

## Совершенствование системы управления режимами работы централизованного горячего водоснабжения от центрального теплового пункта

*А.В. Ениватов, И.Н. Артемов, Н.О. Девяткин*

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск*

**Аннотация:** В работе проведен обзор применения в центральных тепловых пунктах (ЦТП) технологий и оборудования по повышению энергетической эффективности и качества теплоснабжения от систем централизованного теплоснабжения. Приведены основные характеристики системы горячего водоснабжения, принятого в качестве примера ЦТП «МГУ». Описан способ выбора тепловой схемы ЦТП соотношения максимальных нагрузок горячего водоснабжения и отопления. Для принятого примера ЦТП на основании приведенных характеристик основным показателем энергетической эффективности является удельный расход электрической энергии на транспорт тепловой энергии. Факторы, оказывающие наибольшее влияние на данный показатель: коэффициент неравномерности потребления «горячей воды»; качество регулирования отпущенного в сеть ГВС «горячей воды»; точность управления производительностью повысительной и циркуляционной насосных станций. Определена нормативная суммарная мощность приводов насосов 13,58 кВт и диапазон фактической мощности от 10,79 кВт до 22,04 кВт. Для снижения влияния факторов в схеме управления предложено применение регуляторов расхода (напора) по поддержанию постоянного перепада давления прямого действия. В качестве уравнивающих сил для данного регулятора следует использовать давление (разность давлений) горячей воды отпущенного в систему ГВС и возвращенного из системы. Определены параметры горячей воды рациональных режимов работы системы ГВС от ЦТП «МГУ»: температура горячей воды на выходе из теплообменного оборудования 75 °С; давление горячей воды на выходе из теплообменного оборудования 45 м; давление горячей воды на входе циркуляционного насоса 25 м. Реализация предложенного варианта без инерционной схемы управления температурой «горячей воды» и разработанных рациональных режимов работы системы ГВС, по выполненной оценке показателей эффективности, позволит снизить удельный расход электрической энергии в ЦТП на 28,4 % с 0,631 кВт\*ч/м<sup>3</sup> до 0,452 кВт\*ч/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** центральный тепловой пункт, гидравлический режим, регулятор расхода, характеристика насоса.

### Введение

Системы централизованного теплоснабжения (далее СЦТ) претерпевают изменения в сторону децентрализации. Развивается строительство автономных источников тепловой и электрической энергии как для промышленных предприятий, так и для административно- бытовых и

торговых комплексов, а также для объектов здравоохранения, образования и культуры. «Отрыв» данных объектов от традиционных СЦТ приводит к снижению возможности для своевременной реконструкции и модернизации с применением современных технологий и оборудования. Ограничения в тарифной политике также не способствуют реализации инвестиционных проектов. Прежде всего сокращаются мероприятия по обеспечению и повышению качества теплоснабжения.

Модернизация ЦТП также идет с запозданием. Применяемые технологии существенно не изменились. Вместо кожухотрубных теплообменных аппаратов применяют пластинчатые. Схема управления и применяемые режимы остались без изменения [1-3]. В то же время проводится много работ, касающихся применения технологий по повышению теплопередачи и очистки теплообменного оборудования [4,5]. Например, работы по применению дополнительного оборудования по снижению «перетоков» и «недогрева», в том числе и системах управления режимами приготовления и транспортировки горячей воды в ЦТП [6,7]. Среди таких технологий и оборудования можно выделить импульсные технологии циркуляции теплоносителя, применение теплонасосных устройств для расширения температурного графика, применение преобразователей избыточного давления теплоносителя и т.д.

## **1. Общие сведения и анализ систем горячего водоснабжения от ЦТП**

Для примера принят ЦТП «МГУ» СЦТ от Саранской ТЭЦ-2, к которой подключены отдельные учебные корпуса, общежития и прочие (бассейн, комбинат питания и т.д.) здания ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева». Подогрев воды системы ГВС осуществляется пластинчатым теплообменным аппаратом АО «Ридан» НН-47-16/2-70-ТКТМ50 в количестве двух шт.

