

М. ИСКАКОВ, А. Н. ТОМИЛОВ*

Карагандинский технический университет

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ АНАЛИЗА СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ СЛОЖНЫХ ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ

На основе системного подхода формализованы цели и функциональные задачи анализа установившегося гидравлического режима как апробированной практикой методологии принятия решений в сфере наладки и перспективного развития сложных теплоснабжающих систем мегаполисов. Использование системного подхода к постановке и совершенствованию задач анализа режима позволило разработать и реализовать прикладную информационную систему с эффективной анализирующей методологией для решения профессиональных задач.

Ключевые слова: *теплоснабжающая система, гидравлический режим, системный анализ, задача анализа, формализация, компьютеризация, информационно-графическая система.*

Введение. В проектировании и эксплуатации теплоснабжающих систем мегаполисов (ТСМ) технологи, руководители (ЛПР – лица, принимающие решение) теплоснабжающих систем постоянно и эффективно используют анализирующую методологию для решения профессиональных задач. Тем более, что при моделировании сложных систем в теплоэнергетике задачи разработки допустимых режимов сводятся к многократному решению задач анализа [1,2], то есть анализирующий стиль мышления ЛПР теплоснабжающих систем стал определяющим не только в профессиональной их деятельности, но и при разработке прикладных информационных систем.

Разработка новых задач анализа и совершенствование методов их решения становится ведущей проблемой методологии сложных систем, в том числе и класса сложных теплоснабжающих систем, какими являются ТСМ [3].

Задачи анализа стационарного (установившегося) режима ТСМ также являются главными задачами диспетчерского управления технологическим процессом системы и процессом эксплуатации её технологического оборудования.

Компьютеризация на современном этапе материально и капиталоемких производств, какой является ТСМ, позволяет использовать системный подход при постановке и совершенствовании методов решения задач анализа установившегося режима ТСМ.

Формализация общей задачи анализа стационарных режимов. Использование системного подхода к постановке и совершенствованию задач анализа режима с помощью прикладных информационных систем требует проведения тщательного исследования и классификации системных понятий и определений, необходимых для формирования и решения проблем в этой области.

Приведенные в таблице 1 содержательные определения получены на основе исследования понятий систематологии, практики разработки и реализации режимов теплоснабжающих систем [4,5].

* E-mail корреспондирующего автора: tom44487@mail.ru

Формирование цифровой структуры сложных теплоэнергетических систем и происходящих в ней процессов с помощью математического моделирования, используемого в системном подходе, невозможно без введения структурных понятий, приведенных в таблице 2.

При формировании структуры системы будем производить декомпозицию системы, то есть разделение ее на подсистемы и задание структурных отношений между ними. На множестве выделенных подсистем выделим два следующих подмножества:

- подмножество внешних подсистем, взаимодействующих со средой и с другими подсистемами;
- подмножество внутренних подсистем, взаимодействующих только с другими подсистемами системы.

Таблица 1 – Словарь системных понятий задачи анализа режимов ТСМ

Системное понятие	Содержательное определение системного понятия задачи анализа установившегося режима ТСМ
1	2
Состояние ТСМ	Совокупность значений существенных технологических свойств параметров режима и параметров технологических элементов, отражающих функционирование системы в фиксированный момент времени.
Параметры режима ТСМ	Физические величины, представляющие потоки энергии и вещества в гидравлических трактах технологических элементов и контактирующих с ними элементами окружающей среды.
Параметры технологических элементов ТСМ	Совокупность конструктивно-технологических величин тепломеханического оборудования для подготовки, транспорта и распределения теплоносителя.
Процесс	Переход ТСМ из одного технологического состояния в другое под влиянием возмущающих или управляющих воздействий.
Режим ТСМ	Совокупность состояний и процессов на фиксированном временном интервале функционирования системы.
Установившийся режим ТСМ	Состояние системы, в котором значения существенных технологических свойств остаются постоянными на фиксированном временном промежутке (Примечание 1).
Гидравлический установившийся режим	Состояние ТСМ, при котором в трубопроводных трактах всех технологических элементах устанавливается и остается постоянным на фиксированном временном отрезке изотермический характер течения теплоносителя (течение с постоянной плотностью и вязкостью), определяемый следующими параметрами режима: напорами и производительностью источников тепла и сетевых насосных станций, напорами в узлах тепловой сети и расходами на её участках, располагаемыми напорами и гидравлическими характеристиками потребителей (Примечание 2).
Параметры технологических элементов гидравлического режима	Совокупность геометрических характеристик, номинальных и гидравлических констант насосов, теплообменных аппаратов, дроссельных регулирующих органов, гидравлических трактов участков трубопроводов сети и теплопотребляющих систем.

