УДК 697.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОПРОВОДОВ ПРИ НЕУСТОЙЧИВОМ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИИ

IMPROVEMENT OF THERMOHYDRAULIC REGIMES OF HEAT PIPELINES IN THE CONDITIONS OF UNSTABLE HEAT CONSUMPTION

Ю. Д. Земенков, Б. В. Моисеев, Н. В. Налобин, С. М. Дудин
Yu. D. Zemenkov, B. V. Moiseev, N. V. Nalobin, S. M. Dudin

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень

Ключевые слова: ***схема теплового пункта; теплогидравлические режимы теплопроводов***
Key words: ***layout of heating station; thermohydraulic regimes of heat pipelines***

Энергоэффективное и надежное теплоснабжение объектов в нефтегазодобывающем регионе Западной Сибири с характерными для нее суровыми климатическими условиями — главный фактор, определяющий комфортность жизнедеятельности населения, развитие экономики и промышленности. На цели теплоснабжения расходуется ежегодно до 400 млн т у. т. — 45 % от всего внутреннего потребления топливно-энергетических ресурсов. При этом в структуре потребления теплоты свыше 50 % приходится на социально значимые секторы экономики. Именно в теплоснабжении заложены наиболее крупные резервы энергосбережения, достигающие 40–50 % от всего теплопотребления [1].

Мероприятия, способствующие энергосбережению в системах теплоснабжения, можно условно разделить по месту их внедрения: у источников теплоты, в магистральных, разводящих сетях и у потребителей теплоты. Как показали последние годы, перебои в теплоснабжении ведут к остановкам промышленного производства и ухудшению работы систем

жизнеобеспечения. Поэтому поддержание стабильной и эффективной работы системы теплоснабжения является актуальной задачей. Эффективная работа системы теплоснабжения во многом зависит от ее теплогидравлических режимов.

В системе теплоснабжения функционально определяющими параметрами являются: располагаемый напор теплоносителя по сети и у абонентов; температура теплоносителя в подающих и обратных магистралях; разность этих температур; скорость движения теплоносителя по трубам сети. Все эти величины прямо или косвенно зависят от гидравлического и теплового режимов сети. Так как имеет место взаимозависимость между тепловыми и гидравлическими параметрами, можно говорить о совокупности теплогидравлических характеристик искомой теплосети. Определяющим критерием для выбора схем присоединения водоподогревателей горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения принимают соотношение максимальных нагрузок горячего водоснабжения $Q_{\text{ГВС}}^{\text{макс}}$ и отопления $Q_{\text{О}}^{\text{макс}}$. Так, при их соотношении $Q_{\text{ГВС}}^{\text{макс}} / Q_{\text{О}}^{\text{макс}} \le 0{,}2$ применяют одноступенчатую последовательную схему с предвключенным или параллельно включенным подогревателем. При соотношении $0{,}2 < Q_{\text{ГВС}}^{\text{макс}} / Q_{\text{О}}^{\text{макс}} < 1{,}0$ применяют двухступенчатые смешанные или последовательные схемы. В этих схемах подогреватель ГВС разделен на две ступени. При соотношении $Q_{\text{ГВС}}^{\text{макс}} / Q_{\text{О}}^{\text{макс}} > 1{,}0$ применяют одноступенчатую параллельную схему [2, 3].

При проектировании схем тепловых пунктов (ТП) при закрытой системе теплоснабжения (ЗСТ) основным вопросом является выбор схемы присоединения подогревателей горячего водоснабжения (ПГВ). Выбранная схема определяет расчетные расходы теплоносителя, режим регулирования и пр. Выбор схемы присоединения, прежде всего, определяется принятым температурным режимом тепловой сети (ТС). При работе тепловой сети по отопительному графику выбор схемы присоединения следует производить на основе технико-экономического расчета — путем сравнения параллельной и смешанной схем.

Смешанная схема может обеспечить более низкую температуру обратной воды в целом от теплового пункта по сравнению с параллельной, что, помимо снижения расчетного расхода воды для тепловой сети, обеспечивает более экономичную выработку теплоэнергии на тепловом источнике. Исходя из этого, в практике проектирования при теплоснабжении предпочтение при отопительном графике температур отдается смешанной схеме.

При повышенном графике температур в закрытых системах теплоснабжения схема присоединения может быть смешанной или последовательной двухступенчатой. Авторами был разработан алгоритм для выполнения расчетов на ЭВМ, и получены зависимости расходов сетевой воды на ТП при различных схемах присоединения подогревателей ГВС и максимальной нагрузке горячего водоснабжения (ГВ) (рис. 1).