Циркуляция теплоносителя осуществляется насосом марки КМ 40-32-180/2-5. Повышение давления исходной воды в условиях максимального водозабора, или тех или иных причин заниженного давления в водопроводе осуществляется насосом КМ 100-80-160. Управление (поддержание на заданном уровне) температурой подготовленного теплоносителя осуществляется системой управления, включающей: клапан регулирующий КР 25с 947нж с электроприводом фланцевый, блок управления микропроцессорный ТРМ 32 - Щ7 - ТС – RS и датчик температуры ДТС 035 Л - 100М.В2.60, ДТС 125 Л.И. По температуре горячей воды управляется расходом греющего теплоносителя. Суммарная средненедельная тепловая нагрузка на цели ГВС от ЦТП «МГУ» составляет 1,068 Гкал/ч. Общая протяженность сети ГВС в однотрубном исчислении составляет 2030 м; средний наружный диаметр трубопроводов по материальной характеристике – 0,052 м.; объем трубопроводов сетей ГВС – 4,08. Все сети подземного типа прокладки, с годом прокладки и реконструкции после 2004 г.

Главным критерием для выбора схем присоединения теплообменных аппаратов горячего водоснабжения в закрытых системах ЦТП было принято соотношение максимальных нагрузок горячего водоснабжения и отопления (при соотношении меньшей 0,2 применяют одноступенчатую последовательную схему с предвключённым или параллельно включенным подогревателем; при соотношении от 0,2 до 1,0 применяют двухступенчатые смешанные или последовательные схемы; при соотношении более 1,0 применяют одноступенчатую параллельную схему) [8].

Соответственно, при параллельном включении теплообменного аппарата расход сетевой воды равен сумме ее расходов на отопление и горячее водоснабжение. При последовательной схеме включения теплообменного аппарата, он равен только ее расходу на отопление.

Тепловая нагрузка горячего водоснабжения при этом покрывается частичным охлаждением сетевой воды, поступившей в систему отопления. В смешанной схеме первая ступень подогревателя ГВС включена последовательно с системой отопления на обратной линии сетевой воды, а вторая ступень подключена к тепловой сети параллельно с системой отопления. При этом заблаговременный подогрев водопроводной воды происходит за счет охлаждения сетевой воды после системы отопления, что снижает тепловую нагрузку второй ступени и уменьшает суммарный расход сетевой воды на ГВС.

## **2. Анализ факторов, влияющих на показатели эффективности системы ГВС**

Эффективность системы централизованного горячего водоснабжения оценивается следующими показателями: удельный расход электрической энергии на транспорт тепловой энергии; потери тепловой энергии в сети ГВС при ее транспортировке; потери теплоносителя в системе ГВС.

Данные показатели зависят от многих факторов: состояние трубопроводов и теплоизоляционных конструкций сети ГВС; применение автоматизированных систем учета, контроля и регулирования; фактор, учитывающий вероятность неравномерности потребления горячей воды и т.д. Все перечисленные факторы в той или иной степени влияют на расход «горячей воды» в сети ГВС. От расхода пропорционально (линейно) и с квадратичной зависимостью изменяются (показатели эффективности) затраты и потери теплоносителя, тепловой энергии и затраты электрической энергии. Оценка влияния каждого фактора и совокупности факторов является в достаточной степени сложной задачей и решается с применением комплекса исследовательских мероприятий, таких как создание

математической и физической моделей, учитывающих степень вероятности изменений отдельных факторов.

По отдельным зависимостям на данном этапе работы следует отметить факторы, оказывающие наибольшее влияние:

– Коэффициент неравномерности. Изменение данного коэффициента находится в диапазоне способнойкратно увеличить расход горячей воды по сети ГВС (в 2-4 раза от расчетного максимального значения);

– Качество регулирования отпущенного в сеть ГВС «горячей воды». При отклонении качества подаваемой в сеть горячей воды, его расход может возрасти до двух раз;

– Точность управления производительностью повысительной и циркуляционной насосных станций.

В анализе затрат электрической энергии на транспорт горячей воды по системе ГВС от ЦТП «МГУ» применяются расчетные значения тепловой нагрузки потребителей на цели ГВС, и фактические затраты, обусловленные фактической возможностью работы насосных станций по характеристикам насосов [8].

Величина потребляемой мощности насосов  $N$ , кВт определяется по приведенной ниже формуле:

$$N = \frac{\Delta H_H \cdot V_H \cdot \rho \cdot 10^{-3}}{367 \cdot \eta_H \cdot \eta_э}, \quad (1)$$

где  $\Delta H_H$  – развиваемый насосом напор, м;  $V_H$  – расход воды при развиваемом напоре, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho$  – плотность перекачиваемой воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\eta_H$  – КПД насоса;  $\eta_э$  – КПД электродвигателя.

