



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



Гидравлическая устойчивость тепловой сети

Д.А. Абдулаев ^{1*}, Е.А. Маркелова ², А.Р. Сабирзянов ³, Н.Ю. Миронов ⁴

¹⁻⁴ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
обзорная статья	Подана в редакцию 17.12.2016	Тепловая сеть; система теплоснабжения; надежность; гидравлическая устойчивость; гидравлический режим;
УДК 697.34; 621.22-225		
doi 10.18720/CUBS.52.6		

АННОТАЦИЯ

В настоящее время регулирование энергопотребляющих систем становится одним из важнейших приоритетов развития энергетического комплекса России. Системы теплоснабжения имеют большое экономическое и социальное значение, обеспечивая нормальную жизнедеятельность во всех регионах страны, поэтому к надежности их функционирования предъявляются особенно высокие требования. Существующие способы регулирования отпуска теплоты в водяных системах теплоснабжения, не обеспечивают в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством энергии. Для решения этой проблемы необходимо достижение стабильного гидравлического режима или максимального показателя гидравлической устойчивости тепловой сети в течение всего отопительного периода. В статье были изучены способы повышения гидравлической устойчивости и достижения стабильного гидравлического режима при эксплуатации водяных систем теплоснабжения. Выявлено, что для повышения гидравлической устойчивости требуется увеличение гидравлического сопротивления абонентских установок. Таким образом, избыточный напор сети у потребителей будет поглощаться сопротивлениями в виде дросселирующих шайб и регулирующих клапанов на абонентских вводах. Также в статье была рассмотрена зависимость гидравлической устойчивости на надежность тепловой сети, в результате которой, выяснилось, что по мере нарушения гидравлической устойчивости снижается показатель надежности функционирования системы теплоснабжения. Обозначены направления дальнейших исследований по обеспечению надежности и достижению гидравлической устойчивости проектируемой системы теплоснабжения жилого квартала.

Содержание

1.	Введение	68
2.	Гидравлическая устойчивость тепловой сети	69
3.	Заключение	73

Контакты авторов

- +7(906)2513209, Jamaldag@yandex.ru (Абдулаев Джамал Амирович, студент)
- +7(921)3865976, elena.markelova@zvo.fkp-uzks.ru (Маркелова Елена Александровна, к.т..н, старший преподаватель)
- +7(981)1532120, alfredsabir@mail.ru (Сабирзянов Альфред Радикович, студент)
- +7(921)9864467, rubics@bk.ru (Миронов Никита Юрьевич, студент)

1. Введение

Отрасль ЖКХ является основой для обеспечения социального комфорта и наиболее базовых потребностей населения [1]. Системы теплоснабжения имеют большое экономическое и социальное значение, обеспечивая нормальную жизнедеятельность во всех регионах страны, поэтому к надежности их функционирования предъявляются особенно высокие требования [2]. Городские теплосети, запитываемые от ТЭЦ и котельных, представляют собой сложные разветвленные гидравлические системы. В практике их эксплуатации основными проблемами являются недостаточный перепад давлений между прямым и обратным трубопроводами на абонентском вводе, повышенное давление в обратном трубопроводе, разрегулированность сети. В настоящее время регулирование энергопотребляющих систем становится одним из важнейших приоритетов развития энергетического комплекса России.

Существующие способы регулирования отпуска теплоты в водяных системах теплоснабжения не обеспечивают в течение всего отопительного сезона потребителей требуемым количеством энергии. Тепловой баланс помещений должен поддерживаться в течение всего отопительного сезона, и потребители должны получать расчетное количество теплоты в независимости от способа регулирования на источнике теплоты, типа прокладки тепловых магистралей и тепловой защиты здания. Для этого необходимо достижения стабильного гидравлического режима в течение всего отопительного периода.

Реконструируемые и вновь строящиеся объекты интенсивно оснащаются автоматизированными индивидуальными тепловыми пунктами с узлами учета тепловой энергии. Изменение расходов теплоносителя в сети, тем существеннее, чем выше доля разнородных объектов с (автоматизированными/неавтоматизированными) абонентскими вводами [3]. Колебания расходов воды приводят к потере гидравлической устойчивости тепловой сети.

В последние годы предприятия, вырабатывающие тепловую энергию под предлогом экономии топлива, снижения потерь в сетях, либо по другим причинам прибегают к снижению расчетной температуры. Поставщики тепловой энергии «недоподачу» теплоты вследствие понижения температурного напора пытаются компенсировать увеличением расхода теплоносителя, включая в работу дополнительные насосные группы сетевой воды [3]. Что также влечет за собой гидравлическую разрегулировку системы.

Таким образом, к потере гидравлической устойчивости приводит ряд вышесказанных факторов.

В статьях [4,5] Пашенцевой Л.В. и Сикерина И.Е. обосновано негативное влияние снижения гидравлической устойчивости систем теплоснабжения на надежность их функционирования и на тепловую устойчивость этих систем. В том числе, на основании статей [6–10] удалось рассмотреть проблему гидравлической устойчивости систем теплоснабжения.

Исследование и описание гидравлических режимов работы систем теплоснабжения рассматривается в трудах российских авторов [11–19], также данный вопрос был изучен в статьях иностранных ученых [20–28].

Авторами статей [29–41] рассмотрен и предложен современный метод регулирования тепловых сетей внедрением автоматизированного инженерного оборудования в системах теплоснабжения.

Авторами Стерлиговым В.А., Илюхиным К.Н. и др. в статьях [3,42] были проведены исследовательские работы в системе централизованных теплоснабжений городов Липецка и Тюмени и предложены способы отпуска теплоты потребителям для достижения и поддержания стабильного гидравлического режима в течение всего отопительного периода.

Проблема оптимизации гидравлического режима системы теплоснабжения широко изучался отечественными [43–46] и зарубежными учеными [47–51]. А именно в статье Черненко В.П., Попова Д.В. [52] предложены модели, при различных конфигурациях распределения потока, для расчетов сопротивлений сети и абонентских установок, которые также позволяют достичь реальных эксплуатационных параметров и поддерживать расчетный гидравлический режим систем

теплоснабжения. В результате была разработана программа для моделирования гидравлических режимов, которая используется при разработке рекомендаций по наладке тепловых сетей.

В работе [2] Моисеева Б.В. и др. авторов исследованы методы повышения эффективности и надежности тепловых сетей. Повышение достигается установкой регулирующих устройств (дроссельная диафрагма, байпас у задвижки, дросселирующий байпас) на отводах от магистралей. Данный метод позволяет контролировать потери напора на местных сопротивлениях в тепловой сети, тем самым достигнуть стабилизации гидравлического режима системы теплоснабжения.

Во многих научных трудах [53–67] была раскрыта важная, в отношении определения гидравлической устойчивости, тема о гидравлических сопротивлениях и гидравлическом расчете тепловых сетей. Непосредственно в статье [1] Минко В.А. и др. авторов проведен анализ методик гидравлического расчета систем отопления, предложенных отечественными инженерами и учеными в области гидравлических систем. Приведен алгоритм расчета методами удельной потери давления, эквивалентных местных сопротивлений, динамических давлений, характеристик сопротивления, перемещения единицы расхода, эквивалентных отверстий. Отмечены основные допущения расчета при определении расчетной температуры теплоносителя, режима движения и характеристик гидравлического сопротивления элементов гидравлической системы.

Исследование гидравлического режима может производиться с помощью создания математических моделей гидравлических систем, что и описывается в статьях [68–78]. Также, в настоящее время существуют программные комплексы по моделированию и расчету гидравлических режимов систем теплоснабжения, которые были рассмотрены в статьях [79–84]. Колесниковым С.В., Чекардовским М.Н. и рядом других авторов в научных работах [85–87] была исследована необходимость разработки математических и компьютерных моделей тепловых сетей, позволяющих практически полностью воспроизводить гидравлические и температурные режимы их работы, рассматривая теплосети как единые целые гидравлические системы.

В настоящее время существует значительный объем публикаций, связанных с исследованием и расчетом режимов работы тепловых сетей [88–98]. Конкретно автор Рафальская Т.А. в статье [99] исследовал проблемы управления системами централизованного теплоснабжения, касающихся развития систем, их расчёта, оптимального проектирования, определения экономической эффективности систем, их надёжности и управления режимами работы в процессе эксплуатации.

Исследованием актуальной проблемы энергосбережения и энергетической эффективности систем теплоснабжения занимались авторы статей [100–113]. Очевидно, что повышение гидравлической устойчивости тепловых сетей будет способствовать энергосбережению ресурсов на источнике теплоты.

Целью настоящей статьи является – исследовать такую характеристику тепловой сети, как гидравлическая устойчивость. В рамках работы решаются следующие задачи:

- 1) Рассмотреть зависимость гидравлической устойчивости на надежность тепловой сети
- 2) Изучить способы повышения гидравлической устойчивости и достижения стабильного гидравлического режима тепловой сети
- 3) Исследовать методы обеспечения надежности и достижения гидравлической устойчивости проектируемой системы теплоснабжения жилого квартала.

2. Гидравлическая устойчивость тепловой сети

В статье рассмотрен редко освещаемый в специальной литературе вопрос – устойчивости гидравлического режима или гидравлической устойчивости работы водяных систем теплоснабжения. Редко встречаются цифры, характеризующие тепловую сеть в отношении устойчивости к возмущениям или разрегулированию режима работы. Зачастую этот показатель работы систем теплоснабжения не содержится в проектных документациях тепловых сетей, не просчитывается при многочисленных изменениях в схемах при их развитии и реконструкции. Несмотря на это, вопрос актуален и достаточно сложен.

Как известно, под гидравлической устойчивостью понимают способность системы сохранять постоянный расход теплоносителя на абонентских вводах при изменении условий работы других потребителей [4].

Чем устойчивее система в целом (источник → тепловая сеть → потребитель), тем меньше влияние гидравлического режима всей системы на гидравлический режим отдельных абонентов.

Количественно гидравлическая устойчивость для систем теплоснабжения оценивается коэффициентом гидравлической устойчивости (K_y):

$$K_y = \frac{G_\phi}{G_p}; \quad 1)$$

где G_ϕ – фактический расход сетевой воды на абонентском вводе;

G_p – расчетный (максимально возможный) расход сетевой воды на абонентском вводе.

Отклонение фактического расхода G_ϕ от расчётной величины G_p вызывает гидравлическую разрегулировку абонентских систем. Отключение части нагрузки (отключение потребителей от централизованной поставки тепловой энергии) приводит к снижению потерь давления в сети и к росту располагаемых давлений и расхода воды у оставшихся абонентов.

