

УДК 621:389: 519.71

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ КОММУНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ МЕТОДАМИ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Прохоренков А.М., Качала Н.М.

*ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»,
Мурманск, e-mail: prohorenkovam@mstu.edu.ru*

Рассматриваются вопросы решения задач создания теплоснабжающих систем с параллельной работой источников тепла на общую тепловую сеть города и на общий график тепловой нагрузки. В работе приведены результаты исследования характера процессов, протекающих в тепловых сетях. Они показали, что процессы изменения давления можно считать стационарными, а изменения температуры являются или нестационарными по математическому ожиданию, или нестационарными по дисперсии. В работе определены факторы, оказывающие существенное влияние на нагрузку котельных, и задачи системы управления теплоснабжением для обеспечения потребителей необходимым количеством тепловой энергии, при возможно минимальных затратах на выработку и передачу этой энергии. Для решения задач снижения потерь при передаче тепловой энергии в тепловых сетях в работе предлагается осуществлять функции оценки планируемой нагрузки и формирования задания на выработку тепловой энергии тепловыми станциями, используя методы ситуационного управления на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: управление теплоснабжением, тепловые сети, тепловые станции, ситуационное управление, нечёткая логика

OPTIMIZATION OF OPERATION REGIMES IN HEAT SUPPLY SYSTEMS OF MUNICIPAL POWER OBJECTS BY SITUATIONAL CONTROL METHODS

Prokhorenkov A.M., Kachala N.M.

Murmansk state technical university, Murmansk, e-mail: prohorenkovam@mstu.edu.ru

Design of heat supply systems with parallel operation of heat sources for general thermal network of a city and total diagram of thermal load is considered. Research results for types of processes in thermal networks are presented. They showed that processes of pressure changes can be considered as stationary ones while temperature changes are non-stationary by mathematical expectation or dispersion. Factors influencing significantly on loads of boilers and problems of heat supply control systems for providing consumers by needed heat power quantity under possibly minimal expenses on production and transmission of this power are determined. Estimation of planned loads and formation of a task for heat power production using fuzzy logic-based methods of situational control is suggested to do in order to decrease losses under heat power transmission via thermal networks is suggested to be done.

Keywords: heat supply control, thermal circuit, situational control, fuzzy logic

В настоящее время вопросам внедрения ресурсосберегающих технологий в России уделяется значительное внимание. Особенно остро этот вопрос стоит в районах Крайнего Севера. В качестве топлива для городских котельных используется мазут, который доставляется железнодорожным транспортом из центральных регионов России, что существенно повышает стоимость вырабатываемой тепловой энергии. Продолжительность отопительного сезона, особенно в условиях Заполярья, на 2–2,5 месяца длиннее по сравнению с продолжительностью в центральных районах страны, что связано с климатическими условиями 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, позволяющих обеспечить экономическую эффективность работы систем теплоснабжения.

Постановка задачи

В настоящее время одной из важных задач в области теплофикации городов является создание теплоснабжающих систем с параллельной работой источников тепла на общие сети [6]. Это связано с тем, что большая часть тепловых станций работает на свои локальные сети. Случайный характер отбора тепловой энергии потребителями пара и горячей воды приводит к сложным в динамическом отношении переходным процессам во всех элементах теплоэнергетической системы. Поэтому одной из актуальных проблем на сегодняшний день является задача объединения этих локальных сетей тепловых станций (ТС) и управление потоками тепловой энергии с учетом гидравлических характеристик как самих тепловых сетей, так и потребителей энергии.

Для определения оптимальной загрузки ТС необходимо знать энергетические характеристики их парогенераторов и котельной

в целом, которые представляют собой зависимость между количеством подводимого топлива и получаемой теплоты. Алгоритм определения этих характеристик включает следующие этапы:

1. Определяют тепловую производительность Q_1 котлов для различных нагрузочных режимов их работы.

2. Определяют потери теплоты ΔQ с учётом КПД котлов и их полезной нагрузки.

3. Определяются нагрузочные характеристики котлоагрегатов в диапазоне от минимально допустимых до максимальных.

4. Зная изменение суммарных потерь теплоты в паровых котлах, определяют их энергетические характеристики, отражающие часовой расход условного топлива, по формуле

$$B = 0,0342 \cdot (Q_1 + \Delta Q).$$

5. Используя энергетические характеристики котлов, получаем энергетические характеристики котельных (ТС), знание которых позволяет формировать управляющие решения последовательности и очередности загрузки котельных в течение отопительного периода, а также в летний сезон.