В соответствии с данной формулой при расчетной средней недельной тепловой нагрузке на цели ГВС по характеристикам повысительного и циркуляционного насоса, мощности составят: для повысительной насосной станции  $V_H = 51,7$  м<sup>3</sup>/ч;  $\Delta H_H = 38$  м;  $\eta_H = 0,65$ .  $N = 8,19$  кВт; для циркуляционной насосной станции  $V_H = 21,5$  м<sup>3</sup>/ч;  $\Delta H_H = 37$  м;  $\eta_H = 0,4$ ;  $N = 5,39$  кВт. Суммарная нормативная мощность приводов насосов - 13,58 кВт. Фактический расход электрической энергии в условиях отсутствия автоматического регулирования производительности насоса и гидравлических настроек системы может находиться в широком диапазоне. На основании характеристик насосов в диапазоне их работы мощности могут составить от 10,79 кВт до 22,04 кВт.

### **3. Разработка тепловой схемы безынерционной системы управления температуры горячей воды и рациональных режимов ее работы**

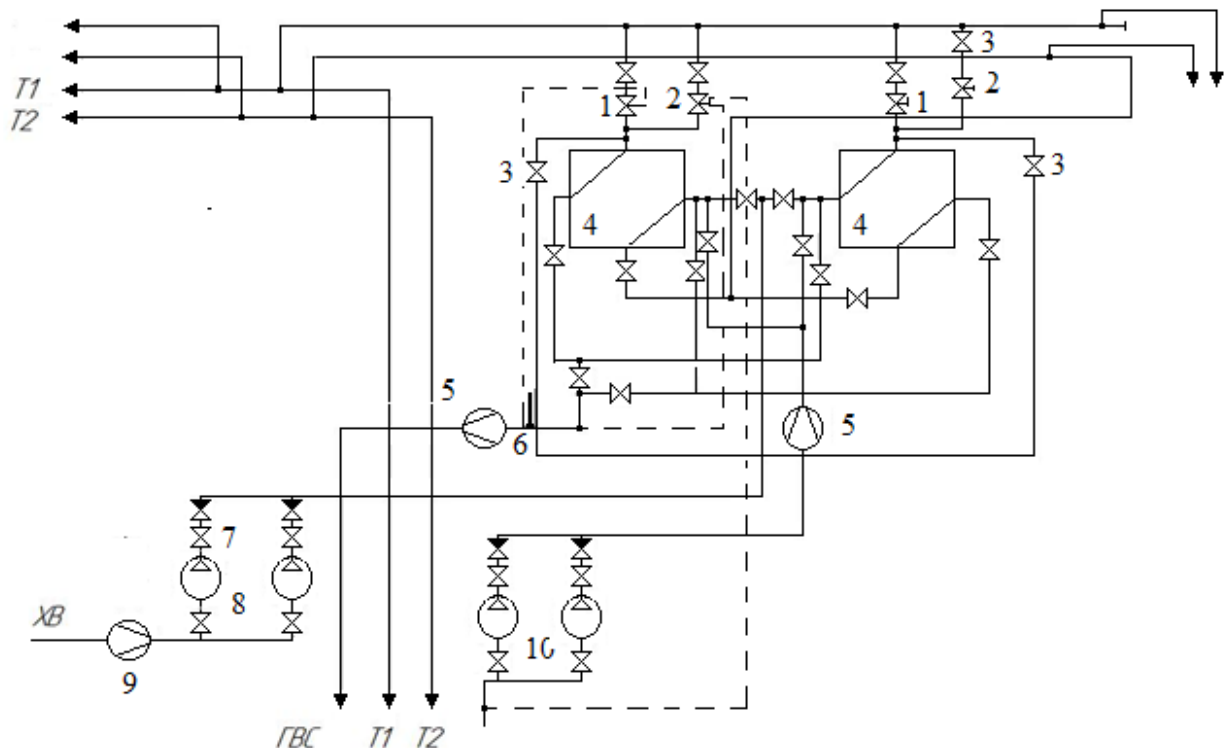
В центральном тепловом пункте «МГУ» используется двухступенчатый нагрев горячей воды. При этом при модернизации ЦТП в 2016 г. была предусмотрена и ее работа в режиме одной ступени. Такой режим применяется прежде всего в летний период, при техническом обслуживании одного из двух теплообменников и в отопительный период при поочередной их промывке. Управление температурой, отпущенной в систему ГВС, осуществляется по сигналу от температурного датчика к контроллеру ТРМ -32. В контроллере формируется сигнал управления. Коммутируются контакты КЗР на определенный период. В зависимости от фактического значения температуры и заданной температуры, шток КЗР увеличивает или уменьшает зазор между клапаном и седлом клапана, увеличивая или уменьшая расход греющего теплоносителя. При условии работы системы в динамических режимах происходит запаздывание системы

управления (инерционность) [9-11]. Именно в данный период происходит неэффективная работа системы с точки зрения затрат электрической энергии и потерь тепловой энергии в сети ГВС.