Коэффициент гидравлической устойчивости может изменяться от «0» до «1», т.к. $G_p \geq G_\phi$, при этом выполняется неперенное условие работы системы – напор, развиваемый насосами в теплоисточнике, должен преодолевать гидравлическое сопротивление сети и систем теплоснабжения.

Также формулу для определения коэффициента гидравлической устойчивости (K_y) можно записать в виде:

$$K_y = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{P_n}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{аб}}{\Delta P_{аб} + \Delta P_c}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta P_c}{\Delta P_{аб}}}}; \quad 2)$$

где $\Delta P_{аб}$ – давление на абонентском вводе при расчетном расходе воды G_p ;

$P_n = \Delta P_{аб} + \Delta P_c$ – давление сетевого насоса;

$\Delta P_{аб}$ – потери давления в сети при расчетном режиме;

Коэффициент гидравлической устойчивости зависит от величины гидравлического сопротивления систем подключенных потребителей тепла и обратно пропорционален величине располагаемого напора, развиваемого насосами.

Из формулы (2) следует, что гидравлическая устойчивость системы теплоснабжения повышается при уменьшении потерь давления в магистральных сетях ΔP_c и при увеличении гидравлического сопротивления абонентских установок (потерь давления в сети $\Delta P_{аб}$). С этой целью целесообразно установка на вводах дроссельных шайб и клапанов-регуляторов, которые будут создавать сопротивления потоку, тем самым создавая местные потери напора на абонентском вводе. То есть избыточный напор у потребителей будет поглощаться (компенсироваться) сопротивлениями дросселирующих шайб и регулирующих клапанов на абонентских вводах. Располагаемые напоры (разность напоров в подающем и обратном трубопроводах) на вводах в ИТП, согласно схеме теплоснабжения потребителя (безэлеваторное присоединение теплоснабжающих систем) представленной на рис.1, должны в 2, 3 раза превышать гидравлическое сопротивление местных систем теплоснабжения (для возможности установки дроссельных шайб).

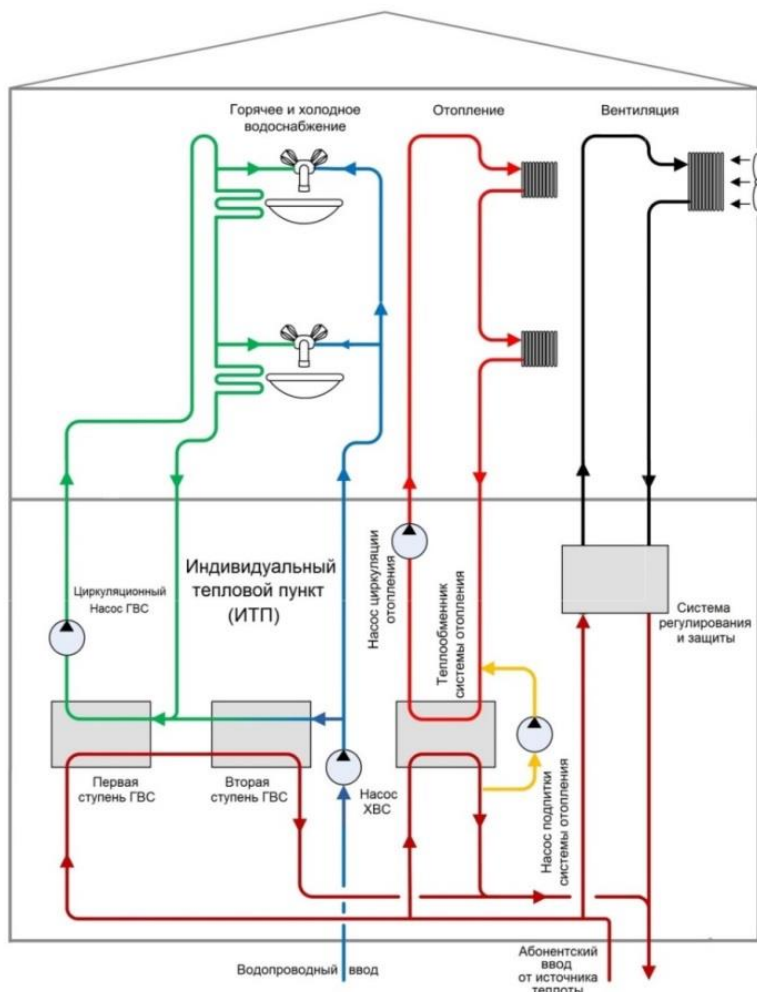


Рисунок 1. Схема теплоснабжения потребителя с ИТП

Дроссельные диафрагмы для гашения избыточного располагаемого напора на ИТП системы теплоснабжения могут быть установлены на подающем или обратном трубопроводе (или на обоих трубопроводах) в зависимости от конструкции системы теплоснабжения [114].

Диаметры отверстий дроссельных диафрагм ($d_{ш}$), при установке их на вводе в ИТП потребителя, определяются по формуле:

$$d_{ш} = 10 \cdot \sqrt[4]{\frac{G_p^2}{(H_p - h_c)}}; \quad (3)$$

где H_p – располагаемый напор перед дроссельной диафрагмой;

h_c – гидравлическое сопротивление системы отопления;

В частности в статье [52], для расчетов сопротивлений абонентских установок, присоединенных к открытым тепловым сетям, разрабатывают теоретическую модель, в которой использованы принципы электро- и гидроанalogии. При моделировании гидравлических режимов тепловых сетей существенное значение имеет точность определения суммарного сопротивления абонентов.

При питании от общей тепловой сети разнородных тепловых потребителей без авторегулирования абонентов невозможно добиться высокой гидравлической устойчивости системы. И путем правильной регулировки можно значительно увеличить гидравлическую устойчивость.

При эксплуатации тепловых сетей важной проблемой является выявление параметров разрегулировки и своевременное принятие решение по наладке гидравлического режима. Для этого необходимо выполнение расчетов потокораспределения, и в случае отклонения реальных расходов от

расчетных значений проводить наладочные мероприятия. По существу наладочные мероприятия заключаются в увязке гидравлических сопротивлений теплопотребляющих установок в соответствии с режимом работы сетевого оборудования и требуемыми расходами теплоносителя [52].

Нарушение гидравлической устойчивости негативно отражается на надежности функционирования системы теплоснабжения, что выражается ростом интенсивности отказов.

В табл. 1 представлены данные, характеризующие зависимость между этими показателями для системы теплоснабжения [4].

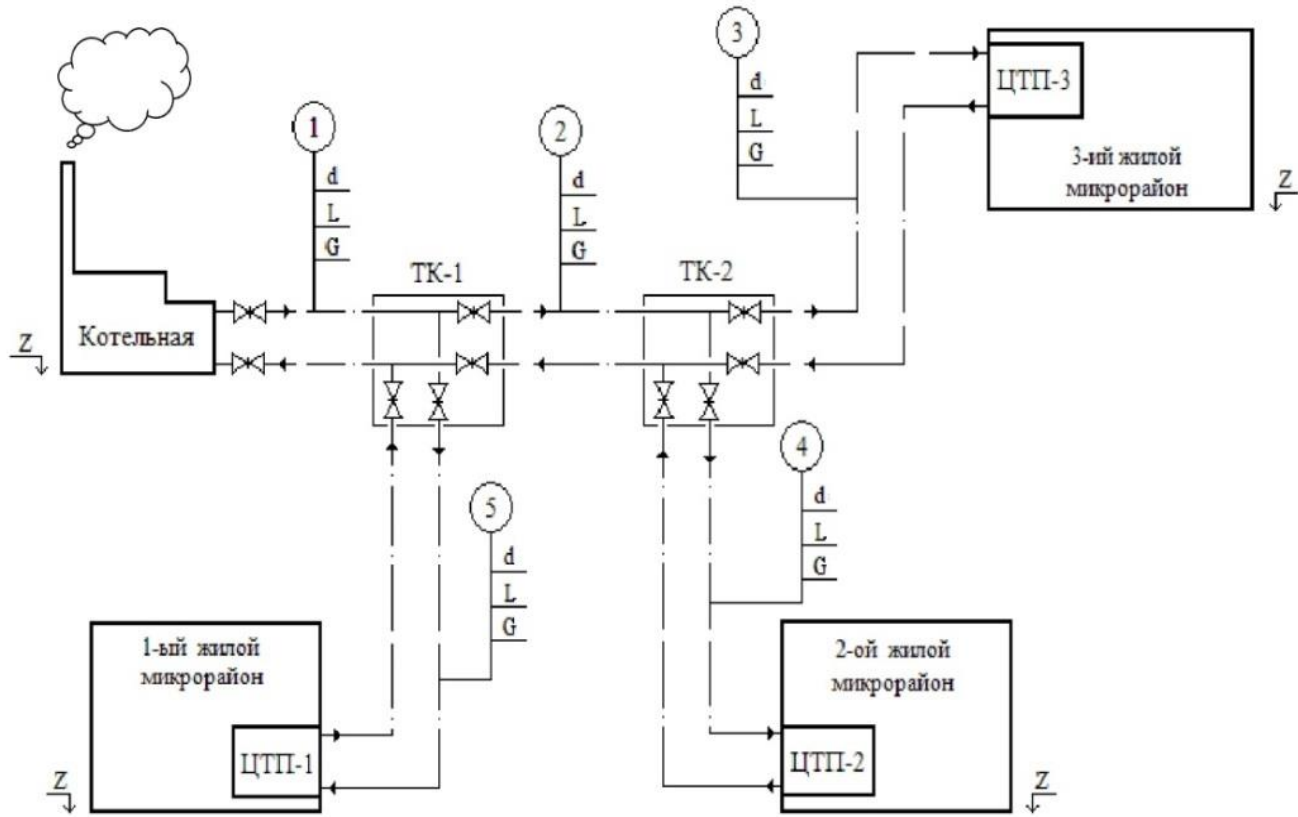
Таблица 1. Показатели гидравлической устойчивости и надежности системы теплоснабжения

Изменение гидравлической устойчивости, доля ед.	Максимальный предел надежности, доля ед.
До 0,05	0,93–0,91
0,060–0,10	0,90–0,84
0,11–0,15	0,83–0,79
0,16–0,20	0,78–0,71
0,21–0,25	0,70–0,66
0,26–0,30	0,65–0,61
0,31–0,35	0,60–0,56

Как видим, по мере нарушения гидравлической устойчивости снижается показатель надежности функционирования системы теплоснабжения, представленной на рис. 2. Согласно [115] минимально допустимый показатель надежности определяется по минимально допустимым показателям вероятности безотказной работы $P_{\text{сцт}} = 0,86$ и готовности исправной работе $K_r = 0,97$ системы теплоснабжения. Следовательно, минимальный допустимый показатель надежности системы централизованного теплоснабжения равен $H_{\text{сцт}} = P_{\text{сцт}} \cdot K_r = 0,86 \cdot 0,97 = 0,83$, что соответствует 0,11 доли единиц изменения гидравлической устойчивости системы согласно табл. 1. Значит, при уменьшении гидравлической устойчивости ниже данного значения система теплоснабжения не будет являться надежной.