Окончание таблицы 1

1	2
Параметры технологических элементов теплового режима	Совокупность геометрических характеристик гидравлических трактов, теплофизических параметров теплоносителя, материалов гидравлического тракта и элементов окружающей среды.
Тепловой установившийся режим	Состояние ТСМ, при котором в трубопроводном тракте всех технологических элементов устанавливается и остается постоянным на фиксированном временном отрезке процесс переноса тепла и массы теплоносителя, определяемый следующими параметрами режима: температурными перепадами и теплопроизводительностями источников тепла, температурами в узлах, тепловыми потоками и тепловыми потерями на участках трубопроводов сети, располагаемыми температурными перепадами, тепловыми нагрузками и тепловыми потерями с утечкой в теплопотребляющих систем потребителей (Примечание 3).
Эксплуатационный режим	Состояние ТСМ при температурах окружающей среды окружающей среды и тепловых нагрузок потребителей отличающихся от расчетных.
Расчетный режим	Состояние ТСМ при расчетных значениях окружающей среды и тепловых нагрузок потребителей.
Допустимый режим	Состояние ТСМ, в котором контролируемые параметры режима удовлетворяют технологическим ограничениям.
Аварийный режим	Состояние ТСМ, в котором контролируемые параметры режима не удовлетворяют технологическим ограничениям, уровню и качеству теплоснабжения потребителей в связи с выходом из строя основного технологического оборудования источников тепла, сетевых теплораспределительных подстанций, магистральных или распределительных теплопроводов.

Примечания:

1 Режим отображает технологический процесс функционирования ТСМ и является средством представления его характерных технологических состояний, поэтому разработка и реализация режимов стали постоянным видом профессиональной деятельности технологов при проектировании и эксплуатации сложных теплоснабжающих систем.

2 Гидравлический режим отображает только гидравлическую сторону сложных процессов тепло и массопереноса в технологических элементах и установках ТСМ, поэтому он физически наблюдаем, так как в суточном графике нагрузок системы преобладают неизотермические процессы с небольшим отклонением температур от некоторого базового.

3 Физически наблюдаемый тепловой режим отражает тепловые характеристики процессов тепломассопереноса, что позволяет в процессе анализа акцентировать внимание только на внутренней энергии потоков теплоносителя и разделительных стенках теплообменных аппаратов.

Таблица 2 – Словарь системных технологических категорий структуры ТСМ

Структурное понятие	Содержательное определение системной технологической категории формирования структуры ТСМ
Технологический элемент (ТЭ) ТСМ	Функционально ориентированный объект в технологии производства, транспорта, распределения и использования тепла.
Технологическая подсистема	Совокупность определенным образом соединенных ТЭ, предназначенных для реализации конкретной системной функции в технологии подготовки, транспорта и использования тепла.
Структура ТСМ	Конечное множество возможных отношений между технологическими подсистемами и технологическими элементами внутри подсистем.
Технологическая структура ТСМ	Совокупность отношений «принадлежности» и «следования» между технологическими подсистемами и технологическими элементами внутри подсистем.

Примечания:

1 Типичными представителями ТЭ в ТСМ являются трубы, трубопроводная арматура, насосные агрегаты, теплообменные аппараты, теплоизоляционные конструкции и др.

2 Типичными представителями технологических подсистем (технологических установок) ТСМ являются источники тепла, насосные станции, магистральные и распределительные трубопроводные сети, контрольно-распределительные, групповые, индивидуальные тепловые пункты и др.

Формализованная задача анализа установившегося гидравлического режима. При этом все виды взаимодействия реализуются посредством вещества, энергии, и информации. Технологическая структура ТСМ как системная технологическая категория, во-первых, требует специальных формальных методов для своего описания, хранения и преобразования, во-вторых, она является тем «каркасом», по которому возможно автоматическое формирование математических моделей режимов и автоматическая имитация разнообразных режимных ситуаций системы [6,7].