Создание теплоснабжающих систем с параллельной работой источников тепла на общую тепловую сеть города и на общий график тепловой нагрузки позволяет решать проблемы экономии топлива от теплофикации, осуществлять эксплуатацию котлов в режимах с оптимальными КПД [5]. Рассмотренный выше подход позволяет создавать необходимый, научно обоснованный резерв мощности ТС.

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

– надежное снабжение потребителей необходимым количеством тепловой энергии с определенными качественными показателями.

– минимизация затрат на выработку и передачу этой тепловой энергии.

Первая задача осуществляется с помощью увязки графиков подачи с графиками использования теплоты (нагрузки) посредством системы теплообменных аппаратов.

Вторая – посредством соответствия тепловой нагрузки потребителей ее выработке, то есть при помощи планирования изменения нагрузки и снижения потерь при передаче тепловой энергии. Обеспечение увязки графиков подачи и использования теплоты должно осуществляться за счет применения локальной автоматики на промежуточных ступенях от ТС до потребителей тепловой энергии.

Для решения второй задачи в данной работе предлагается осуществлять функции оценки планируемой нагрузки и формирования задания на выработку тепловой энергии ТС, используя методы ситуационного управления на базе нечеткой логики.

Решение задачи нечеткой оптимизации методами ситуационного управления

Основным фактором, оказывающими существенное влияние на тепловую нагрузку котельных, является тепловая нагрузка, используемая на отопление зданий и на горячее водоснабжение [3]. Средний тепловой поток (в ваттах), используемый на отопление зданий, определяется по формуле:

$$Q_{om} = q_0 A (1 + K_1) \cdot \frac{t_1 - t_{om}}{t_1 - t_0}, \quad (1)$$

где t_{om} – средняя температура наружного воздуха за определенный период; t_1 – средняя температура внутреннего воздуха отапливаемого помещения (температура, которую нужно поддерживать на заданном уровне); t_0 – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления; q_0 – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых и общественных зданий в ваттах на 1 м^2 площади здания при температуре t_0 ; A – общая площадь здания; K_1 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий (при отсутствии данных он равен 0,25).

Из формулы (1) видно, что тепловая нагрузка на отопление зданий определяется, в основном, температурой наружного воздуха.

Средний тепловой поток (в ваттах) на горячее водоснабжение зданий определяется из выражения

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_x)}{24 \cdot 3,6} \cdot c, \quad (2)$$

где m – число потребителей; a – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре $+55^\circ\text{C}$ на 1-го человека в сутки в литрах; b – норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре $+55^\circ\text{C}$ (принимается равной 25 литрам в сутки на одного человека); c – теплоемкость воды; t_x – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период (принимается равной $+5^\circ\text{C}$).

Анализ выражения (2) показал, что при расчете средняя тепловая нагрузка на горячее водоснабжение получается постоянной. Реальный же отбор тепловой энергии (в виде горячей воды из крана), в отличие от рассчитанного значения, в общем виде имеет случайный ха-

рактик, это связано с увеличением разбора горячей воды утром и вечером и уменьшением отбора в течение дня и ночи [5].

В системах централизованного теплоснабжения регулирование подачи теплоносителя потребителям осуществляется через центральные тепловые пункты (ЦТП) по температурному графику, отражающему в статике зависимость между температурой наружного воздуха T_n и температурами прямой $T_{кп}$ и обратной $T_{ко}$ сетевой воды. Температурный график сетевой воды для отопительной котельной «Северная» горо-

да Мурманска приведен на рис. 1. Из опыта эксплуатации систем теплоснабжения известно, что на практике не удается обеспечить полного выполнения отопительного графика. Это объясняется рядом причин, в том числе случайным характером потребления горячей воды пользователями. Последняя причина может быть проиллюстрирована, к примеру, графиками изменения давления (рис. 2) и температуры (рис. 3) горячей воды для ЦТП № 1, которые взяты из архива системы диспетчерского контроля и управления ЦТП г. Мурманска.