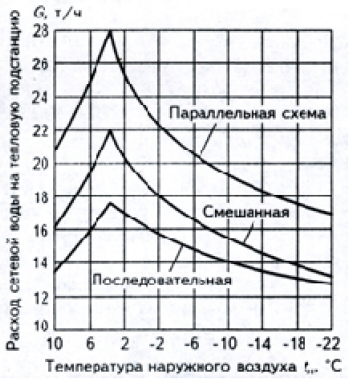

Рис. 1. ***Зависимость изменения расхода сетевой воды на ТП при различных схемах***

Наибольшие расходы сетевой воды отмечаются при параллельной схеме, а наименьшие — при последовательной схеме включения подогревателей ГВС (см. рис. 1). Снижение расходов сетевой воды способствует снижению удельной стоимости наружных тепловых сетей [4].

В настоящее время наиболее часто в тепловых пунктах применяется смешанная схема присоединения подогревателей горячего водоснабжения при ограничении расхода сетевой воды. Достоинством схемы является уменьшение расчетных расходов сетевой воды и отсутствие перетопов в переходный период отопительного сезона. Особенностью двухступенчатого смешанного подключения подогревателей горячего водоснабжения является использование теплоты воды после системы отопления в первой по ходу нагреваемой воды ступени. Это позволяет снизить расход сетевой воды на нужды горячего водоснабжения по сравнению с параллельной схемой. Отработанная сетевая вода II-й ступени смешивается с водой после системы отопления и также направляется в I-ю ступень [5, 6]. Расчет подогревателей при смешанной схеме включения (рис. 2) производится

при условии, что температура сетевой воды на выходе из II-й ступени равна температуре воды после системы отопления ($\tau_{2г} = \tau_{2о}$), а недогрев водопроводной воды в I-й ступени подогревателя принимаем $\Delta t_н^{из}$ = 10 ^{0}С. При этих условиях, когда температура обратной сетевой воды максимальна ($\tau_{2,о}$ = 70 ^{0}С), нагрев водопроводной воды до $t_г$ = 60 ÷ 65 ^{0}С происходит в I-й ступени.

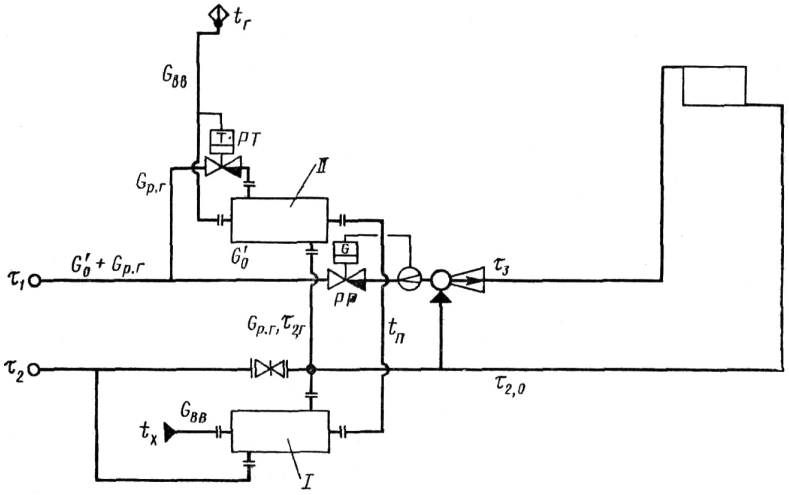

Рис. 2. ***Расчетная схема теплового пункта с двухступенчатым смешанным подключением подогревателей горячего водоснабжения***

Если нагрузка горячего водоснабжения превосходит среднечасовую, или если температура обратной сетевой воды уменьшается ($\tau_{2,о}$ < 70 ^{0}С), то теплоты греющей воды в ступени *I* становится недостаточно для полного нагрева водопроводной воды. Водопроводная вода окончательно догревается до нормы в ступени *II* подогревателя. Следовательно, дополнительный расход сетевой воды на горячее водоснабжение необходим лишь для догрева водопроводной воды в ступени *II*. Ступень *I* максимально нагружена при расчетной температуре обратной воды ($\tau_{2,о}$). Доля нагрузки на ступень *II* возрастает в моменты пика водоразборов и в режимах повышения температуры наружного воздуха.

