



ОТКРЫТАЯ НАУКА
издательство

Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 697.34:332.14:519.237.8

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Черных П.А.

ФГАОУ ВО "СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Красноярск, Россия (660041, Красноярский край, г. Красноярск, Свободный пр-кт, д. 79), e-mail: chernih84@gmail.com

Организация надёжного теплоснабжения объектов капитального строительства, функционирующих в условиях крайнего Севера и территорий с резко континентальным климатом, предполагает безусловное соблюдение требований по бесперебойной подаче теплоносителя в объёмах, соответствующих проектным нормативам, и с параметрами, удовлетворяющими технологическим и санитарно-гигиеническим нормам. Основопологающим фактором, определяющим возможность выполнения этих условий, выступает гидравлическая устойчивость тепловой сети — её способность сохранять заданные гидравлические характеристики при колебаниях внешних и внутренних нагрузок. В настоящей работе представлены результаты исследований, направленных на повышение уровня гидравлической устойчивости и стабилизацию гидравлических режимов в системах централизованного теплоснабжения, функционирующих в северных районах.

Ключевые слова: Северные территории, гидравлическая устойчивость, методы расчета потокораспределения, теплоснабжение, режимы работы, тепловая сеть.

IMPROVING THE OPERATING MODES OF HEATING NETWORKS FOR NORTHERN TERRITORIES

Chernykh P.A.

SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY, Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk region, Krasnoyarsk, Svobodny prospekt, 79), e-mail: chernih84@gmail.com

Providing reliable heating for buildings and infrastructure located in extreme northern and sharply continental climatic zones necessitates uninterrupted delivery of heat carrier in volumes consistent with design specifications and with parameters meeting technological and sanitary-hygienic requirements. A decisive factor enabling compliance with these conditions is the hydraulic stability of the heating network — its ability to maintain preset hydraulic characteristics despite fluctuations in external and internal loads. This paper presents research outcomes aimed at improving hydraulic stability and stabilizing hydraulic modes in district heating systems operating in northern areas.

Keywords: Northern territories, hydraulic stability, methods of calculating flow distribution, heat supply, operating modes, heating network.

Обеспечение устойчивой и эффективной работы систем централизованного теплоснабжения в условиях сурового климата — задача высокой научной и практической значимости. Особенно актуальна она для регионов Восточной Сибири, где перебои в подаче тепла могут привести не только к нарушению комфортных условий проживания, но и к аварийным ситуациям, угрожающим сохранности зданий и сооружений. Под гидравлической устойчивостью понимается способность тепловой сети сохранять заданные значения давлений и расходов теплоносителя в узлах подключения потребителей при изменениях как во внешних

(температура наружного воздуха, интенсивность ветра), так и во внутренних (изменение тепловой нагрузки, включение/отключение участков сети) условиях. Чем выше степень гидравлической устойчивости, тем меньше воздействие колебаний параметров сети на работу отопительных систем отдельных зданий — фактор, имеющий первостепенное значение для северных районов, где отклонения от расчётных режимов могут вызвать необратимые последствия, включая замерзание трубопроводов.

В работах [1–2] рассматриваются вопросы пространственного моделирования и визуализации гидравлических режимов, реализуемых на основе геоинформационных платформ и интегрированных в цифровую картографическую основу конкретного населённого пункта. Этот подход позволяет существенно повысить наглядность анализа и способствует принятию обоснованных управленческих решений при эксплуатации и реконструкции систем теплоснабжения. Предложенная в [1] методика предварительного анализа гидравлических характеристик городских тепловых сетей, базирующаяся на использовании открытой геоинформационной системы, учитывает не только геометрическое расположение источников теплоснабжения и протяжённость трубопроводных магистралей, но также в полной мере принимает во внимание особенности рельефа — что крайне важно при проектировании и диагностике сетей в труднодоступных и пересечённых районах Красноярского края, включая зоны вечной мерзлоты.

В публикации [3] приведены результаты мониторинга энергопотребления свыше 250 реально эксплуатируемых зданий, осуществлённого при помощи разработанной авторами автоматизированной системы сбора и анализа данных с тепловых пунктов. Такой подход позволяет с высокой достоверностью оценивать как тепловые, так и гидравлические параметры работы системы в реальном времени, выявлять отклонения от проектных показателей, а также оптимизировать настройки регулирующей арматуры. Данный метод особенно эффективен при анализе работы сетей в условиях северных территорий, где значительные сезонные перепады температур создают дополнительные сложности при балансировке системы.