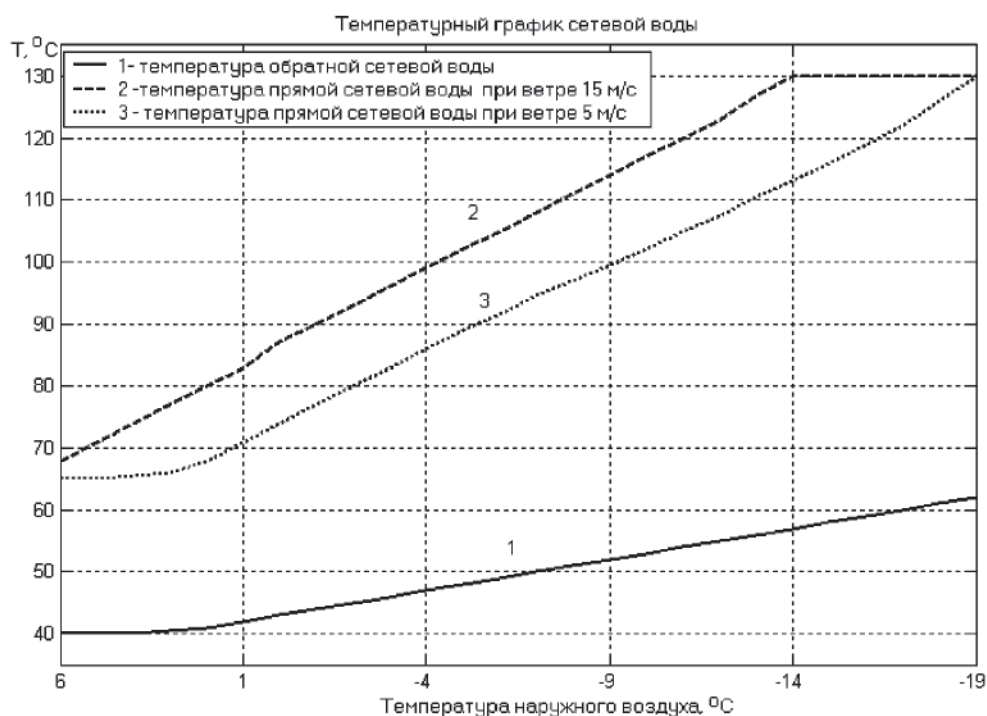


Рис. 1. Температурный график сетевой воды для котельной «Северная»

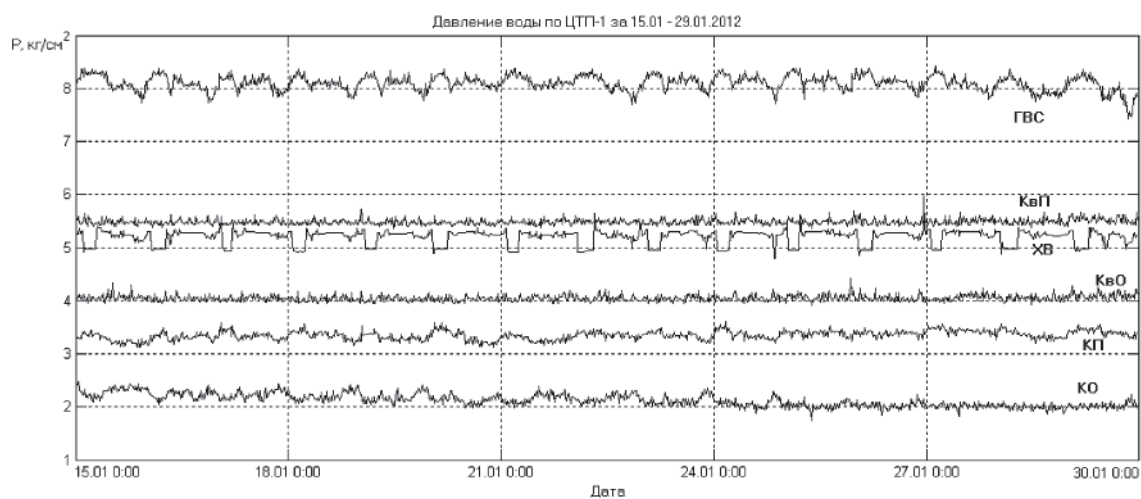


Рис. 2. График изменения давления воды в ЦТП № 1 за период с 15.01 по 29.01.12, где обозначено: ГВС – горячее водоснабжение, КвП – квартальная прямая вода, КвО – квартальная обратная вода, КП – котельная прямая вода, КО – котельная обратная вода, ХВ – холодная вода

Исследования характера процессов, протекающих в системах теплоснабжения, показали, что процессы изменения давления (рис. 2) можно считать стационарными. Тогда как процессы изменения температуры (рис. 3) 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. В этой связи, характер этих процессов должен учитываться при проектировании и эксплуатации систем автоматического управления теплоснабжением [4].