Для обеспечения высокого показателя гидравлической устойчивости систем абонентов должно быть обеспечено правильное распределение давления в тепловой сети. Избыток напора, создаваемый насосами, полезно использовать, частично перенеся дросселирование напора на отводы от магистралей к потребителям. Увеличение перепада давлений между прямым и обратным на абонентском вводе позволит увеличить равномерность снабжения теплом потребителей и позволит упростить дальнейшую наладку внутриквартальных тепловых сетей. При переносе регулирующих устройств из точки присоединения магистральной сети к отдельным внутриквартальным потребителям, на каждом из них автоматически увеличивается перепад давлений на абонентском вводе, часть которого, как говорилось ранее, срабатывает на индивидуальном сопротивлении (дроссельная шайба, регулирующий клапан). При этом собственное сопротивление потребителя оказывает меньшее влияние на расход воды и определяется добавочным сопротивлением.

Большую сложность при эксплуатации тепловых сетей представляет поддержание гидравлического режима и потокораспределения в открытых сетях с абонентами, неоснащенными авторегуляторами. Прежде всего, это связано с переменным режимом потребления горячей воды абонентами тепловых сетей. В данном случае на потокораспределение и режим давления в открытых тепловых сетях влияет степень использования водоразборных приборов и условия водоразбора, определяемые положением клапана смешения на тепловых узлах абонентских установок [52].



Условные обозначения:

- | | |
|---|--|
| ① – номер участка. | ТК – тепловая камера. |
| d – внутренний диаметр, мм. | ЦТП – центральный тепловой пункт. |
| L – длина участка, м. | Z – геодезический уровень (отметка) местности. |
| G – расход сетевой воды на участке, кг/с (т/ч). | |

Рисунок 2. Схема теплоснабжения района от источника до потребителей

Для выравнивания (повышения) гидравлической устойчивости наиболее эффективным и малозатратным вариантом является комплексная регулировка гидравлического режима на основании расчетных данных и проектных решений. В настоящее время многие теплоснабжающие прибегают к этому с помощью разработки компьютерных моделей. В особенности, при выполнении расчетов сложных разветвленных многокольцевых гидравлических сетей, запитываемых от нескольких источников, эффективным направлением оказывается применение компьютерных моделей, которые позволяют практически полностью воспроизводить протекающие в сетях гидравлические процессы, рассматривая их как единые целые гидравлические системы. Такие модели позволяют определять давления, расходы, скорости течения среды, потери напора, расход энергии на перемещение среды и прочее [85].

3. Заключение

Выявлено, что для повышения гидравлической устойчивости требуется увеличение гидравлического сопротивления абонентских установок. Таким образом, избыточный напор сети у потребителей будет поглощаться сопротивлениями на абонентском вводе в виде дросселирующих шайб и регулирующих клапанов на абонентских вводах. Показано, что по мере нарушения гидравлической устойчивости

снижается показатель надежности функционирования системы теплоснабжения. Обозначены направления дальнейших исследований по обеспечению надежности и достижению гидравлической устойчивости проектируемой системы теплоснабжения жилого квартала.

В частности на кафедре «Гидравлика» Санкт-Петербургского политехнического университета ведется расчетная работа по обеспечению надежности и достижению гидравлической устойчивости проектируемой системы теплоснабжения жилого квартала в Приморском районе г. Санкт-Петербурга с потребителями разной категорийности по надежности. Планируется провести анализ методов обеспечения надежности и гидравлической устойчивости теплоснабжения потребителям 1-ой категории (например, из [115] это больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, операционные, реанимационные помещения и т.п.), которые не допускают перерывов в подаче расчетного количества тепла. Для достижения этой цели следует провести ряд проектных и расчетных мероприятий для обеспечения бесперебойного теплоснабжения данных абонентов. Этого можно добиться, обеспечив резервирование различными способами. Один из которых, это внедрение взаимного резервирования источников тепла и тепловых сетей смежных систем централизованного теплоснабжения. Этот способ допускается при соответствующем обосновании разработки схемы резервирования, обеспечивающую при отказах подачу тепла от смежных систем централизованного теплоснабжения. Для этого требуется произвести гидравлический расчет аварийного режима теплоснабжения, при котором потребителям 1-ой категории должна быть обеспечена 100% подача теплоты. Также в работе будет исследован способ резервирования, согласно которому для потребителей 1-ой категории допускается предусматривать установку местных резервных источников тепла (стационарных или передвижных). В качестве вышесказанных источников теплоты могут выступать блочно-модульные котельные установки. Из условия обеспечения требуемого располагаемого напора на абонентском вводе у потребителя необходимо подбирать соответствующее насосное оборудование в данных котельных установках.

Литература

- [1]. Минко В.А., Семиненко А.С., Елистратова Ю.В. Допущения и предпосылки методов гидравлического расчета систем отопления // Успехи современного естествознания. 2014. №4. С. 114-118.
- [2]. Моисеев Б.В., Богомолов В.П., Шаповал А.Ф. Оптимизация работы тепловых сетей в условиях западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1997. №4. С. 58-62.
- [3]. Стерлигов В.А., Мануковская Т.Г., Крамченко Е.М. Системы водяного теплоснабжения и отпуск теплоты // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. №12 (132). С. 60-63.
- [4]. Пашенцева Л. В. Влияние нарушения гидравлической устойчивости на надежность теплоснабжения // Строительство и техногенная безопасность. 2012. №44. С. 85-88.
- [5]. Сикерин И.Е., Голяк С.А. Влияние гидравлического режима сети теплоснабжения на тепловую устойчивость абонентов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2010. № 2. С. 20-22.
- [6]. Тартыкова Е.В. Повышение тепловой и гидравлической устойчивости систем отопления // Труды Братского государственного университета Серия: Естественные и инженерные науки. 2008. Том 2. С. 73-76.
- [7]. Жуков Д.В. О гидравлической устойчивости систем теплоснабжения и работе систем теплотребления при изменении режимов // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Повышение эффективности объектов теплоэнергетики и систем теплоснабжения. Омск: ОГУПС 2008. С. 23-27.
- [8]. Ананьина Л.И. Первак Г.И. Гидравлическая устойчивость абонентских установок // Сборник материалов Всероссийской научной студенческой конференции. Москва: МГУДТ 2015. С. 12-14.
- [9]. Белов А.А., Озеров А.Н., Усиков Н.В., Шкондин И.А. Определение гидравлической устойчивости водогрейного котла типа КВГМ-100 и минимального расхода воды // Теплоэнергетика. 2016. №8. С. 67-76.
- [10]. Balaman Ş. Y., Selim H. Sustainable design of renewable energy supply chains integrated with district heating systems: A fuzzy optimization approach. Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 133. Pp 863-885.
- [11]. Ермаков Р.Л., Стенников Н.В. Выбор наладочного режима в открытых системах централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2008. № 11. С. 58-63.
- [12]. Хаванов П.А., Соловьева Е.Б. Проектирование на основе теплотехнических условий работы и организации тепловых и гидравлических режимов работы автономных котельных для ЖКХ // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 128-130.
- [13]. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник; Изд-во МЭИ. М. 1999. 321 с.
- [14]. Автушенко В.И., Черных О.Н., Федотов М.В., Нахмуринов С.С. Работа гофрированных труб в различных гидравлических режимах // Наука и техника в дорожной отрасли. 2011. № 4. С. 27а-29.
- [15]. Канина Л.П., Чапкина Г.А. Опыт решения вопросов комплексной защиты оборудования систем теплоснабжения при переходных гидравлических режимах // Теплоэнергетика. 2008. № 4. С. 10-14.

- [16].Аничхин А.Г. Особенности гидравлических режимов систем отопления // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2011. №6 (114). С. 37-39.
- [17].Луценко А.В. Оптимизация гидравлических режимов распределительных тепловых сетей по технологическим критериям // Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Системные исследования в энергетике. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 2013. С. 37-44.
- [18].Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- [19].Переверзев В. А. Справочник мастера тепловых сетей -2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 272 с.
- [20].Gabrielaitiaene I., Sunden B., Bøhm B. Evaluation of approaches for modeling temperature wave propagation in district heating pipelines. Heat transfer engineering. 2008. No.1. pp. 45-46.
- [21].Lauenburg P., Johansson P.O., Wollerstrand J. District heating in case of power failure. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.4. pp. 1176-1186.
- [22].Mostofizadeh C., Bohne D., Mergardt C. Use of district heating in summer for cold production with the aid of an absorption process. Applied thermal engineering. 2002. Vol. 22. No.6. pp. 577-586.
- [23].Karlsson K. B., Petrović S. N., Næraa R. Heat supply planning for the ecological housing community Munksøgård. Energy. 2016. Vol. 115. Part 3. pp 1733-1747.
- [24].Tian Y., Zhou Z., Wang Z. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating. Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. pp 386-393.
- [25].Baldvinsson I., Nakata T. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method. Energy. 2014. Vol. 74. pp. 537-554.
- [26].Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Simulation and analysis of a meshed district heating network. Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 122. pp 63-73.
- [27].Lake A., Rezaie B., Beyerlein S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. pp 417-425.
- [28].Comodi G., Lorenzetti M., Salvi D., Artecconi A. Criticalities of district heating in Southern Europe: Lesson learned from a CHP-DH in Central Italy. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol.112. pp 649-659.
- [29].Зайцев О.Н., Лукьянченко Д.М., Перминов И.А., Петрекевич Л.А. Теоретические исследования тепловых и гидравлических процессов при количественно-качественном регулировании теплоносителя в нагревательных приборах // Строительство и техногенная безопасность. 2013. № 48. С. 73-79.
- [30].Зайцев О.Н., Петрекевич Л.А., Лукьянченко Д.М. Совершенствование систем низкотемпературного водяного отопления при количественно-качественном регулировании теплоносителя // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 51. С. 109-112.
- [31].Махов Л.М., Усиков С.М. Гидравлический режим системы водяного отопления при автоматическом регулировании // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 243-252.
- [32].Нудлер Г.И., Тульчин И.К. Автоматизация инженерного оборудования жилых и общественных зданий. М.: Стройиздат, 1988. 223 с.
- [33].Чистович С.А., Аверьянов В.К., Темпель Ю.Я., Быков С.И. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления. Л.: Стройиздат, 1987 г. 248с.
- [34].Чистович С. А. Автоматическое регулирование расхода тепла в системах теплоснабжения и отопления. Л.: Стройиздат. 1975. 128 с.
- [35].Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. М.: Новости теплоснабжения, 2007.
- [36].Zheng X.-J., You S.-J., Jiang N. Operational regulation schedule of district heating system with peak-load boiler in the secondary network. TIANJIN DAXUE XUEBAO. 2007. No.12. pp. 1511-1516.
- [37].Wernstedt F., Davidsson P. An agent-based approach to monitoring and control of district heating systems. Lecture notes in computer science. 2002. Vol. 2358. pp. 801.
- [38].Dotzauer E. Experiences in mid-term planning of district heating systems. Energy. 2003. Vol. 28. No.15. pp. 1545-1555
- [39].Ahn J., Cho S., Chung D.H. Analysis of energy and control efficiencies of fuzzy logic and artificial neural network technologies in the heating energy supply system responding to the changes of user demands. Applied Energy. 2017. Vol 190. pp 222-231.
- [40].Weidlich I. Near Future Testing Requirements for Joints in Modern District Heating Networks. Energy Procedia. 2016. Vol. 95. pp 11-16.
- [41].Wade F., Shipworth M., Hitchings R. Influencing the central heating technologies installed in homes: The role of social capital in supply chain networks. 2016. Energy Policy. Vol. 95. pp 52-60.
- [42].Илюхин К.Н., Мельников А.П. Разработка узла регулирования, необходимого для повышения эффективности гидравлического режима магистральной и распределительной тепловой сети // Сборник материалов международной научно-практической конференции в трех томах (Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях западной Сибири). Тюмень. : ТГАСУ 2014. С. 102-106.
- [43].Шалай В.В., Файзуллин Р.Т. Вычислительная система расчета и оптимизации технологических режимов работы многоветочных нефтепроводов и тепловых сетей крупного города // Открытое образование. 2011. №2-2. С. 248-251.

