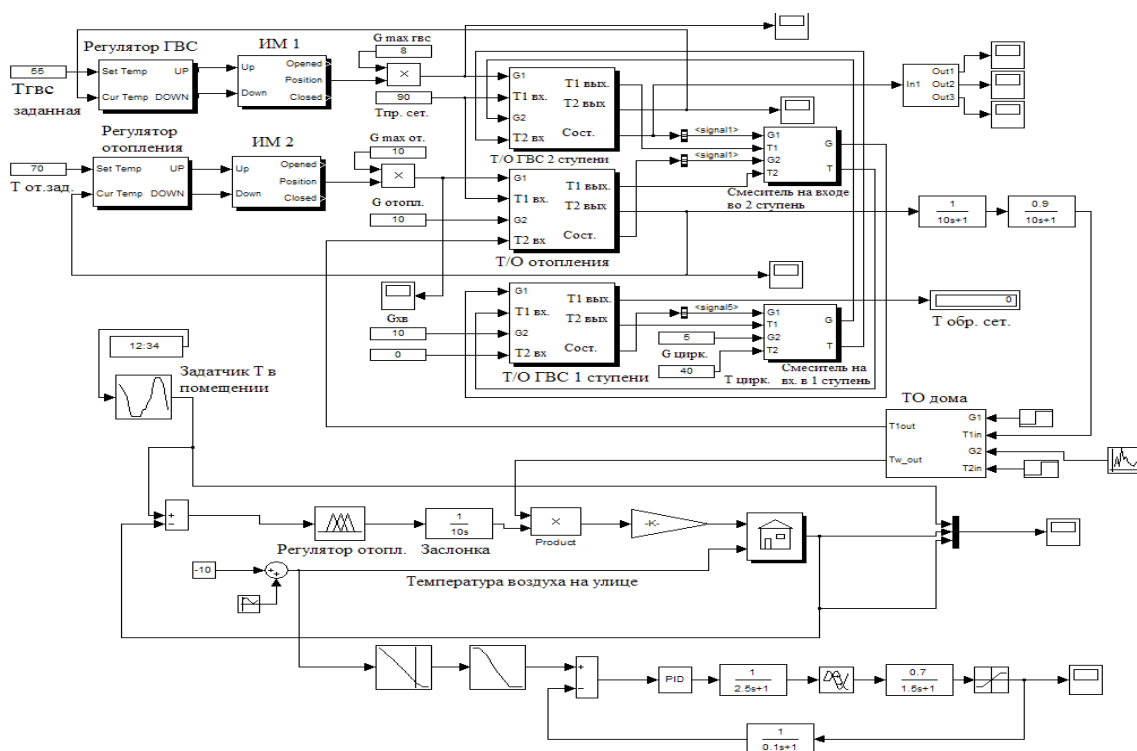


Рис. 3. Схема моделирования ЦТП и ИТП

Результаты моделирования работы нечёткого регулятора в контуре регулирования внутренней температуры представлены на рис. 4. Анализ графиков свидетельствует, что регулятор на базе нечёткой логики справляется с поставленной задачей. Максимальное несоответствие установленной и фактической температуры не превышает  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

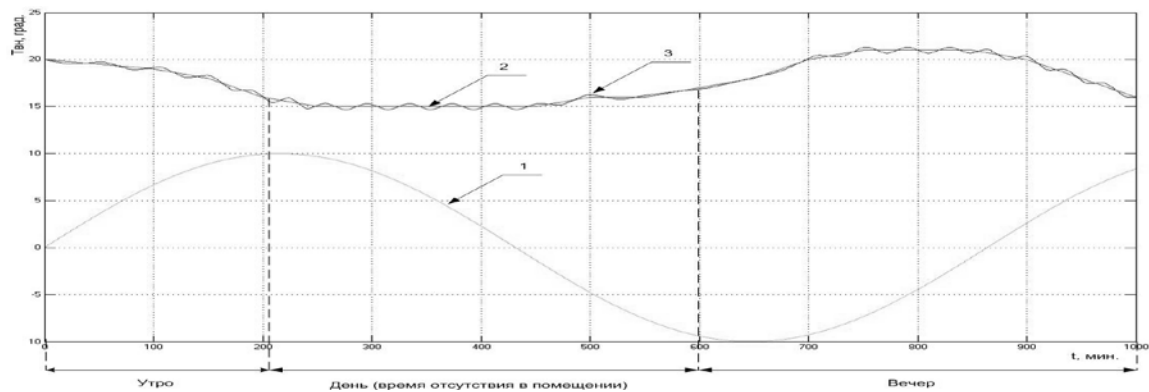


Рис. 4. Графики изменения температуры:  
1 – температура наружная (окружающая среда жилой зоны), 2 – график задания температуры  $T_{вн}$ , 3 – фактическая внутренняя температура