Именно профессиональная деятельность технологов ТСМ выделила следующие характерные виды установившихся режимов: гидравлический, тепловой, теплогидравлический, зимний, летний, расчетный, аварийный и перспективный. В общих технологических терминах задачу анализа установившегося гидравлического режима сложной ТСМ можно формализовать следующим образом (рисунок 1):

задано:

– полная технологическая структура ТСМ, включая технологические структуры всех основных технологических установок;

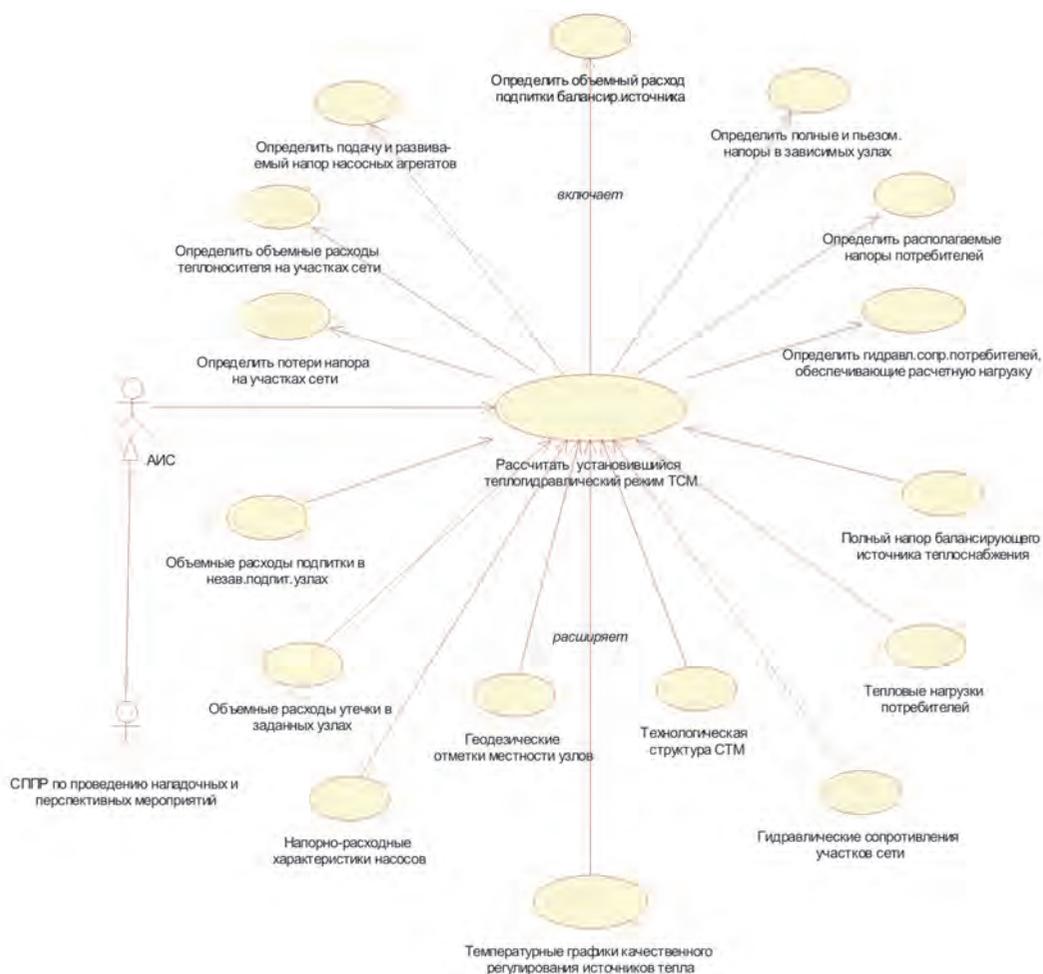


Рисунок 1 – Задачи анализа установившегося гидравлического режима ТСМ

- параметры напорно-расходных характеристик насосов водоподогревательных установок источников теплоснабжения, сетевых подкачивающих насосных станций, смесительных и подкачивающих насосов групповых и индивидуальных тепловых пунктов;
- гидравлические сопротивления всех участков магистральных и распределительных тепловых сетей;
- гидравлические сопротивления потребителей (если расходы через гидравлические тракты потребителей в некоторой аварийной ситуации являются искомыми);
- тепловые нагрузки присоединённых потребителей, приведенные к единицам массового расхода теплоносителя (если рассчитывается эксплуатационный режим при фиксированных нагрузках потребителей);
- объемные расходы утечки в заданных узлах расчетной схемы (при моделировании аварийных ситуаций с разрывами теплопроводов в открытых и закрытых системах);