- [44].Скрипченко А.С. Оптимизация теплогидравлического режима тепловых сетей // Материалы XI Международной учебно-научно-практической конференции. Трубопроводный транспорт - 2016. Уфа: УГНТУ 2016. С. 377-379.
- [45].Рябцев В.И., Плетнев П.А. Корректировка гидравлического режима тепловых сетей при ограничении теплотребления // Промышленная энергетика. 2006. №7. С. 19-20.
- [46].Луценко А.В. Иерархическая оптимизация гидравлических режимов теплоснабжающих систем // Труды молодых ученых к 55-летию института. Системные исследования в энергетике. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 2015. С. 21-28.
- [47].Dobersek D., Goricanec D. Optimization of tree path pipe network with nonlinear optimization method. Applied thermal engineering. 2009. Vol. 29. No.8-9. pp. 1584-1591.
- [48].Byun S., Park H., Yi S., Song C., Choi Y., Lee S., Shin J. Study on the optimal heat supply control algorithm for district heating distribution network in response to outdoor air temperature. Energy. 2015. Vol. 86. pp 247-256.
- [49].Putz S., Reiter P., Söll R. Smart Heat Supply in Austria within the PITAGORAS Project. Energy Procedia. 2016. Vol. 91. pp 573-577.
- [50].Morvaj B., Evins R., Carmeliet J. Optimising urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout. Energy. 2016. Vol. 116. Part 1. pp 619-636.
- [51].Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal operation of large district heating networks through fast fluid-dynamic simulation. Energy. 2016. Vol. 102. pp 586-595.
- [52].Черненко В.П., Попов Д.В. Управление гидравлическим режимом тепловых сетей // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2003. № 134. С. 126-128.
- [53].Шинкаренко О.М. Корчак Е.С. Динамическая устойчивость дроссельных регулирующих клапанов систем управления // Кузнечно-штамповое производство. Обработка материалов давлением. 2013. № 2. С. 30-35.
- [54].Мельников В.М., Пурим М.В., Карев Д.С. Методы проектирования современного теплового пункта // Главный энергетик. 2014. № 7. С. 30-38.
- [55].Леонов А.М., Михеев В.А., Москаленко Т.В., Данилов О.С. Гидравлический расчет трубопровода от станции Угольная до Нерюнградской ГРЭС // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. Том 10. № 12. С. 404-408.
- [56].Самарин О.Д. Расчет потерь давления в трубопроводах тепловых сетей // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. №4 (132). С. 56-59.
- [57].Петриченко М.Р., Харьков Н.С. Гидравлические потери на основном участке цилиндрического канала при малой интенсивности закрутки // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2008. № 63. С. 237-242.
- [58].Дмитриев В.З., Побогаева Г.А. Пути снижения сверхнормативных тепловых потерь в системе централизованного теплоснабжения от ТЭЦ // Межвузовский тематический сборник научных трудов. Повышение эффективности объектов теплоэнергетики и систем теплоснабжения. Омск: ОГУПС 2008. С.17-22.
- [59].Штыков Р.А. Алгоритмы идентификации коэффициента гидравлического сопротивления магистральных трубопроводов в динамическом режиме // Энергосбережение и водоподготовка. 2013. № 2 (82). С. 33-35.
- [60].Хасилев В.Я, Меренков А.П., Каганович Б.М., Светлов К.С., Такайшвили М.К. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей: Монография // Изд-во: Энергия. М. 1978. 176 с.
- [61].Абрамов Н.Н. Теория и методика расчета системы подачи и распределения воды. М.: Стройиздат, 1972. 286 с.
- [62].Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.
- [63].Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Госэнергоиздат, 1960. 463 с.
- [64].Тихомиров К.В., Сергеенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. М.: Стройиздат, 1991г., 480 с.
- [65].Варфоломеев Ю. М. Отопление и тепловые сети: учебник. М.: ИНФРА-М, 2006, 480 с.
- [66].Jie P., Kong X., Rong X., Xie S. Selecting the optimum pressure drop per unit length of district heating piping network based on operating strategies. Applied Energy. 2016. Vol. 177. pp 341-353.
- [67].Zeng J., Han J., Zhang G. Diameter optimization of district heating and cooling piping network based on hourly load. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 107. pp 750-757.
- [68].Кассина Н.В., Смирнов Л.В. Математическое моделирование разветвленных гидравлических систем // Компьютерное исследование и моделирование. 2009. Том 1. № 2. С. 173-179.
- [69].Кассина Н.В., Смирнов Л.В. Математическое моделирование динамики гидравлических сетей // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Математическое моделирование и оптимальное управление. 2004. № 1. С. 132-138.
- [70].Батухтин А.Г., Калугин А.В. Моделирование современных систем централизованного теплоснабжения // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2011. № 8(55). С. 84-91.
- [71].Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шалагинова З.И. Модели и методы расчета режимов больших систем теплоснабжения и их реализации в ИВК «Ангара-ТС» // Материалы Международной научно-технической конференции ИСТЭ-20116: Тезисы докладов. Информационные системы и технологии в энергетике и жилищно-коммунальной сфере. Иркутск: НТМТ 2011. С. 50-51.

- [72].Алексеев А.В., Новицкий Н.Н., Токарев В.В., Шлагинова З.И. Многоуровневое моделирование режимов больших теплоснабжающих систем методами теории гидравлических цепей // Глава в книге. Трубопроводные системы энергетики. Развитие теории и методов математического моделирования и оптимизации. Новосибирск: Новосибирский филиал Федерального государственного унитарного предприятия "Академический научно-издательский и книгораспространительский центр "Наука" 2008. С. 211-228.
- [73].Карасев Н.И., Томилова Н.И. Классы математических моделей стационарных гидравлических режимов систем централизованного теплоснабжения // Труды университета. 2007. Том 4. С. 73-77.
- [74].Fu D.Z., Huang G.H. Development of optimization model for fuel supply in district heating system based on environment and heat demand joint constraints. Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 535. pp. 309-314.
- [75].Lazzarin R., Noro M. District heating and gas engine heat pump: economic analysis based on a case study. Applied thermal engineering. 2006. Vol. 26. No.2-3. pp. 193-199.
- [76].Merkel E., McKenna R., Fehrenbach D., Fichtner W. A model-based assessment of climate and energy targets for the German residential heat system. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. Part 4. pp 3151-3173.
- [77].Merkel E., Fehrenbach D., McKenna R., Fichtner W. Modelling decentralised heat supply: An application and methodological extension in TIMES. Energy. 2014 .Vol. 73. pp 592-605.
- [78].Danielewicz J., Śniechowska B., Sayegh M.A., Fidorów N., Jouhara H. Three-dimensional numerical model of heat losses from district heating network pre-insulated pipes buried in the ground. Energy. 2016. Vol.108. pp 172-184.
- [79].Токарев В.В., Новицкий Н.Н. Программный комплекс для анализа гидравлических режимов больших теплоснабжающих систем // Тезисы докладов Международной научно-практической конференции. Человек-Среда-Вселенная. Иркутск: ИНИТУ 1997. С. 173-175
- [80].Меренков А.П., Светлов К.С., Такайшвили М.К., Хасилев В.Я. Об автоматизированных системах программ для расчета гидравлических режимов трубопроводных сетей // Известия Российской академии наук. Энергетика. 1973. №3. С. 126-131.
- [81].Рафальская Т.А. Совершенствование методов расчета тепловых и гидравлических режимов и компьютеризация систем централизованного теплоснабжения // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата наук. Новосибирск: НГАСУ. 2003. 21 стр.
- [82].Кудинов В.А., Коваленко А.Г., Колесников С.В., Панамарев Ю.С. Разработка компьютерной модели и исследование режимов работы циркуляционной системы Новокуйбышевской ТЭЦ -2 // Изв. АН. Энергетика. 2001. № 6. С. 118-124.
- [83].Шлагинова З.И. Программно-вычислительный комплекс «ТИГРТСС» для исследования режимной управляемости теплоснабжающих систем, имеющих промежуточные ступени регулирования // Статья в сборнике статей. Новые информационные технологии управления развитием и функционированием трубопроводных систем энергетики. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 1993. С. 136-144.
- [84].Юркевич А.А. Программный комплекс по расчету гидравлических и тепловых режимов закрытых и открытых систем теплоснабжения // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Ижевского государственного технического университета: в 5 частях. Ижевск: ИГТУ им. М.Т. Калашникова 2002. С. 288-293.
- [85].Колесников С.В. Исследование тольяттинских тепловых сетей на компьютерной модели // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2014. №2 (42). С. 136 -147.
- [86].Колесников С.В., Кудинов И.В. Исследование тепловых сетей централизованного теплоснабжения на компьютерной модели // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2014. № 4. С. 149-159.
- [87].Чекардовский М.Н., Илюхин К.Н., Ильин В.В., Алейников Д.А., Мельников А.П. Исследование перспективных гидравлических режимов в тепловых сетях города Тюмени // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 26.
- [88].Токарев В.В. Принципы построения и реализации новой информационно-вычислительной технологии для задач эксплуатации тепловых сетей // Материалы XXVIII Конференции научной молодежи Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Труды конференции молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Москва: ВИНТИ РАН 1998. С. 284-297.
- [89].Логинов К.В., Мызников А.М., Файзуллин Р.Т. Расчет, оптимизация и управление режимами работы больших гидравлических сетей // Математическое моделирование. 2006. Том 18. № 9. С. 92-106.
- [90].Луценко А.В. Исследование задач и алгоритмизация методов расчета допустимых гидравлических режимов тепловых сетей // Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Системные исследования в энергетике. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 2012. С. 39-47.
- [91].Махов Л.М., Усиков С.М. Расчет переменного гидравлического режима работы системы водяного отопления // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжения и строительная теплофизика. 2014. №2. С. 54-62.
- [92].Гребнева О.А. Численное исследование задачи планирования режимов для гидравлических испытаний тепловых сетей // Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Системные исследования в энергетике. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 2001. С. 48-56.