Кривые переходных процессов, характеризующие изменение регулируемой величины при формировании нового значения задающего воздействия для различных моделируемых структур регуляторов, представлены на рис. 5. Качество работы САУ с нечёткими структурами регуляторов выше по сравнению с использованием других структур регуляторов.

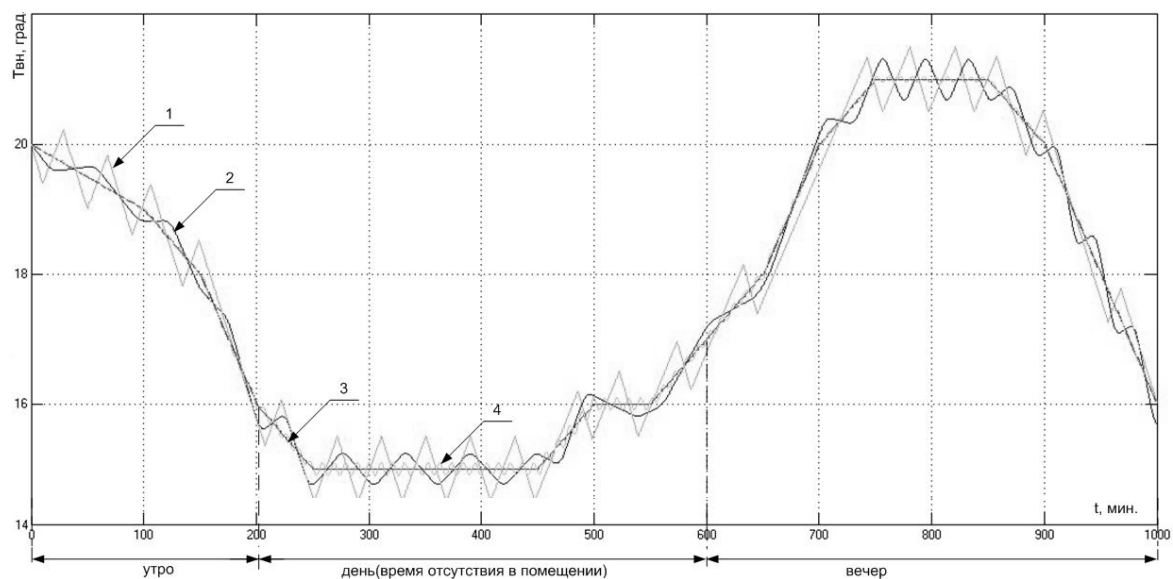


Рис. 5. График изменения температуры в помещении согласно заданному температурному режиму при различных структурах регуляторов: 1 – двухпозиционный регулятор, 2 – нечёткий регулятор, 3 – график изменения заданной температуры, 4 – нечёткий ПИД-регулятор

Полученные результаты моделирования и экспериментальные данные по формированию заданий и их реализации на источниках тепловой энергии и потребителях показали следующее:

- появляется возможность отказа от эксплуатации неэффективных котлов и организации режимов работы котлов тепловых станций в базовом и регулировочном режимах;

– использование индивидуальных тепловых пунктов в контурах систем теплоснабжения домов с реализацией в них управления в классе «ситуация – стратегия-действие» и применением методов нечёткого управления позволяют весьма эффективно поддерживать в жилых помещениях заданный температурный режим.

### Литература

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
2. Прохоренков А.М. Реконструкция отопительных котельных на базе информационно-управляющих комплексов. // Наука производству – 2000. – № 2. – С. 51–54.
3. Прохоренков, А.М. Методы построения автоматизированной системы распределенного управления теплоснабжением города // Научно-технические ведомости СПбГПУ (Серия "Наука и образование"). – 2010. – № 1(95). – С. 233–244.