– объемные расходы подпиток в независимых подпиточных узлах источников теплоснабжения, либо рассредоточенных по сети баков-аккумуляторов (в открытых ТСМ);

– назначен балансирующий источник теплоснабжения (в ТСМ с несколькими источниками тепла, работающими на одну сеть) и задан полный напор в его узле подпитки;

– геодезические отметки местности всех узлов расчетной схемы;

определены температурные графики качественного регулирования всех источников тепла,

требуется определить:

– объемные расходы теплоносителя на всех участках трубопроводной сети и через гидравлические тракты потребителей (если задавались гидравлические сопротивления потребителей в некоторой аварийной ситуации);

– подачу и развиваемый напор насосов во всех насосных станциях;

– объемный расход подпитки в подпиточном узле балансирующего источника теплоснабжения;

– полные и пьезометрические напоры во всех зависимых узлах;

– располагаемые напоры потребителей;

– потери напора на всех участках магистральных и распределительных сетей;

– гидравлические сопротивления потребителей, обеспечивающие их расчетные нагрузки.

Решая общую задачу анализа гидравлического режима для различных технологических структур ТСМ и различных параметров технологических элементов, представляется возможным получать новые знания для ответов на всё многообразие вопросов типа: «Как изменится установившееся состояние ТСМ, если изменить в заданном направлении структуру ТСМ и независимые параметры требуемых технологических элементов?».

Именно конкретные ответы на подобные вопросы и являются тем знанием, которое необходимо ЛПП для подготовки и принятия профессиональных решений при постоянно решаемых функциональных задачах технологами диспетчерских и производственных служб предприятий тепловых сетей.

Формализованный перечень функциональных решений, подготавливаемых ЛПП сферы эксплуатации ТСМ в процессе анализа имитируемых режимных ситуаций приведен на рисунке 2:

– определить параметры дроссельных устройств, обеспечивающих расчетные расходы теплоносителя в трактах теплотребляющих систем потребителей с разнородной тепловой нагрузкой;

– определить требуемое число работающих насосов и схему их включения в заданной насосной станции системы для имитируемой режимной ситуации;

– определить новое место установки подкачивающей насосной станции, а также число, схему включения и характеристики насосных агрегатов для конкретной режимной ситуации;

– определить возможность присоединения новой разнородной тепловой нагрузки заданного уровня для предстоящего сезонного режима и подготовить технические условия на присоединение этой нагрузки;