- [93]. Колесников С.В., Кудинов И.В., Еремин А.В., Колесникова А.С., Бранфилова А.Н. Исследование гидравлических режимов работы циркуляционных систем ТЭЦ на компьютерных моделях // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. №7-9. С. 112-122.
- [94]. Новицкий Н.Н., Алексеев А.В. Методы расчета допустимых гидравлических режимов работы трубопроводных сетей // Глава в книге. Трубопроводные системы энергетики. Управление развитием и функционированием. Новосибирск: Новосибирский филиал Федерального государственного унитарного предприятия "Академический научно-издательский и книгораспространительский центр "Наука" 2004. С. 361-372.
- [95]. Новицкий Н.Н., Алексеев А.В. Разработка и реализация методов расчета технологически допустимых гидравлических режимов трубопроводных систем // Глава в книге. Трубопроводные системы энергетики. Развитие теории и методов математического моделирования и оптимизации. Новосибирск: Новосибирский филиал Федерального государственного унитарного предприятия "Академический научно-издательский и книгораспространительский центр "Наука" 2008. С. 228-236.
- [96]. Рафальская Т.А. Теоретические основы новой теории расчета переменных тепловых и гидравлических режимов работы тепловых пунктов централизованных систем теплоснабжения // Наука и мир. 2014. Том 1. №10 (14). С. 56-59.
- [97]. Луценко А.В. Разработка и исследование методов структурно-параметрической оптимизации гидравлических режимов тепловых сетей // Труды молодых ученых ИСЭМ СО РАН. Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН. Системные исследования в энергетике. Иркутск: ИСЭ им. Л.А. Мелентьева СО РАН 2014. С. 56-63.
- [98]. Рябцев В.И., Плетнев П.А. Оценка создания гидравлического режима установки по подогреву сетевой воды // Электрические станции. 2006. №1. С. 23-26.
- [99]. Рафальская Т.А. Проблемы управления тепловыми и гидравлическими режимами теплоносителей в системах теплоснабжения при центральном регулировании тепловой нагрузки // Наука и Мир. 2015. Том 2. № 3 (19). С. 78-81.
- [100]. Бранфилова А.Н., Стефанюк Е.В., Колесников С.В., Скворцова М.П. Повышение эффективности работы теплосетей ТЭЦ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: технические науки. 2015. № 1. С. 102-107.
- [101]. Ватин Н.И., Немова Д.В. Повышение энергоэффективности зданий детских садов // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 3. С. 52-76.
- [102]. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Экономическая эффективность инвестиций в энергосбережение // Инженерные системы. АВОК – Северо-Запад. 2014. № 3. С. 32-36.
- [103]. Ватин Н.И., Гамаюнова О.С., Немова Д.В. Проведение энергоаудита детских садов с целью повышения энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 9 (24). С. 71-83.
- [104]. Горшков А.С., Ватин Н.И., Рымкевич П.П. Реализация государственной программы повышения энергетической эффективности жилых и общественных зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 1(180). С. 39-46.
- [105]. Горшков А.С., Немова Д.В., Рымкевич П.П. Сравнительный анализ затрат тепловой энергии, эксплуатационных затрат на отопление и затрат топливно-энергетических ресурсов для многоквартирного жилого здания при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Кровельные и изоляционные материалы 2013. № 2. С. 34-39.
- [106]. Горшков А.С. Модель оценки прогнозируемого срока окупаемости инвестиций в энергосбережение // Вестник МГСУ. 2015. № 12. С. 136-146.
- [107]. Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S., Melin S. A multicriteria approach to evaluate district heating system options. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.4. pp. 1176-1186.
- [108]. Adamo L., Cammarata G., Fichera A., Marletta L. Renewable energy. 1997. Vol. 10. No.2-3. pp. 213-216.
- [109]. Skaer M. The future of district heating and cooling. Engineered systems. 1995. Vol. 12. No.7. pp. 56-57.
- [110]. Lygnerud K., Peltola-Ojala P. Factors impacting district heating companies' decision to provide small house customers with heat. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.1. pp. 185-190.
- [111]. Džiugaitė-Tumėnienė R., Motuzienė V., Šupšinskas G., Čiuprinskas K., Rogoža A. Integrated assessment of energy supply system of an energy-efficient house. Energy and Buildings. 2017. Vol. 138. pp 443-454.
- [112]. Zhiqiang K., Qin M., Xue Y., Guohui F., Hongbo F., Yixian Z. Analysis of the Energy Consumption and Economic for Combined Heating Supply System Based on Groundwater Heat Pump and Boiler Plant. Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. pp. 530-535.
- [113]. Verda V., Caccin M., Kona A. Thermoeconomic cost assessment in future district heating networks. Energy. 2016. Vol. 117. Part 2. pp. 485-491.
- [114]. Нургалеев Р.Р., Сулейманова Р.А. Повышение эффективности системы теплоснабжения // Инновационная наука. 2016. №8-2. С. 70-73.
- [115]. СП 124.13330.2012 Свод правил. Тепловые сети. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. М.: Стройиздат, 2012. 78 с.

The hydraulic stability of the heating network

D.A. Abdulaev ^{1*}, E.A. Markelova ², A.R. Sabirzyanov ³, N.Yu. Mironov ⁴

¹⁻⁴ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

overview article

doi 10.18720/CUBS.52.6

Article history

Received 17.12.2016

Keywords

Heating network;
heat supply system;
reliability;
hydraulic stability;
hydraulic control

ABSTRACT

At the present time regulation of energy consuming system is becoming one of the most important priorities of development of the Russian energy sector. Heat supply systems have a great economic and social importance, ensuring normal functioning in all regions of the country, so the reliability of their operation must have particularly high demands. Current methods of controlling heat supply in the water heating systems do not provide the amount of energy, required consumers for the whole heating season. To solve this problem is necessary to achieve a stable hydraulic control or maximum rate of the hydraulic stability of heating network for the entire heating season. The article explored ways to improve hydraulic stability and the achievement of stable hydraulic conditions during the operation the water heating systems. Revealed that to improve hydraulic stability is required increase hydraulic resistance of subscriber units. Thus the network excess pressure from consumers will be absorbed by resistances of throttling discs and control valves on subscriber inputs. Also in the article was considered dependence of the hydraulic stability to the reliability of the heating network, as a result of which, it turned out that a violation of the hydraulic stability leads to reduction of heat network reliability index. Determined directions for further research to ensure the reliability and to achieve hydraulic stability of the designed system of heating supply network a residential neighborhood.

Contact information

- ^{1*} +7(906)2513209, Jamaldag@yandex.ru (Abdulaev Djamal, Student)
² +7(921)3865976, elena.markelova@zvo.fkp-uzks.ru (Markelova Yelena, PhD, Head Lecturer)
³ +7(981)1532120, alfredsabir@mail.ru (Sabirzyanov Alfred, Student)
⁴ +7(921)9864467, rubics@bk.ru (Mironov Nikita, Student)