Подбор подогревателей производится по режиму работы тепловой сети при $t_н^{из}$. Тепловая производительность установки принимается: $Q_{р.г.} = Q_г^{макс}$ при отсутствии аккумуляторов горячей воды; $Q_{р.г.} = Q_{ср.г}$ при наличии аккумуляторов.

Расчетная тепловая нагрузка горячего водоснабжения в количестве

$$Q_{р.г.} = \frac{G_{р.в.в} c (t_г - t_х)}{3600} \quad (1)$$

распределяется на обе ступени подогревателя

$$Q_{р.г.} = Q_I''' + Q_{II}''', \quad (2)$$

где Q_I''' и Q_{II}''' — тепловые производительности ступеней *I* и *II* при $t_н'''$, кВт; $G_{р.в.в}$ — расход водопроводной воды, кг/ч. Тепловую производительность ступени *I* можно выразить через параметры нагреваемой воды

$$Q_I''' = \frac{G_{р.в.в} c (t_п''' - t_х)}{3600}, \quad (3)$$

где $t_п'''$ — температура водопроводной воды после ступени *I* при $t_н'''$, равная

$$t_п''' = \tau_{2,о}''' - \Delta t_н. \quad (4)$$

По заданной нагрузке горячего водоснабжения из формулы (1) определяется величина водоразбора $G_{\text{р.в.в}}$, а затем по формуле (3) находится тепловая нагрузка ступени *I*.

Тепловую производительность ступени *II* подогревателя находят по уравнению (2).

Тепловая производительность ступени *II* может быть записана в виде

$$Q_{\text{II}}''' = \frac{G_{\text{р.г}} c(\tau_1''' - \tau_{2,\text{г}}''')}{3600}, \qquad (5)$$

откуда находят искомый расход греющей сетевой воды.

Далее необходимо определить температуру сетевой воды после подогревателя ступени *I* (τ_2'''), для этого теплопроизводительность ступени *I* выразим через параметры греющей воды

$$Q_{\text{I}}''' = \frac{(G_{\text{о}}' + G_{\text{р.г}}) c(\tau_{2,\text{о}}''' - \tau_2''')}{3600}. \qquad (6)$$

Таким образом, зная температуры теплоносителей на входе и выходе, вычисляем среднелогарифмические температурные напоры. Далее выполняется расчет поверхностей нагрева и количества секций для обеих ступеней подогревателя по аналогии с отопительными подогревателями. Рекомендуется выбирать подогреватели в каждой секции одного типоразмера.

Нагрузка горячего водоснабжения жилых и общественных зданий имеет ярко выраженный, пикообразный характер, резко изменяющийся по часам в течение суток и по дням недели. Стремление сократить расход воды в тепловой сети привело к появлению новых схем присоединения нагрузок горячего водоснабжения в тепловых пунктах и новых методов регулирования отпуска теплоты. Это значительно усложнило тепловые и гидравлические режимы теплофикационных систем.

Для решения проблем, вызванных неустойчивым абонентским теплопотреблением, необходимо применять блочные автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (БАИТП). Они изготавливаются в заводских условиях и поставляются на объект строительства уже в виде готовых блоков в зависимости от тепловых нагрузок — $Q_{\text{о}}$ и $Q_{\text{гв}}$. БАИТП представляет собой собранные на раме в общую конструкцию отдельные узлы в комплекте с приборами и устройствами контроля, автоматического регулирования и управления. Принципиальная тепловая схема такого БАИТП приведена на рис. 3, в которой реализуются различные схемные решения, применяется современная автоматика и набор оборудования [7, 8].