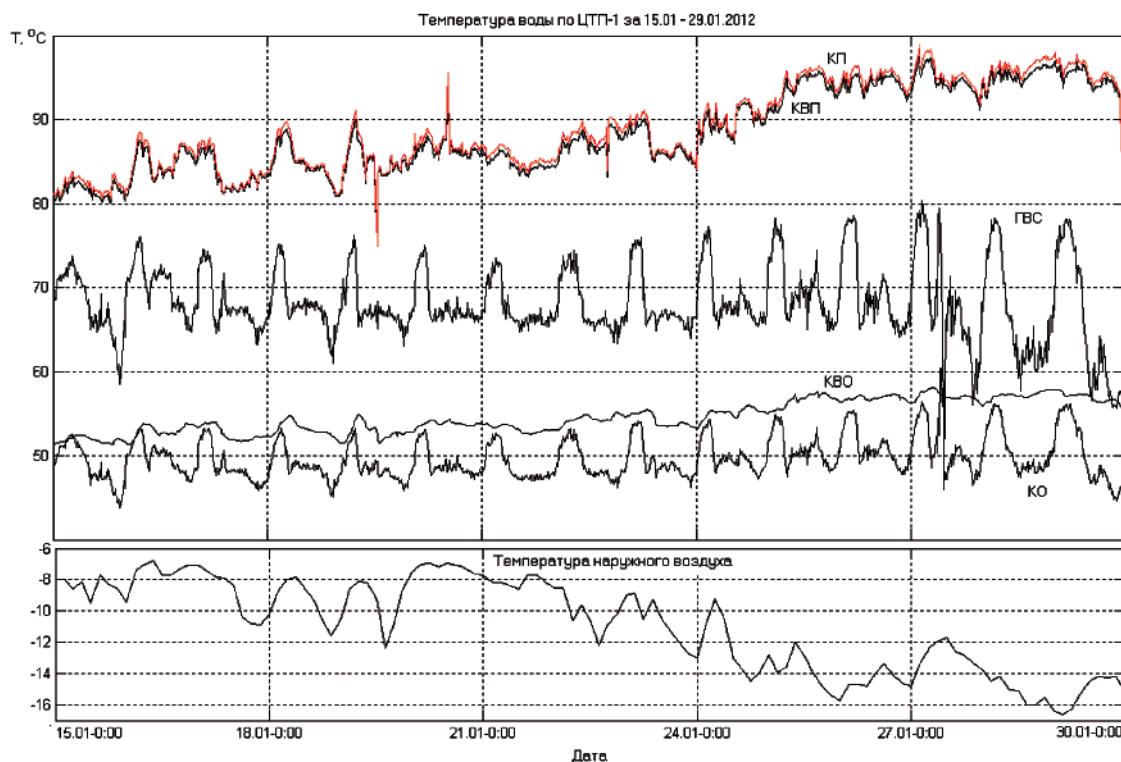


Рис. 3. График изменения температуры воды в ЦТП № 1 за период с 15.01 по 29.01.12

Наиболее значимой причиной невыполнения температурного графика является влияние нагрузки по горячему водоснабжению на температуру обратной сетевой воды [1].

На рис. 4 представлен типичный график изменения температуры $T_{кп}$ прямой и $T_{ко}$ обратной сетевой воды на коллекторе котельной. Температура прямой сетевой воды $T_{кп}$, несмотря на ее зависимость от температуры наружного воздуха, в течение суток изменяется незначительно. Так, например, за 15.01.12 колебания $T_{кп}$ происходят в границах трех градусов, то есть отклонения от среднего значения $T_{кп}$ составляют примерно $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ при расчетном значении по температурному графику 65°C . В то же время диапазон колебаний температуры обратной сетевой воды $T_{ко}$ составляет $8,8^{\circ}\text{C}$ при расчетном диапазоне по температурному графику 28°C , то есть суточные колебания $T_{ко}$ достигают примерно 30 процентов этого диапазона.

Причина таких колебаний температуры обратной сетевой воды кроется в принципах работы существующих систем управления ЦТП г. Мурманска. Известно, что при

отсутствии разбора горячей воды, в таких ЦТП, наблюдается явление «натопа» отапливаемых помещений, в результате чего температура обратной сетевой воды повышается [6]. На графике (рис. 4) хорошо видно, что при отсутствии забора горячей воды в ночное время температура обратной сетевой воды к шести часа утра заметно повышается и постепенно понижается к вечеру (минимум $T_{ко}$ в районе 20–21 часа).