References

- [1].Minko V.A., Seminenko A.S., Yelistratova Yu.V. Dopushcheniya i predposylki metodov gidravlicheskogo rascheta sistem otopeniya [Assumptions and prerequisites of methods of hydraulic calculation of heating systems] Advances in current natural sciences. 2014. №4. Pp. 114-118. (rus)
- [2].Moiseyev B.V., Bogomolov V.P., Shapoval A.F. Optimizatsiya raboty teplovykh setey v usloviyakh zapadnoy Sibiri [Optimization of thermal networks in Western Siberia] Higher Educational Institutions News. Oil and Gas-. 1997. №4. Pp. 58-62. (rus)
- [3].Sterligov V.A., Manukovskaya T.G., Kramchenko Ye.M. Sistemy vodyanogo teplosnabzheniya i otpusk teploty [Systems of water heating and tempering heat] Plumbing , Heating and Air Conditioning. 2012. №12 (132). Pp. 60-63. (rus)
- [4].Pashentseva L. V. Vliyaniye narusheniya gidravlicheskoy ustoychivosti na nadezhnost teplosnabzheniya [Effect of disturbances of the hydraulic stability of the reliability of heat supply] Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2012. №44. Pp. 85-88. (rus)
- [5].Sikerin I.Ye., Golyak S.A. Vliyaniye gidravlicheskogo rezhima seti teplosnabzheniya na teplovuyu ustoychivost abonentov [Influence of hydraulic mode heating network to heat resistance subscribers] Aktualnyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya. 2010. № 2. Pp. 20-22. (rus)
- [6].Tartkova Ye.V. Povysheniye teplovoy i gidravlicheskoy ustoychivosti sistem otopeniya [Increased thermal and hydraulic stability of heating systems] Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2008. Tom 2. Pp. 73-76. (rus)
- [7].Zhukov D.V. O gidravlicheskoy ustoychivosti sistem teplosnabzheniya i rabote sistem teplopotrebleniya pri izmenenii rezhimov [About the hydraulic stability of heating systems and the systems of heat when changing modes] Mezhvuzovskiy temacheskii sbornik nauchnykh trudov. Povysheniye effektivnosti obyektov teploenergetiki i sistem teplosnabzheniya. Omsk: OGUPS 2008. Pp. 23-27. (rus)
- [8].Ananina L.I. Pervak G.I. Gidravlicheskaya ustoychivost abonentskikh ustanovok [Hydraulic resistance of subscriber units] Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoy studencheskoy konferentsii. Moskva: MGUDT 2015. Pp. 12-14. (rus)
- [9].Belov A.A., Ozerov A.N., Usikov N.V., Shkondin I.A. Opredeleniye gidravlicheskoy ustoychivosti vodogreynogo kotla tipa KVGM-100 i minimalnogo raskhoda vody [Determination of hydraulic stability KVGM 100 and the minimum water flow] Thermal Engineering. 2016. №8. Pp. 67-76. (rus)
- [10].Balaman Ş. Y., Selim H. Sustainable design of renewable energy supply chains integrated with district heating systems: A fuzzy optimization approach. Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 133. Pp 863-885.
- [11].Yermakov R.L., Stennikov N.V. Vybora naladochnogo rezhima v otkrytykh sistemakh tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Selecting the adjustment mode in open systems, district heating] Thermal Engineering. 2008. № 11. Pp. 58-63. (rus)
- [12].Khavanov P.A., Solovyeva Ye.B. Proyektirovaniye na osnove teplotekhnicheskikh usloviy raboty i organizatsii teplovykh i gidravlicheskikh rezhimov raboty avtonomnykh kotelnitsh dlya ZhKKh [Design based on the thermal conditions of work and organization of thermal and hydraulic modes of independent boilers for utilities] Science Review. 2013. № 4. Pp. 128-130. (rus)
- [13].Sokolov Ye. Ya. Teplofikatsiya i teplovyye seti: Uchebnik [District heating and heat networks: Textbook] Izd-vo MEI. M. 1999. 321 p. (rus)
- [14].Avtushenko V.I., Chernykh O.N., Fedotov M.V., Nakhmurin S.S. Rabota gofirovannykh trub v razlichnykh gidravlicheskikh rezhimakh [Work corrugated pipes in various hydraulic conditions] Science and Engineering for Highways. 2011. № 4. Pp. 27a-29. (rus)
- [15].Kanina L.P., Chapkina G.A. Opyt resheniya voprosov kompleksnoy zashchity oborudovaniya sistem teplosnabzheniya pri perekhodnykh gidravlicheskikh rezhimakh [Experience solution for comprehensive protection equipment heating systems in hydraulic transient conditions] Thermal Engineering. 2008. № 4. Pp. 10-14. (rus)
- [16].Anichkhin A.G. Osobennosti gidravlicheskikh rezhimov sistem otopeniya [Features of hydraulic modes of heating systems] Plumbing , Heating and Air Conditioning. 2011. №6 (114). Pp. 37-39. (rus)
- [17].Lutsenko A.V. Optimizatsiya gidravlicheskikh rezhimov raspredelitelnykh teplovykh setey po tekhnologicheskim kriteriyam [Optimization of hydraulic modes of distribution heat networks on technological criteria] Trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Institut sistem energetiki im. L.A. Melentyeva SO RAN. Sistemnyye issledovaniya v energetike. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 2013. Pp. 37-44. (rus)
- [18].Zinger N.M. Gidravlicheskiye i teplovyye rezhimy teplofikatsionnykh sistem [Hydraulic and thermal modes of cogeneration systems]. M.: Energoatomizdat, 1986.
- [19].Pereverzev V. A. Spravochnik mastera teplovykh setey [Directory of master thermal networks] 2 izd., pererab. i dop. L.: Energoatomizdat, 1987. 272 p. (rus)
- [20].Gabrielaitiene I., Sunden B., Bøhm B. Evaluation of approaches for modeling temperature wave propagation in district heating pipelines. Heat transfer engineering. 2008. No.1. pp. 45-46.
- [21].Lauenburg P., Johansson P.O., Wollerstrand J. District heating in case of power failure. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.4. pp. 1176-1186.

- [22].Mostofizadeh C., Bohne D., Mergardt C. Use of district heating in summer for cold production with the aid of an absorption process. Applied thermal engineering. 2002. Vol. 22. No.6. pp. 577-586.
- [23].Karlsson K. B., Petrović S. N., Næraa R. Heat supply planning for the ecological housing community Munksøgård. Energy. 2016. Vol. 115. Part 3. pp 1733-1747.
- [24].Tian Y., Zhou Z., Wang Z. Connection Method between Urban Heat-supply Systems Based on Requirement of Limited-heating. Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. pp 386-393.
- [25].Baldvinsson I., Nakata T. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method. Energy. 2014. Vol. 74. pp. 537-554.
- [26].Vesterlund M., Toffolo A., Dahl J. Simulation and analysis of a meshed district heating network. Energy Conversion and Management. 2016. Vol. 122. pp 63-73.
- [27].Lake A., Rezaie B., Beyerlein S. Review of district heating and cooling systems for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 67. pp 417-425.
- [28].Comodi G., Lorenzetti M., Salvi D., Arteconi A. Criticalities of district heating in Southern Europe: Lesson learned from a CHP-DH in Central Italy. Applied Thermal Engineering. 2017. Vol.112. pp 649-659.
- [29].Zaytsev O.N., Lukyanchenko D.M., Perminov I.A., Petrekevich L.A. Teoreticheskiye issledovaniya teplovykh i gidravlicheskiykh protsessov pri kolichestvenno-kachestvennom regulirovanii teplonositelya v nagrevatelnykh priborakh [Theoretical studies of thermal and hydraulic processes in quantitative and qualitative control of the flow in the heating devices] Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2013. № 48. Pp. 73-79. (rus)
- [30].Zaytsev O.N., Petrekevich L.A., Lukyanchenko D.M. Sovershenstvovaniye sistem nizkotemperaturnogo vodyanogo otopeniya pri kolichestvenno-kachestvennom regulirovanii teplonositelya [Improved low-temperature hot water heating systems with quantitative and qualitative regulation of heat carrier] Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost. 2014. № 51. Pp. 109-112. (rus)
- [31].Makhov L.M., Usikov S.M. Gidravlicheskiy rezhim sistemy vodyanogo otopeniya pri avtomaticheskoy regulirovanii [The hydraulic system of water heating mode with automatic control] Vestnik MGSU. 2011. № 7. Pp. 243-252. (rus)
- [32].Nudler G.I., Tulchin I.K. Avtomatizatsiya inzhenernogo oborudovaniya zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Automation of engineering equipment of residential and public buildings]. M.: Stroyizdat, 1988. 223 p. (rus)
- [33].Chistovich S.A., Averyanov V.K., Tempel Yu.Ya., Bykov S.I. Avtomatizirovannyye sistemy teplosnabzheniya i otopeniya. L.: Stroyizdat, 1987 g. 248s.
- [34].Chistovich S. A. Avtomaticheskoye regulirovaniye raskhoda tepla v sistemakh teplosnabzheniya i otopeniya [Automatic heat flow control in heating and heating systems.]. L.: Stroyizdat. 1975. 128 p. (rus)
- [35].Sharapov V.I., Rotov P.V. Regulirovaniye nagruzki sistem teplosnabzheniya [Regulating load heating systems]. M.: Novosti teplosnabzheniya, 2007. (rus)
- [36].Zheng X.-J., You S.-J., Jiang N. Operational regulation schedule of district heating system with peak-load boiler in the secondary network. TIANJIN DAXUE XUEBAO. 2007. No.12. pp. 1511-1516.
- [37].Wernstedt F., Davidsson P. An agent-based approach to monitoring and control of district heating systems. Lecture notes in computer science. 2002. Vol. 2358. pp. 801.
- [38].Dotzauer E. Experiences in mid-term planning of district heating systems. Energy. 2003. Vol. 28. No.15. pp. 1545-1555.
- [39].Ahn J., Cho S., Chung D.H. Analysis of energy and control efficiencies of fuzzy logic and artificial neural network technologies in the heating energy supply system responding to the changes of user demands. Applied Energy. 2017. Vol 190. pp 222-231.
- [40].Weidlich I. Near Future Testing Requirements for Joints in Modern District Heating Networks. Energy Procedia. 2016. Vol. 95. pp 11-16.
- [41].Wade F., Shipworth M., Hitchings R. Influencing the central heating technologies installed in homes: The role of social capital in supply chain networks. 2016. Energy Policy. Vol. 95. pp 52-60.
- [42].Ilyukhin K.N., Melnikov A.P. Razrabotka uzla regulirovaniya, neobkhodimogo dlya povysheniya effektivnosti gidravlicheskogo rezhima magistralnoy i raspredelitelnoy teplovoy seti [Development control unit needed to improve the efficiency of the hydraulic regime of heat mains and distribution network] Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v trekh tomakh (Aktualnyye problemy stroitelstva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh zapadnoy Sibiri). Tyumen. : TGASU 2014. Pp. 102-106. (rus)
- [43].Shalay V.V., Fayzullin R.T. Vychislitel'naya sistema rascheta i optimizatsii tekhnologicheskikh rezhimov raboty mnogovetochnykh nefteprovodov i teplovykh setey krupnogo goroda [The computer system of calculation and optimization of technological modes of mnogovetochnykh oil and heat network of a large city] Open Education. 2011. №2-2. Pp. 248-251. (rus)
- [44].Skrupchenko A.S. Optimizatsiya teplogidravlicheskogo rezhima teplovykh setey [Optimization of thermal-mode heating networks] XI International Educational-Scientific-practical Conference "pipeline transport-2016. Ufa: UGNTU 2016. Pp. 377-379. (rus)