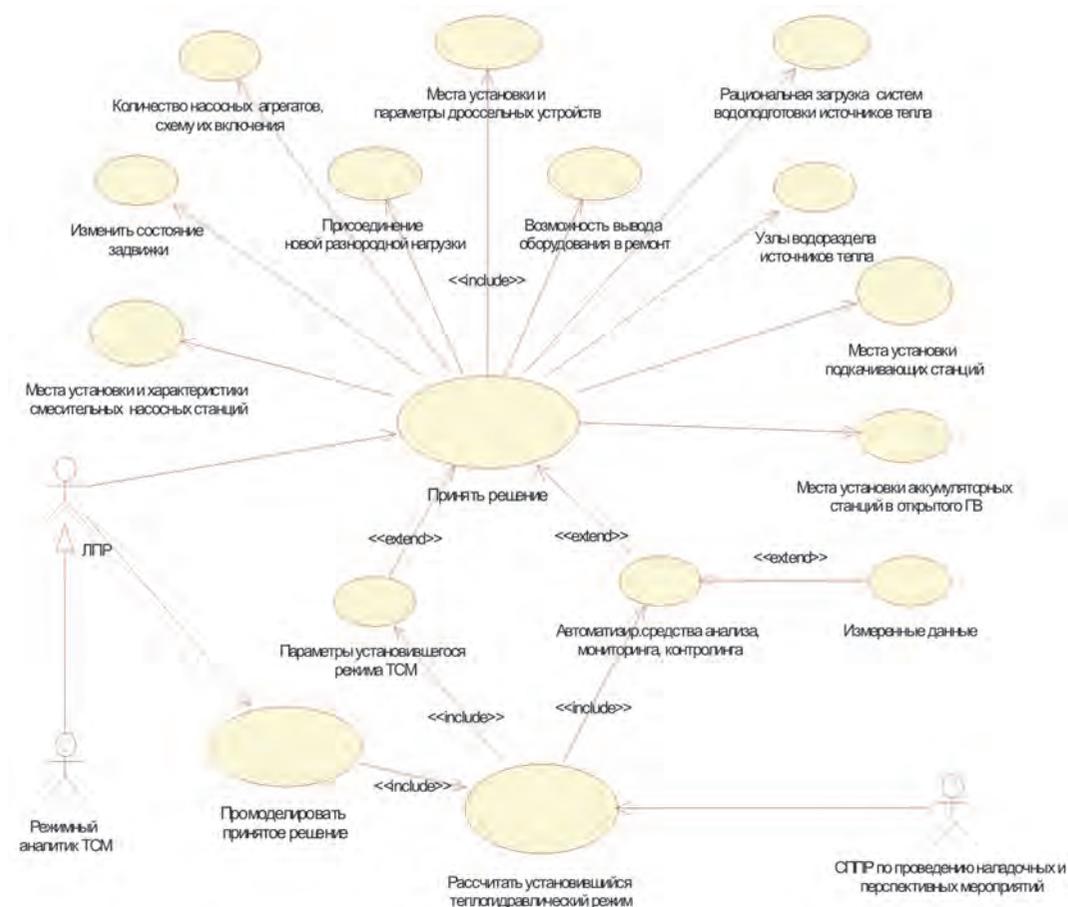


Рисунок 2 – Функциональные решения, подготавливаемые ЛПР служб режимов ТСМ

- определить место установки и параметры аккумуляторных станций горячего водоснабжения в открытых теплоснабжающих системах;
- определить рациональную загрузку систем водоподготовки источников тепла, работающих на одну сеть;
- определить узлы водораздела для источников теплоснабжения, работающих на одну сеть;
- определить место установки и характеристики смесительных насосных станций для реализации нового температурного графика;
- определить параметры ряда аварийных режимов с целью разработки технологии ликвидации аварий и методологии противоаварийных тренировок диспетчерского персонала;
- определить возможность вывода заданного технологического оборудования в ремонт или испытания;
- определить и оперативно собрать с помощью коммутационных задвижек рациональную технологическую структуру ТСМ при выводе заданного стационарного или сетевого технологического оборудования в ремонт.

Заключение. Осуществить полную формализацию общей задачи анализа гидравлического режима ТСМ не представляется возможным, поэтому при разработке информационно-графической системе ТГИД-07 [8] было выделено содержательное ядро, на основе которого было получено адекватное формальное представление общей задачи анализа разработки допустимых режимов ТСМ как апробированной практикой методологии принятия решений в сфере наладки и перспективного развития сложных теплоснабжающих систем мегаполисов.

Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке статьи сотрудникам кафедры информационно-вычислительных систем Карагандинского технического университета, ПКФ «Сириус» и основателю данного научного направления – Карасёву Н.И.

Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09562666).

ЛИТЕРАТУРА

1 Карасев Н.И., Крицкий А.Б., Томилова Н.И., Цок Г.Н. «Информатизация систем централизованного теплоснабжения в инфраструктуре жизнеобеспечения мегаполисов РК» // Труды международной научной конференции «Состояние, проблемы и задачи информатизации в Казахстане». – Караганда, 2005. – С.207-217. [Karasev N.I., Krickij A.B., Tomilova N.I., Cok G.N. «Informatizaciya sistem centralizovannogo teplosnabzheniya v infrastrukture zhizneobespecheniya megapolisov RK» // Trudy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Sostoyanie, problemy i zadachi informatizacii v Kazahstane». – Karaganda, 2005. – S.207-217.]

2 Карасёв Н.И., Фольгарт В.И., Алёхин А.Ф. и др. Пакет прикладных программ для решения задач расчета параметров стационарного гидравлического режима систем централизованного тепло-водоснабжения промышленных центров // Управляющие системы и машины. – 1982, –№1. – С. 113-116. [Karasyov N.I., Fol'gart V.I., Alyohin A.F. i dr. Paket prikladnyh programm dlya resheniya zadach rascheta parametrov stacionarnogo gidravlicheskogo rezhima sistem centralizovannogo teplo-vodosnabzheniya promyshlennyh centrov // Upravlyayushchie sistemy i mashiny. – 1982, –№1. – S. 113-116.]