В работах [4–6] подробно исследуется распределение тепловой энергии по инженерным системам зданий с различной степенью автоматизации — от полностью ручного управления до интеллектуальных систем с адаптивным регулированием. Приведены результаты численного моделирования реальных тепловых сетей централизованного теплоснабжения, включая сравнение расчётных и экспериментально измеренных параметров. Анализ показывает, что корректное управление гидравлическими режимами возможно только при комплексном подходе: сочетании математического моделирования, натурных замеров и последующей корректировки настроек регулирующих устройств. Отмечается, что стабильность расхода теплоносителя на стороне потребителя напрямую зависит от корректной работы регулирующих клапанов, установленных в индивидуальных тепловых пунктах (ИТП), и от их взаимодействия с системами автоматизации зданий.

В работах [7, 8] исследуются специфические аспекты гидравлической устойчивости применительно к открытым системам теплоснабжения с непосредственным водоразбором, широко распространённым в ряде районов Сибири. Предложены инженерные решения, направленные на повышение устойчивости гидравлических режимов в таких системах, в том числе за счёт перехода на закрытые схемы или модернизации существующей арматуры и схем подключения.

Количественно гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения характеризуется коэффициентом Y , определяемым как отношение расчётного (проектного) расхода теплоносителя V_p через систему конкретного потребителя к максимально возможному расходу V_{\max} , который может возникнуть при работе всей сети в нештатных режимах (например, при отключении части потребителей или резком изменении наружной температуры).

Для зданий с отлаженными автоматизированными тепловыми пунктами Y равен:

$$Y = \frac{V_p}{V_{\max}} = \sqrt{\frac{\Delta H_{аб}}{H_{сг}}} = \sqrt{\frac{\Delta H_{аб}}{\Delta H_{аб} + \Delta H_{сет}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\Delta H_{сет}}{\Delta H_{аб}}}}$$

Гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения зданий тем больше, чем меньше потеря напора в тепловой сети $\Delta H_{сет}$ и чем больше потеря напора на вводе тепловой сети в здание $\Delta H_{аб}$. Поэтому для повышения гидравлической устойчивости системы следует все избытки напора, имеющиеся в сети, поглощать при помощи сопротивлений (балансируемых клапанов) и регулирующих клапанов на тепловых пунктах зданий.

Для зданий, оборудованных современными автоматизированными тепловыми пунктами с дросселирующими и регулирующими устройствами, значение Y стремится к единице, что свидетельствует о высокой степени независимости системы отопления от колебаний параметров в магистральной сети. Согласно аналитическим соотношениям, гидравлическая устойчивость напрямую возрастает при снижении потерь напора в основной тепловой сети и увеличении потерь напора на вводе в здание (например, за счёт установки балансируемых клапанов). Следовательно, для повышения устойчивости целесообразно искусственно «поглощать» избыточный напор не в магистралях, а непосредственно на ИТП — с помощью правильно подобранных дроссельных и регулирующих органов.

В процессе эксплуатации тепловых сетей изменение расходов (например, из-за сезонного переключения на летний режим, ремонтных работ или подключения новых абонентов) неизбежно приводит к нарушению гидравлической устойчивости. В связи с этим особое внимание уделяется мероприятиям по уравниванию тепловых нагрузок и выравниванию давлений в различных узлах сети. Для обеспечения безопасной и надёжной эксплуатации требуется строгое ограничение диапазона допустимых давлений как в подающем, так и в обратном трубопроводах — как в статических (при остановленных насосах), так и в динамических (при работающем насосном оборудовании) режимах.

Так, максимальное давление в подающей магистрали, как правило, ограничено прочностными характеристиками оборудования и не должно превышать 160 м вод. ст. Минимальное же давление в подающем трубопроводе определяется из условия предотвращения вскипания теплоносителя — особенно критично при высоких температурах (например, 150 °С), поскольку даже кратковременное вскипание может вызвать гидравлические удары и отказы оборудования.

В обратной магистрали максимальное давление обычно лимитируется прочностью наиболее уязвимых компонентов, например, чугунных радиаторов отопления, подключённых по зависимой схеме, и не превышает 60 м вод. ст. Минимальное давление в обратке регламентируется необходимостью исключения завоздушивания систем — воздух в трубопроводах снижает теплоотдачу, вызывает кавитацию насосов и коррозионные процессы.

Сравнительный анализ пьезометрических графиков, построенных для

гидростатического и гидродинамического режимов, с предельно допустимыми значениями давлений позволяет своевременно выявлять угрозы: вскипания теплоносителя при пониженном давлении в подающей линии, завоздушивания систем при недостаточном давлении в обратном трубопроводе, механического разрушения оборудования при превышении верхних пределов давления.

Кроме того, такой анализ даёт возможность оценить общую работоспособность системы при аварийных, пиковых или переходных режимах, отличных от проектных.