- [45].Ryabtsev V.I., Pletnev P.A. Korrektirovka gidravlicheskogo rezhima teplovykh setey pri ogranichenii teplopotrebleniya [Adjustment of the hydraulic regime of thermal networks while limiting heat] Promyshlennaya energetika. 2006. №7. Pp. 19-20. (rus)
- [46].Lutsenko A.V. Ierarkhicheskaya optimizatsiya gidravlicheskikh rezhimov teplosnabzhayushchikh sistem [Hierarchical optimization of hydraulic modes of heat supply systems] Trudy molodykh uchenykh k 55-letiyu instituta. Sistemnyye issledovaniya v energetike. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 2015. Pp. 21-28. (rus)
- [47].Dobersek D., Goricanec D. Optimization of tree path pipe network with nonlinear optimization method. Applied thermal engineering. 2009. Vol. 29. No.8-9. pp. 1584-1591.
- [48].Byun S., Park H., Yi S., Song C., Choi Y., Lee S., Shin J. Study on the optimal heat supply control algorithm for district heating distribution network in response to outdoor air temperature. Energy. 2015. Vol. 86. pp 247-256.
- [49].Putz S., Reiter P., Söll R. Smart Heat Supply in Austria within the PITAGORAS Project. Energy Procedia. 2016. Vol. 91. pp 573-577.
- [50].Morvaj B., Evins R., Carmeliet J. Optimising urban energy systems: Simultaneous system sizing, operation and district heating network layout. Energy. 2016. Vol. 116. Part 1. pp 619-636.
- [51].Guelpa E., Toro C., Sciacovelli A., Melli R., Sciubba E., Verda V. Optimal operation of large district heating networks through fast fluid-dynamic simulation. Energy. 2016. Vol. 102. pp 586-595.
- [52].Chernenkov V.P., Popov D.V. Upravleniye gidravlicheskim rezhimom teplovykh setey [Management hydraulic regime of thermal networks] Trudy Dalnevostochnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2003. № 134. Pp. 126-128. (rus)
- [53].Shinkarenko O.M. Korchak Ye.S. Dinamicheskaya ustoychivost drosselnykh reguliruyushchikh klapanov sistem upravleniya [Dynamic stability control valves throttle control systems] Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure. 2013. № 2. Pp. 30-35. (rus)
- [54].Melnikov V.M., Purim M.V., Karev D.S. Metody proyektirovaniya sovremennogo teplovogo punkta [Methods of designing modern heat point] Glavnyy energetik. 2014. № 7. Pp. 30-38. (rus)
- [55].Leonov A.M., Mikheyev V.A., Moskalenko T.V., Danilov O.S. Gidravlicheskiy raschet truboprovoda ot stantsii Ugolnaya do Neryungrinskoy GRES [Hydraulic calculation of pipe from the station to Neryungri Coal Power Plant] Mining Informational and Analytical Bulletin. 2009. Tom 10. № 12. Pp. 404-408. (rus)
- [56].Samarin O.D. Raschet poter davleniya v truboprovodakh teplovykh setey [Calculation of the pressure loss in the piping of heating networks] Plumbing , Heating and Air Conditioning. 2014. №4 (132). Pp. 56-59. (rus)
- [57].Petrichenko M.R., Kharkov N.S. Gidravlicheskiye poteri na osnovnom uchastke tsilindricheskogo kanala pri maloy intensivnosti zakrutki [Hydraulic losses in the main section of a cylindrical channel with a low spin rate] St. Petersburg State Polytechnical University Journal. 2008. № 63. Pp. 237-242. (rus)
- [58].Dmitriyev V.Z., Pobegayeva G.A. Puti snizheniya sverkhnormativnykh teplovykh poter v sisteme tsentralizovannogo teplosnabzheniya ot TETs [Ways to reduce excessive heat loss in the district heating system from the CHP] Mezhvuzovskiy temacheskiiy sbornik nauchnykh trudov. Povysheniye effektivnosti obyektov teploenergetiki i sistem teplosnabzheniya. Omsk: OGUPS 2008. Pp. 17-22. (rus)
- [59].Shtykov R.A. Algoritmy identifikatsii koeffitsiyenta gidravlicheskogo soprotivleniya magistralnykh truboprovodov v dinamicheskom rezhime [Algorithms for identifying coefficient of hydraulic resistance of pipelines in the dynamic mode] Energysaving and watertreatment. 2013. № 2 (82). Pp. 33-35. (rus)
- [60].Khasilev V.Ya., Merenkov A.P., Kaganovich B.M., Svetlov K.S., Takayshvili M.K. Metody i algoritmy rascheta teplovykh setey: Monografiya [Methods and algorithms for the calculation of heating networks: Monograph] Izd-vo: Energiya. M. 1978. 176 p. (rus)
- [61].Abramov N.N. Teoriya i metodika rascheta sistemy podachi i raspredeleniya vody [Theory and methodology of calculation of water supply and distribution system]. M.: Stroyizdat, 1972. 286 p. (rus)
- [62].Altshul A.D. Gidravlicheskiye soprotivleniya [Hydraulic resistance]. M.: Nedra, 1982. 224 p. (rus)
- [63].Idelchik I.Ye. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [Manual hydraulic resistance]. M., Gosenergoizdat, 1960. 463 p. (rus)
- [64].Tikhomirov K.V., Sergeyenko E.S. Teplotekhnika, teplogazosnabzheniye i ventilyatsiya [Heat engineering, Heat supply and ventilation]. M.: Stroyizdat, 1991., 480 p. (rus)
- [65].Varfolomeyev Yu. M. Otopleniye i teplovyye seti [Heating and Heat Networks]: uchebnik. M.: INFRA-M, 2006, 480 p. (rus)
- [66].Jie P., Kong X., Rong X., Xie S. Selecting the optimum pressure drop per unit length of district heating piping network based on operating strategies. Applied Energy. 2016. Vol. 177. pp 341-353.
- [67].Zeng J., Han J., Zhang G. Diameter optimization of district heating and cooling piping network based on hourly load. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 107. pp 750-757.
- [68].Kassina N.V., Smirnov L.V. Matematicheskoye modelirovaniye razvetvlyennykh gidravlicheskikh sistem [Mathematically modeling branched hydraulic systems] Computer Research and Modeling. 2009. Tom 1. № 2. Pp. 173-179. (rus)

- [69].Kassina N.V., Smirnov L.V. Matematicheskoye modelirovaniye dinamiki gidravlicheskih setey [Mathematical modeling of dynamics of hydraulic networks] Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Seriya: Matematicheskoye modelirovaniye i optimalnoye upravleniye. 2004. № 1. Pp. 132-138. (rus)
- [70].Batukhtin A.G., Kalugin A.V. Modelirovaniye sovremennykh sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Modelling of modern district heating systems] Proceedings of ISTU. 2011. № 8(55). Pp. 84-91. (rus)
- [71].Novitskiy N.N., Tokarev V.V., Shalaginova Z.I. Modeli i metody rascheta rezhimov bolshikh sistem teplosnabzheniya i ikh realizatsii v IVK «Angara-TS» [Models and methods for calculating the modes of large heating systems and their implementation in the CPI "Angara-TS"] Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii ISTE-20116: Tezisy dokladov. Informatsionnyye sistemy i tekhnologii v energetike i zhilishchno-kommunalnoy sfere. Irkutsk: NTMT 2011. Pp. 50-51. (rus)
- [72].Alekseyev A.V., Novitskiy N.N., Tokarev V.V., Shlaginova Z.I. Mnogourovnevoye modelirovaniye rezhimov bolshikh teplosnabzhayushchikh sistem metodami teorii gidravlicheskih tsepey [Multilevel modeling modes of large district heating systems using the theory of hydraulic circuits] Glava v knige. Truboprovodnyye sistemy energetiki. Razvitiye teorii i metodov matematicheskogo modelirovaniya i optimizatsii. Novosibirsk: Novosibirskiy filial Federalnogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriyatiya "Akademicheskoy nauchno-izdatelskiy i knigorasprostranitel'skiy tsentr "Nauka" 2008. Pp. 211-228. [rus]
- [73].Karasev N.I., Tomilova N.I. Klassy matematicheskikh modeley statsionarnykh gidravlicheskih rezhimov sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya [The classes of mathematical models of stationary hydraulic modes of district heating systems] University's works. 2007. Vol 4. Pp. 73-77. (rus)
- [74].Fu D.Z., Huang G.H. Development of optimization model for fuel supply in district heating system based on environment and heat demand joint constraints. Applied mechanics and materials. 2014. Vol. 535. pp. 309-314.
- [75].Lazzarin R., Noro M. District heating and gas engine heat pump: economic analysis based on a case study. Applied thermal engineering. 2006. Vol. 26. No.2-3. pp. 193-199.
- [76].Merkel E., McKenna R., Fehrenbach D., Fichtner W. A model-based assessment of climate and energy targets for the German residential heat system. Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. Part 4. pp 3151-3173.
- [77].Merkel E., Fehrenbach D., McKenna R., Fichtner W. Modelling decentralised heat supply: An application and methodological extension in TIMES. Energy. 2014 .Vol. 73. pp 592-605.
- [78].Danielewicz J., Śniechowska B., Sayegh M.A., Fidorów N., Jouhara H. Three-dimensional numerical model of heat losses from district heating network pre-insulated pipes buried in the ground. Energy. 2016. Vol.108. pp 172-184.
- [79].Tokarev V.V., Novitskiy N.N. Programmnyy kompleks dlya analiza gidravlicheskih rezhimov bolshikh teplosnabzhayushchikh sistem [The software package for the analysis of large hydraulic modes of heat supply systems] Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chelovek-Sreda-Vselennaya. Irkutsk: INITU 1997. Pp. 173-175 (rus)
- [80].Merenkov A.P., Svetlov K.S., Takayshvili M.K., Khasilev V.Ya. Ob avtomatizirovannykh sistemakh programm dlya rascheta gidravlicheskih rezhimov truboprovodnykh setey [On automated systems software for the calculation of hydraulic modes of pipeline networks] Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 1973. №3. Pp. 126-131. (rus)
- [81].Rafalskaya T.A. Sovershenstvovaniye metodov rascheta teplovykh i gidravlicheskih rezhimov i kompyuterizatsiya sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya [Perfection of methods of calculation of thermal and hydraulic regimes and computerization of district heating systems] Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata nauk. Novosibirsk: NGASU. 2003. 21 p. (rus)
- [82].Kudinov V.A., Kovalenko A.G., Kolesnikov S.V., Panamarev Yu.S. Razrabotka kompyuternoy modeli i issledovaniye rezhimov raboty tsirkulyatsionnoy sistemy Novokuibyshevskoy TETs -2 [Development of a computer model and research of modes of circulation system Novokuibyshev CHP -2] Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. 2001. № 6. Pp. 118-124. (rus)
- [83].Shalaginova Z.I. Programmno-vychislitelnyy kompleks «TIGRTSS» dlya issledovaniya rezhimnoy upravlyayemosti teplosnabzhayushchikh sistem, imeyushchikh promezhutochnyye stupeni regulirovaniye [Software and computer system "TIGRTSS" for the study of the regime of control of heat supply systems, with intermediate stages regulation] Statya v sbornike statey. Novyye informatsionnyye tekhnologii upravleniya razvitiyem i funktsionirovaniyem truboprovodnykh sistem energetiki. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 1993. Pp. 136-144. (rus)
- [84].Yurkevich A.A. Programmnyy kompleks po raschetu gidravlicheskih i teplovykh rezhimov zakrytykh i otkrytykh sistem teplosnabzheniya [Software system for calculation of hydraulic and thermal conditions of indoor and outdoor heating systems] Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu Izhhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta: v 5 chastyakh. Izhevsk: IGU im. M.T. Kalashnikova 2002. Pp. 288-293. (rus)
- [85].Kolesnikov S.V. Issledovaniye tolyattinskikh teplovykh setey na kompyuternoy modeli [Research Tolyatti heat networks on the computer model] Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series. 2014. №2 (42). Pp. 136-147. (rus)
- [86].Kolesnikov S.V., Kudinov I.V. Issledovaniye teplovykh setey tsentralizovannogo teplosnabzheniya na kompyuternoy modeli [The study of thermal networks of district heating in the computer model] Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series. 2014. № 4. Pp. 149-159. (rus)