3 Карасев Н.И., Томилова Н.И., Крицкий А.Б. Направление исследований теплосберегающих систем мегаполисов средствами программно-информационных комплексов. // Труды университета. – Караганда, 2007. – Вып. 2. – С.90-94. [Karasev N.I., Tomilova N.I., Krickij A.B. Napravlenie issledovaniy teplosberegayushchih sistem megapolisov sredstvami programmno-informacionnyh kompleksov. // Trudy universiteta. – Karaganda, 2007. – Vyp. 2. – S.90-94.]

4 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебн. для вузов. – 6-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 1999. – 472 с. [Sokolov E.YA. Teplofikaciya i teplovye seti: uchebn. dlya vuzov. – 6-e izd., pererab. – M.: MEI, 1999. – 472 s.]

5 Яковлев Б.В. Повышение эффективности теплофикации и теплоснабжения. – М.: Новости теплоснабжения, 2008. – 446 с. [Yakovlev B.V. Povyshenie effektivnosti teplofikacii i teplosnabzheniya. – M.: Novosti teplosnabzheniya, 2008. – 446 s.]

6 Хасилев В.Я., Меренков А.П., Каганович Б.М. и др. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей. – М.: Энергия, 1978. – 176 с. [Hasilev V.YA., Merenkov A.P., Kaganovich B.M. i dr. Metody i algoritmy rascheta teplovyh setej. – M.: Energiya, 1978. – 176 s.]

7 Карасев Н.И., Томилова Н.И. Математическая модель узловых напоров для задач поточного распределения в теплоснабжающих системах мегаполисов // Труды университета. – Караганда, 2008. – Вып. 1. – С.75-77. [Karasev N.I., Tomilova N.I. Matematicheskaya model' uzlovykh

naporov dlya zadach potokoraspredeleniya v teplosnabzhayushchih sistemah megapolisov // Trudy universiteta. – Karaganda, 2008. – Вып. 1. – S.75-77.]

8 N.I. Tomilova, A.A.Kalinin, A.N. Tomilov. Automated Control System for Operational and Perspective Modes of Heat Supplying Systems of Megalopolises // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – South Ural State University (national research university), Chelyabinsk, Russia, May 19-20, 2016.

М. ИСКАКОВ, А. Н. ТОМИЛОВ

Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан

КҮРДЕЛІ ЖЫЛУМЕН ЖАБДЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ СТАЦИОНАРЛЫҚ РЕЖИМДЕРІН ТАЛДАУ МІНДЕТІН РЕСІМДЕУ

Жүйелі тәсіл негізінде қалыптасқан гидравликалық режимді талдаудың мақсаттары мен функционалдық міндеттері мегаполистердің күрделі жылумен жабдықтау жүйелерін реттеу және перспективалық дамыту саласында шешімдер қабылдаудың дәлелденген практикасы ретінде ресімделді. Режимді талдау міндеттерін қоюға және жетілдіруге жүйелі тәсілді қолдану кәсіби мәселелерді шешу үшін тиімді талдау әдіснамасы бар қолданбалы ақпараттық жүйені жасауға және іске асыруға мүмкіндік берді.

***Түйін сөздер:** жылумен жабдықтау жүйесі, гидравликалық режим, жүйелік талдау, Талдау міндеті, формализация, компьютерлендіру, ақпараттық-графикалық жүйе.*

M. ISKAKOV, A. N. TOMILOV

Karaganda Technical University, Kazakhstan

FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF ANALYSIS OF STATIONARY MODES OF COMPLEX HEAT SUPPLY SYSTEMS

On the basis of a systematic approach, the goals and functional tasks of the analysis of the steady-state hydraulic regime are formalized, as a proven practice of the methodology of decision-making in the field of commissioning and prospective development of complex heat supply systems of megacities. The use of a systematic approach to setting and improving the tasks of mode analysis allowed us to develop and implement an applied information system with an effective analyzing methodology for solving professional problems.

***Keywords:** heat supply system, hydraulic mode, system analysis, analysis task, formalization, computerization, information and graphic system.*