Температурный график (см. рис. 1) является линейной статической моделью системы теплоснабжения и не отражает имеющие в ней место сложные динамические процессы, обусловленные разнородностью потребителей, распределенностью подключений тепловой нагрузки вдоль тепловых сетей, двухступенчатым подогревом горячей воды. Перечисленные причины приводят к запаздыванию реакции температуры обратной сетевой на возмущение по температуре прямой воды, которое может быть выявлено при сравнительном анализе сглаженных часовых данных по температуре прямой и обратной сетевой воды

(рис. 4). Температура прямой сетевой воды $T_{\text{кп}}$ 15.01.12 примерно в 16:00 начала расти. Спустя 8 часов, начала расти температура обратной сетевой воды $T_{\text{ко}}$. Такой же характер реакции $T_{\text{ко}}$ наблюдается и 16 января, время запаздывания здесь несколько иное – чуть больше 9 часов. Разницу во времени

запаздывания можно объяснить различным временем суток. В первом случае – время вечернее, когда наблюдается интенсивный отбор горячей воды и, соответственно, переходные процессы протекают быстрее. Во втором случае – середина рабочего дня и расход воды более стабильный.

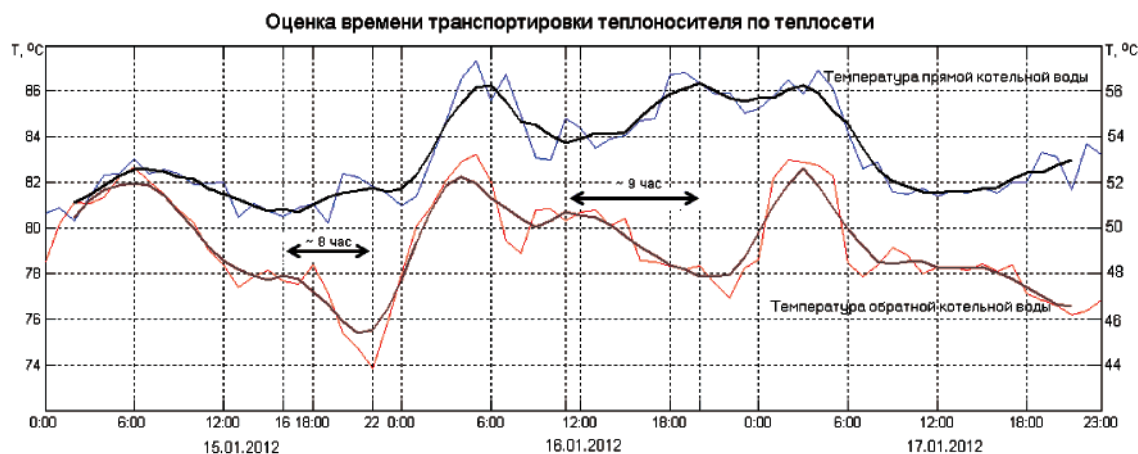


Рис. 4. Оценка времени транспортировки теплоносителя по теплосети

Существующие проблемы увязки графиков подачи и использования теплоты, нестационарный характер изменения метеоусловий и нагрузки потребителя, различные тепловые режимы у потребителей, необходимость упреждающего управления отпуска тепла с учетом метеоусловий при ограничениях на энергоресурсы предопределяют интеллектуализацию систем управления теплоснабжением.

В отличие от существующей практики за основу управления объектами в основных эксплуатационных режимах предлагается использование методов ситуационного управления. Система принятия решений

реализуется на базе советующих систем с нечеткой логикой в классе «ситуация – стратегия управления – действие» [2, 4]. Нечеткая логика используется здесь для формализации нечетких понятий, определяющих нагрузку котельной, режимы работы промежуточных ступеней управления при централизованном теплоснабжении [5]. К таким понятиям относятся нечеткие лингвистические переменные сезон, месяц, день недели, время суток, температура наружного воздуха, скорость ветра. Эти факторы, оказывающие влияние на нагрузку тепловых станций, а следовательно, и на работу тепловых сетей b , представлены в таблице.