- [87].Chekardovskiy M.N., Ilyukhin K.N., Ilin V.V., Aleynikov D.A., Melnikov A.P. Issledovaniye perspektivnykh gidravlicheskiykh rezhimov v teplovykh setyakh goroda Tyumeni [Research prospective hydraulic conditions in the heating networks of Tyumen] Modern problems of science and education. 2013. № 6. Pp. 26. (rus)
- [88].Tokarev V.V. Printsipy postroyeniya i realizatsii novoy informatsionno-vychislitel'noy tekhnologii dlya zadach ekspluatatsii teplovykh setey [Principles of construction and implementation of new information and computing technologies for the operation tasks of heat networks] Materialy XXVIII Konferentsii nauchnoy molodezhi Instituta sistem energetiki im. L.A. Melentyeva SO RAN. Trudy konferentsii molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Moskva: VINTI RAN 1998. Pp. 284-297. (rus)
- [89].Loginov K.V., Myznikov A.M., Fayzullin R.T. Raschet, optimizatsiya i upravleniye rezhimami raboty bolshikh gidravlicheskiykh setey [Calculation, optimization and control of operating modes large hydraulic networks] Matematicheskoe modelirovaniye. 2006. Vol. 18. № 9. Pp. 92-106. (rus)
- [90].Lutsenko A.V. Issledovaniye zadach i algoritmizatsiya metodov rascheta dopustimykh gidravlicheskiykh rezhimov teplovykh setey [Research objectives and methods of calculating allowable algorithmization hydraulic modes of thermal networks] Trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Institut sistem energetiki im. L.A. Melentyeva SO RAN. Sistemnyye issledovaniya v energetike. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 2012. Pp. 39-47. (rus)
- [91].Makhov L.M., Usikov S.M. Raschet peremennogo gidravlicheskogo rezhima raboty sistemy vodyanogo otopleniya [The calculation of the variable hydraulic operating mode water heating systems] ABOK: Ventilation, Heating, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics. 2014. №2. Pp. 54-62. (rus)
- [92].Grebneva O.A. Chislennoye issledovaniye zadachi planirovaniya rezhimov dlya gidravlicheskiykh ispytaniy teplovykh setey [Numerical study task scheduling modes for hydraulic tests of thermal networks] Trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Institut sistem energetiki im. L.A. Melentyeva SO RAN. Sistemnyye issledovaniya v energetike. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 2001. Pp. 48-56. (rus)
- [93].Kolesnikov S.V., Kudinov I.V., Yeregin A.V., Kolesnikova A.S., Branfileva A.N. Issledovaniye gidravlicheskiykh rezhimov raboty tsirkulyatsionnykh sistem TETs na kompyuternykh modelyakh [Study CHP hydraulic circulation systems operating modes on computer models] Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems. 2013. №7-9. Pp. 112-122. (rus)
- [94].Novitskiy N.N., Alekseyev A.V. Metody rascheta dopustimykh gidravlicheskiykh rezhimov raboty truboprovodnykh setey [Methods for calculating the permissible modes of hydraulic pipe networks] Glava v knige. Truboprovodnyye sistemy energetiki. Upravleniye razvitiyem i funktsionirovaniyem. Novosibirsk: Novosibirskiy filial Federal'nogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriyatiya "Akademicheskiy nauchno-izdatelskiy i knigorasprostranitel'skiy tsentr "Nauka" 2004. Pp. 361-372. (rus)
- [95].Novitskiy N.N., Alekseyev A.V. Razrabotka i realizatsiya metodov rascheta tekhnologicheskoy dopustimykh gidravlicheskiykh rezhimov truboprovodnykh sistem [Development and implementation of methods for calculating the technologically permissible modes of hydraulic piping systems] Glava v knige. Truboprovodnyye sistemy energetiki. Razvitiye teorii i metodov matematicheskogo modelirovaniya i optimizatsii. Novosibirsk: Novosibirskiy filial Federal'nogo gosudarstvennogo unitarnogo predpriyatiya "Akademicheskiy nauchno-izdatelskiy i knigorasprostranitel'skiy tsentr "Nauka" 2008. Pp. 228-236. (rus)
- [96].Rafalskaya T.A. Teoreticheskiye osnovy novoy teorii rascheta peremennykh teplovykh i gidravlicheskiykh rezhimov raboty teplovykh punktov tsentralizovannykh sistem teplosnabzheniya [The theoretical basis of a new theory of calculation of variable thermal and hydraulic modes of centralized heating units heating systems] Science and world. 2014. Vol. 1. №10 (14). Pp. 56-59. (rus)
- [97].Lutsenko A.V. Razrabotka i issledovaniye metodov strukturno-parametricheskoy optimizatsii gidravlicheskiykh rezhimov teplovykh setey [Development and research of methods of structural and parametric optimization of hydraulic regimes of thermal networks] Trudy molodykh uchenykh ISEM SO RAN. Institut sistem energetiki im. L.A. Melentyeva SO RAN. Sistemnyye issledovaniya v energetike. Irkutsk: ISE im. L.A. Melentyeva SO RAN 2014. Pp. 56-63. (rus)
- [98].Ryabtsev V.I., Pletnev P.A. Otsenka sozdaniya gidravlicheskogo rezhima ustanovki po podogrevu setevoy vody [Assessment of the creation of the hydraulic setting mode for the network to heating water] Elektricheskiye stantsii. 2006. №1. Pp. 23-26. (rus)
- [99].Rafalskaya T.A. Problemy upravleniya teplovymi i gidravlicheskiymi rezhimami teponositeley v sistemakh teplosnabzheniya pri tsentralnom regulirovaniy teplovoy nagruzki [Management problems of thermal and hydraulic regimes of heat transfer in heating systems with central regulation of the thermal load] Science and world. 2015. Tom 2. № 3 (19). Pp. 78-81. (rus)
- [100].Branfileva A.N., Stefanyuk Ye.V., Kolesnikov S.V., Skvortsova M.P. Povysheniye effektivnosti raboty teplosetey TETs [Improving the efficiency of heating CHP] Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series. 2015. № 1. Pp. 102-107. (rus)
- [101].Vatin N.I., Nemova D.V. Povysheniye energoeffektivnosti zdaniy detskikh sadov [Improving the energy efficiency of buildings kindergartens] Construction of Unique Buildings and Structures. 2012. № 3. Pp. 52-76. (rus)
- [102].Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Nemova D.V., Vatin N.I. Ekonomicheskaya effektivnost investitsiy v energosberezheniye [Cost-effectiveness of investments in energy efficiency] Inzhenernyye sistemy. AVOK – Severo-Zapad. 2014. № 3. Pp. 32-36. (rus)

- [103].Vatin N.I., Gamayunova O.S., Nemova D.V. Provedeniye energoaudita detskikh sadov s tselyu povysheniya energoeffektivnosti [Energy audit of kindergartens in order to increase energy efficiency] Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. № 9 (24). Pp. 71-83. (rus)
- [104].Gorshkov A.S., Vatin N.I., Rymkevich P.P. Realizatsiya gosudarstvennoy programmy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh i obshchestvennykh zdaniy [Implementation of the state program to improve the energy efficiency of residential and public buildings] Construction materials, the equipment, technologies of XXI century. 2014. № 1(180). Pp. 39-46. (rus)
- [105].Gorshkov A.S., Nemova D.V., Rymkevich P.P. Sravnitelnyy analiz zatrat teplovoy energii, ekspluatatsionnykh zatrat na otopeniye i zatrat toplivno-energeticheskikh resursov dlya mnogokvartirnogo zhilogo zdaniya pri razlichnykh minimalnykh trebovaniyakh k urovnyu teplovoy zashchity ograzhdayushchikh konstruksiy [Comparative analysis of the thermal energy consumption, operating costs and the cost of heating fuel and energy resources for the apartment building at different minimum requirements for the level of thermal protection of protecting designs] Krovельные и izolyatsionnyye materialy 2013. № 2. Pp. 34-39. (rus)
- [106].Gorshkov A.S. Model otsenki prognoziruyemogo sroka okupayemosti investitsiy v energosberezheniye [Evaluation model projected payback period of investment in energy efficiency] Vestnik MGSU. 2015. № 12. Pp. 136-146. (rus)
- [107].Ghafghazi S., Sowlati T., Sokhansanj S., Melin S. A multicriteria approach to evaluate district heating system options. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.4. pp. 1176-1186.
- [108].Adamo L., Cammarata G., Fichera A., Marletta L. Improvement of a district heating network through thermoeconomic approach. Renewable energy. 1997. Vol. 10. No.2-3. pp. 213-216.
- [109].Skaer M. The future of district heating and cooling. Engineered systems. 1995. Vol. 12. No.7. pp. 56-57.
- [110].Lygnerud K., Peltola-Ojala P. Factors impacting district heating companies' decision to provide small house customers with heat. Applied energy. 2010. Vol. 87. No.1. pp. 185-190.
- [111].Džiugaitė-Tumėnienė R., Motuzienė V., Šiupšinskas G., Čiuprinskas K., Rogoža A. Integrated assessment of energy supply system of an energy-efficient house. Energy and Buildings. 2017. Vol. 138. pp 443-454.
- [112].Zhiqiang K., Qin M., Xue Y., Guohui F., Hongbo F., Yixian Z. Analysis of the Energy Consumption and Economic for Combined Heating Supply System Based on Groundwater Heat Pump and Boiler Plant. Procedia Engineering. 2016. Vol. 146. pp. 530-535.
- [113].Verda V., Caccin M., Kona A. Thermoeconomic cost assessment in future district heating networks. Energy. 2016. Vol. 117. Part 2. pp. 485-491.
- [114].Nurgaleyev R.R., Suleymanova R.A. Povysheniye effektivnosti sistemy teplosnabzheniya [Improving the efficiency of the heating system] Innovatsionnaya nauka. 2016. №8-2. Pp. 70-73. (rus)
- [115].SP 124.13330.2012 Svod pravil. Teplovyye seti. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 41-02-2003 [Set of rules. Heating network. The updated edition of SNiP 41-02

Абдулаев Д.А., Маркелова Е.А., Сабирзянов А.Р., Миронов Н.Ю. Гидравлическая устойчивость тепловой сети // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С.67-85.

Abdulaev D.A., Markelova E.A., Sabirzyanov A.R., Mironov N.Yu. The hydraulic stability of the heating network. Construction of Unique Buildings and Structures, 2017, 1 (52), Pp. 67-85. (rus)