Наиболее эффективным инженерным решением для поддержания давлений в допустимых пределах является организация регулируемой зоны давления — так называемой нейтральной точки. Эта точка располагается, как правило, на байпасной линии, соединяющей нагнетательный и всасывающий коллекторы сетевых насосов. В нейтральной точке поддерживается постоянное заданное давление, которое служит управляющим сигналом для автоматики: при падении давления ниже нормы включается подпиточный насос, а при его превышении — активируется дренажный клапан, сбрасывающий избыточную воду в контур подготовки подпиточной воды. При этом обеспечивается непрерывная циркуляция теплоносителя через байпас, что позволяет сохранять стабильный напор в системе даже при частичной загрузке насосного оборудования. Регулирование давления в нейтральной точке осуществляется посредством управления степенью открытия запорно-регулирующей арматуры. При полной остановке насосов в системе сохраняется гидростатический напор, равный проектному значению, определяемому высотой расположения расширительного бака или параметрами подпиточной установки.

Вывод.

Для разработки эффективных мероприятий, направленных на повышение гидравлической устойчивости и стабилизацию гидравлических режимов в тепловых сетях, функционирующих в условиях северных территорий, необходимо осуществлять комплексное компьютерное моделирование как расчётных, так и возможных нештатных (аварийных, ремонтных, пиковых) режимов работы систем теплоснабжения с учётом перспективного подключения дополнительных потребителей, поскольку только такой системный подход, сочетающий в себе прогнозирование динамики нагрузок, анализ пространственного распределения параметров сети и учёт особенностей местного рельефа и климата, позволяет обеспечить надёжную, устойчивую и энергоэффективную эксплуатацию тепловых сетей в экстремальных климатических условиях и, как следствие, гарантировать бесперебойное теплоснабжение населения и объектов инфраструктуры в северных регионах страны.

Список литературы

1. Липовка Ю.Л., Липовка А.Ю., Венин А.С. Компьютерная визуализация гидравлических режимов городских тепловых сетей на базе гис-технологий // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2025. № 8 (800). С. 98-106.
2. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Липовка А.Ю., Колосов М.В. Использование геоинформационных систем в решении задач проектирования тепловых сетей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2023. № 11 (779). С. 60-72.

3. Колосов М.В., Липовка Ю.Л. Анализ режимов работы горячего водоснабжения с использованием разработанной системы мониторинга // Региональная архитектура и строительство. 2024. № 3 (60). С. 163-174.
4. Липовка Ю.Л., Панфилов В.И., Липовка А.Ю., Тучин А.В. Математическое моделирование потокораспределения на тепловых пунктах // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 3 (53). С. 65-67.
5. Липовка Ю.Л., Панфилов В.И. Экспериментальное изучение потокораспределения на автоматизированных тепловых пунктах // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 2 (52). С. 52-54.
6. Калабин, Д.А., Липовка, А.Ю., Липовка, Ю.Л. Компьютерное моделирование и натурные замеры потокораспределения действующей тепловой сети // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 1 (156). С. 44-56.
7. Липовка Ю.Л. Влияние непосредственного водоразбора на режимы работы последовательно включенных теплообменников // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1979. № 6. С. 95-100.
8. Липовка Ю.Л., Венин А.С., Михайлова А.С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 6 (122). С. 53-56.

References

1. Lipovka Yu.L., Lipovka A.Yu., Venin A.S. Computer visualization of hydraulic modes of urban heating networks based on GIS technologies // News of higher educational institutions. Construction. 2025. No. 8 (800). pp. 98-106.
 2. Lipovka Yu.L., Venin A.S., Lipovka A.Yu., Kolosov M.V. Using geographic information systems in solving problems of heating network design // News of higher educational institutions. Construction. 2023. No. 11 (779). pp. 60-72.
 3. Kolosov M.V., Lipovka Yu.L. Analysis of hot water supply operating modes using the developed monitoring system // Regional architecture and construction. 2024. No. 3 (60). pp. 163-174.
 4. Lipovka Yu.L., Panfilov V.I., Lipovka A.Yu., Tuchin A.V. Mathematical Modeling of Water Flow Distribution at Heating Substations // Energy Saving and Water Treatment. 2008. No. 3 (53). pp. 65-67.
 5. Lipovka Yu.L., Panfilov V.I. Experimental Study of Water Flow Distribution at Automated Heating Substations // Energy Saving and Water Treatment. 2008. No. 2 (52). Pp. 52-54.
 6. Kalabin, D.A., Lipovka, A.Yu., Lipovka, Yu.L. Computer Modeling and In-kind Measurements of Water Flow Distribution in an Operating Heating Network // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2021. Vol. 25. No. 1 (156). pp. 44-56.
 7. Lipovka Yu.L. The Influence of Direct Water Draw-off on the Operating Modes of Series-Connected Heat Exchangers // News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture. 1979. No. 6. pp. 95-100.
 8. Lipovka Yu.L., Venin A.S., Mikhailova A.S. Hydraulic Regime of a Heating Network During the Transition from an Open to a Closed Heat Supply System // Energy Saving and Water Treatment. 2019. No. 6 (122). pp. 53-56.
-