Для модернизации тепловой схемы ЦТП в части управления температурой горячей воды предлагается внести в схему управления применение регуляторов расхода (напора) по поддержанию постоянного перепада давления прямого действия. В качестве уравнивающих сил для данного регулятора использовать давление (разность давлений) горячей воды, отпущенного в систему ГВС и возвращенного из системы. Так при росте потребления горячей воды давление в обратном трубопроводе будет возрастать, что изменит равновесие в регуляторе и приоткроется клапан (увеличится расход греющего теплоносителя). При снижении потребления горячей воды давление в обратном трубопроводе снизится, а давление в подающем возрастет, шток с клапаном сместится на уменьшение пропускной способности (снижение расхода греющего теплоносителя). Данная схема представлена на рис. 1.

Рациональные режимы работы системы ГВС оцениваются критериями рациональности, обеспечивающими выполнение следующих условий эксплуатации: минимум расхода теплоносителя по подающему трубопроводу сети ГВС; минимум расхода горячей воды по обратному трубопроводу. Организации безынерционной системы регулирования (поддержания) температуры горячей воды: отпущенная в сеть ГВС, разработка и наладка гидравлического режима циркуляции горячей воды в обратном трубопроводе сети ГВС, разработка и наладка режима регулирования повысительного и циркуляционного насосов системы ГВС от ЦТП «МГУ» обеспечат расчетные параметры теплоносителя (горячей воды) в опорных точках системы ГВС от ЦТП «МГУ». Значения данных параметров с учетом факторов, не

поддающих управлению (коэффициент неравномерности потребления горячей воды) определены расчетным способом. Параметры горячей воды рациональных режимов работы системы ГВС от ЦТП «МГУ»: температура горячей воды на выходе из теплообменного оборудования 75 °С; давление горячей воды на выходе из теплообменного оборудования 45 м; давление горячей воды на входе циркуляционного насоса 25 м.



1- клапан, регулирующий КР 25с 947 нж с электроприводом; 2-регулятор расхода РР-НО 50 (0,4-1,0); 3-кран стальной фланцевый, 4-теплообменник пластинчатый Ридан НН 47-16/2-70-ТКТМ50; 5-расходомер ЭРСВ-540ЛВ; 6-датчик температуры; 7-обратный клапан; 8-повысительный насос КМ 100-80-160; 9-водомер; 10-циркуляционный насос КМ40-32-180/2,2.

Рис. 1. Тепловая схема ЦТП с безынерционной системой управления температурой горячей воды



Для определения характеристик средств регулирования, установленных для балансировки и обеспечения расчетных расходов теплоносителя в сети ГВС выполнен гидравлический расчет. Обеспечение расчетного давления горячей воды, отпущенного в сеть, осуществляется регулированием изменением частоты вращения повысительного насоса.

Регулирование расчетного, в данном разработанном гидравлическом режиме расхода горячей воды по линии циркуляции осуществляется установкой дросселирующих шайб или статических балансировочных клапанов. Техническими средствами управления рациональных режимов, обеспечивающими параметры горячей воды в сети системы ГВС, являются регуляторы расхода (РР) и давления (РД) прямого действия. В соответствии с техническими характеристиками, регуляторы расхода и давления в части пропускной способности производятся достаточно широко, от 6,3 м<sup>3</sup>/ч до 80 м<sup>3</sup>/ч, что обеспечивает возможность их применения практически во всех тепловых пунктах. К примеру, в ЦТП «МГУ» расчетный расход греющего теплоносителя во второй ступени не более 30 м<sup>3</sup>/ч. В качестве регулирующего оборудования в тепловых узлах потребителя может использоваться как дроссельная шайба, так и статический (ручной) балансировочный клапан VIR 9505 с соответствующей пропускной способностью.

### **Заключение**

В данной работе проведен анализ общих сведений о системе централизованного горячего водоснабжения от ЦТП «МГУ», обзор схем управления. Определены факторы, влияющие на показатели эффективности системы ГВС, которыми являются: неравномерность (коэффициент неравномерности) потребления горячей воды; качество регулирования отпущенного в сеть ГВС «горячей воды» (отклонения от нормативной);

качество управления производительностью повысительной и циркуляционной насосных станций (отклонения).