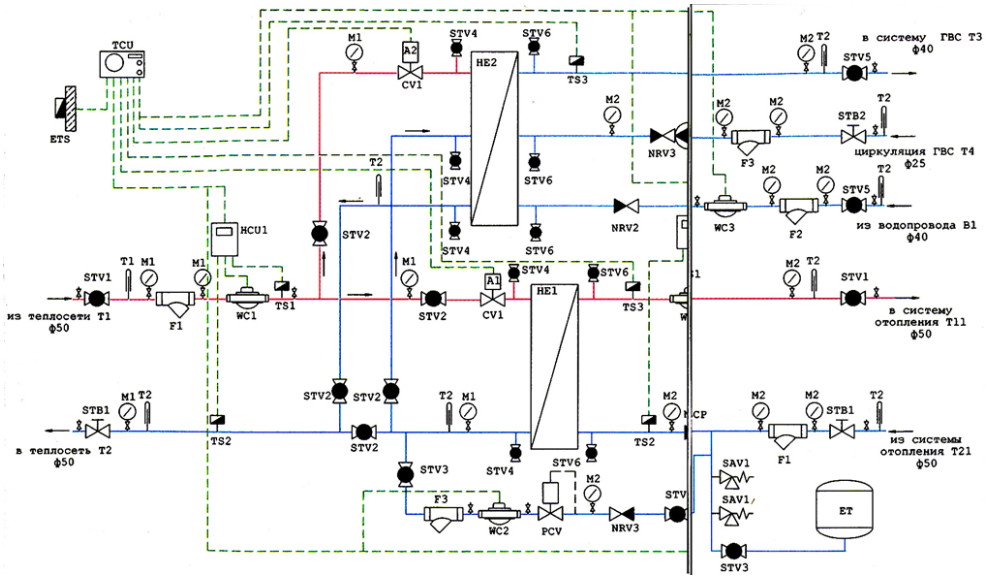

Рис. 3. ***Принципиальная тепловая схема БАИТП***

Основные преимущества БАИТП — это компактность, модульный принцип заводской сборки, широкий диапазон тепловых нагрузок, энергоэффективность, улучшение качества и уменьшение расхода горячей воды, снижение давления во внутренних сетях и уменьшение эксплуатационных затрат. Тепловые пункты комплектуются разборными или паянными пластинчатыми теплообменниками, бесфундаментными, бессальниковыми, бесшумными насосами, приборами учета тепловой энергии и воды, системой централизованного регулирования и диспетчеризации, контрольно-измерительными приборами, запорной арматурой и фильтрами. Управление работой оборудования БАИТП и регулирование режимов отпуска теплоты и воды потребителю осуществляется автоматически, без постоянного присутствия обслуживающего персонала.

Таким образом, исследования и выполненные расчеты позволили авторам дать рекомендации, направленные на снижение энергопотребления и увеличение надежности системы теплоснабжения.

- Предлагается постепенно заменять неавтоматизированные тепловые пункты на блочные автоматизированные индивидуальные.
- Мониторинг и последующий анализ работы БАИТП с пластинчатыми теплообменниками показали следующие результаты: средняя экономия тепловой энергии за отопительный сезон составила до 27 %, а в весенний и осенний периоды — до 45 %; циркуляционный расход сетевой воды снизился до 25 %; экономия электроэнергии на перекачку теплоносителя составила до 15 %; объем подпитки на источнике энергии уменьшился до 30 %; улучшились теплогидравлические режимы работы всей системы теплоснабжения.
- Рекомендации и методические указания по внедрению БАИТП могут использоваться нефтегазодобытчиками Тюменского Севера.

Исследования выполнялись в рамках целевой комплексной программы «Нефть и газ Западной Сибири», а также общеобластной программы «Энергосбережение в Тюменской области».

Список литературы

1. Илюхин К. Н., Налобин Н. В. Повышение энергоэффективности и снижение теплопотерь в системах теплоснабжения нефтегазовых объектов на севере Западной Сибири. – СПб: Недра, 2007. – 114 с.
2. СНиП 41-02-2003*. Тепловые сети. – М.: Госстрой России, 2003. – 44 с.
3. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. – М.: Минстрой России, 1997. – 41 с.
4. Моисеев Б. В., Голуб М. Р., Бессонова Н. С. Потребители теплоты. Учебное пособие. – Тюмень: ТюмГАСУ, 2015. – 99 с.
5. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – 6-е изд. – М.: МЭИ, 2003. – 472 с.
6. Водяные тепловые сети: справочное пособие под ред. Н. К. Громова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
7. Чистович С. А., Харитонов В. Б. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления. – СПб: АВОК Северо-запад, 2008. – 304 с.
8. Фаликов В. С., Витальев В. П. Автоматизация тепловых пунктов. Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.

Сведения об авторах

Земенков Юрий Дмитриевич, *д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru*

Моисеев Борис Вениаминович, *д. т. н., профессор, Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931*

Налобин Никита Владимирович, *к. т. н., Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931*

Дудин Сергей Михайлович, *сотрудник кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931*

Information about the authors

Zemenkov Yu. D.*, Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Transport of hydrocarbon resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru*

Moiseev B. V.*, Doctor of Engineering, professor, Tyumen State Architectural and Building University, phone: 8(3452)201931*

Nalobin N. V., *Candidate of Science in Engineering, Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)201931*

Dudin S. M.*, scientific worker of the chair «Transport of hydrocarbon resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)201931*