Лингвистические переменные, определяющие нагрузку котельной

Обозначение	Название	Область значений (универсальное множество)	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 до $+32$ °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»

Для проверки работоспособности нечеткого подхода для решения задачи оценки ситуации при формировании заданий на управление ТС разработана модель блока оценки ситуации в среде MATLAB – SIMULINK, которая представлена на рис. 5. В зависимости от сезона, времени суток, дня недели, а также характеристик наружной среды, блоком оценки

ситуаций осуществляется расчёт технического состояния, необходимой производительности источников тепловой энергии. Такой подход позволяет решать проблемы экономии топлива от теплофикации, увеличивать степень загрузки основного оборудования, осуществлять эксплуатацию котлов в режимах с оптимальными (наилучшими) значениями КПД [5].

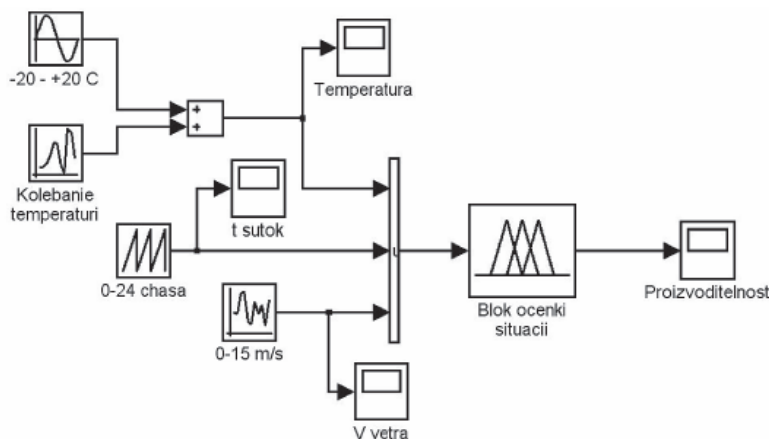


Рис. 5. Модель блока оценки ситуации

Заключение

Полученные результаты моделирования и экспериментальные данные по формированию заданий и их реализации на источниках тепловой энергии и потребителях показали, что параллельная работа ТС на общие тепловые сети имеет ряд экономических и энергетических преимуществ. Повышается надёжность и маневренность теплофикационной системы. Появляется возможность отказаться от эксплуатации неэффективных котлов. Снижается удельный расход топлива за счёт эксплуатации котлов с оптимальными КПД; появляется возможность организации режимов работы котлов ТС в базовом и регулировочном режимах.

Список литературы

1. Громов Н. К. Городские теплофикационные системы. – М.: Энергия, 1974. – 256 с.
2. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: учебник / под ред. Н.Д. Егупова. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
3. Наладка систем централизованного теплоснабжения: справочное пособие / И.М. Сорокин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1979. – 224 с.
4. Прохоренков А.М. Реконструкция отопительных котельных на базе информационно-управляющих комплексов // Наука производству. – 2000. – № 2. – С. 51–54.
5. 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.

6. Теплоснабжение: учебник для вузов / А.А. Ионин [и др.] / под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

References

1. Gromov N.K. *Gorodskie teplofikacionnye sistemy*. Moscow, Jenergija, 1974. 256 p.
2. *Metody robnastnogo, nejro-nechetkogo i adaptivnogo upravlenija: uchebnik / pod red. N.D. Egupova*. 2-oe izd., stereotipnoe. Moscow, Izd-vo MGTU im. N.Э. Bauman, 2002. 744 p.
3. *Naladka sistem centralizovannogo teplosnabzhenija. Spravochnoe posobie*. Sorokin I.M., Kyznetsov A.I., Aleksandrov L.M., Rogov L.A. Moscow, Strojizdat, 1979. 224 p.
4. Prokhorenkov A.M. *Rekonvstruksiya otopitelnykh kotelnykh na baze informacionno-upravlyajusch kompleksov – Nauka proizvodstvu*, 2000. no. 2. pp. 51–54.
5. Prokhorenkov A.M. *Metody postroeniya avtomatizirovannoy sistemy raspredelennogo upravleniya teplosnabzheniem goroda – Nauchno-technicheskie vedomosti SPbGPU – Seriya «Nauka i obrazovanie»*, 2010. no. 1. (95), pp. 233–244.
6. *Teplosnabzhenie: uchebnik dlja vuzov/ Ionin A.A., Hlybov B.M., Bratenkov B.M., Terletsckaja E.H.* / pod red. A.A. Ionina. Moscow, Strojizdat, 1982. 336 p.

Рецензенты:

Совлуков А.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва;

Серета В.И., д.т.н., профессор, проректор по информационным технологиям и дистанционному обучению МГТУ, заведующий кафедрой высшей математики и программного обеспечения ЭВМ, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 23.07.2012.