Предложен вариант тепловой схемы безынерционной системы управления температурой горячей воды. В основу управления положено использование регуляторов расхода прямого действия. Разработан рациональный режим и определены параметры горячей воды данного режима.

Разработан гидравлический режим, обеспечивающий условия рационального режима работы системы ГВС: минимум расхода теплоносителя по подающему трубопроводу сети ГВС; минимум расхода горячей воды по обратному трубопроводу. Выполнен обзор и анализ технических средств управления рациональных режимов. Выполнена оценка показателей эффективности. При реализации предлагаемых мероприятий удельный расход электрической энергии снизится на 28,4 % с 0,631 кВт\*ч/м<sup>3</sup> до 0,452 кВт\*ч/м<sup>3</sup>.

### Литература

1. Чистович С.А., Аверьянов В.К., Темпель Ю.Я., Быков С.И. Автоматизация системы теплоснабжения и отопления. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отделение, 1987. 248 с.

2. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем центрального теплоснабжения зданий. Пособие. RB.00.H8.50. - М.: ООО «Данфосс», 2014. 63 с.

3. Allen B., Savard-Goguen M., Gosselin L. Optimizing heat exchanger networks with genetic algorithms for designing each heat exchanger including condensers // Applied Thermal Engineering. 2009, V. 29, no. 16. Pp. 3437-3444.

4. Попов И.А., Яковлев А.Б., Щелков А.В. Перспективные методы интенсификации теплообмена для теплоэнергетического оборудования //

Энергетика Татарстана. 2011. №1. С. 25-29.

5. Левцев, А. П., Макеев А.Н. Импульсные системы тепло- и водоснабжения / Под общ. ред. д-ра техн. наук проф. Левцева А. П. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 172 с.

6. Ениватов А. В., Кочетков В.Ю. Совершенствование теплового гидравлического режимов СЦТ от ТЭЦ-2 г. Саранск // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Материалы Международной научно-практической конференции. – Саранск, 2018. – С. 236-243.

7. Ениватов А. В., Учватов А. В. Использование избыточного давления теплоносителя в СЦТ от ТЭЦ-2 г. Саранск // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Материалы Международной научно-практической конференции. Саранск, 2018. С. 227-235.

8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472 с.

9. Варламов Д.Б., Савчиц А.В. Разработка и исследование эффективности алгоритма адаптивного регулятора // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5515](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5515).

10. Сафаров И.М., Хаматханов Д.И., Калимуллин А.А. Автоматизированная система управления параметрами теплоносителя с удаленным доступом // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4912](http://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4912).

11. Сидоров С.Н., Лунина Н.А. Теория автоматического управления в задачах электропривода. Ульяновск, 2013. 122р.

## References

1. Chistovich S.A, Aver'yanov V.K, Y.A. Tempel Y.A., Bykov S.I. Avtomatizatsiya sistemy teplosnabzheniya i otopleniya [Heat supply and heating system automation]. L.: Stroyizdat, Leningr. otdeleniye, 1987. 248 p.
2. Primeneniye sredstv Danfoss v teplovykh punktakh sistemnogo teplosnabzheniya zdaniy. Posobiye. [Application of Danfoss automation equipment in heating points of central heating systems of buildings]. RB.00.N8.50. M.: ООО «Danfoss», 2014. 63 p.
3. Allen B., Savard-Goguen M., Gosselin L. Applied Thermal Engineering. 2009, V. 29, № 16. pp. 3437-3444.
4. Popov I.A., Yakovlev A.B., Shchelkov A.V. Energetika Tatarstana. 2011. №1. pp. 25-29.
5. Levitsev A.P., Makeyev A. N. Impul'snyye sistemy teplo- i vodosnabzheniya. [Pulse heat and water supply systems]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2015. 172 p.
6. Yenivatov A.V., Kochetkov Y.U. Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saransk, 2018. pp. 236-243.
7. Yenivatov A. V., Uchvatov A. V. Energoeffektivnyye i resursosberegayushchiye tekhnologii i sistemy. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Saransk, 2018. pp. 227-235.
8. Sokolov E.Ya. Teplofikatsiya i teplovyye seti. [Heating and heating networks]. Moskva. 2001. 472 p.
9. Varlamov D.B., Savchits A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, № 1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5515](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5515).



10. Safarov I.M., Khamatkhanov D.I., Kalimullin A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4912](http://ivdon.ru/magazine/archive/N2y2018/4912).

11. Sidorov S.N., Lunina N.A. Teorija avtomaticheskogo upravlenija v zadachah elektroprivoda [Theory of automatic control in electric drive problems]. Ulyanovsk, 2013. 122p.