

И.И. МАЦКО, ведущий инженер ОКУП «Институт Гомельгражданпроект», ассистент кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология» УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Особенности выбора оборудования тепловых пунктов при качественно-количественном методе регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения

(Статья поступила в редакцию 29.06.2011 г.)

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены некоторые особенности функционирования систем теплоснабжения при переходе на качественно-количественный метод регулирования тепловой нагрузки.

Показана необходимость уточнения действующих норм проектирования тепловых пунктов в вопросах выбора схем присоединения систем отопления и горячего водоснабжения.

Выявлены противоречия между выдаваемыми техническими условиями на теплоснабжение и утверждаемыми температурными графиками.

Представлены основные параметры, которые необходимо указывать в технических условиях на теплоснабжение. Это позволит принимать проектные решения, обеспечивающие рациональное использование тепловой энергии.

The resume

The article discusses some features of the functioning of district heating in going to qualitative-quantitative method for thermal load control.

The necessity of clarifying the existing rules in the design of heating and hot wa-ter supply connection schemes is shown.

Revealed contradictions between district heating specifications and temperature schedules for heating control.

The main parameters which it is necessary to specify in district heating specifications are presented. This will ensure the adoption of design decisions for rational use of heat energy.

Введение

В настоящее время появились новые технические возможности, позволяющие реализовать в системах теплоснабжения способы количественного и качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки, которые обладают целым рядом преимуществ перед качественным регулированием. Для решения этой задачи необходимы тщательный пересмотр и корректировка принципов отечественного теплоснабжения и, в частности, положений, касающихся регулирования тепловой нагрузки систем теплоснабжения, сформулированных в 50-е годы XX века [1].

Способы количественного и качественно-количественного регулирования разработаны в 50-е годы XX века [2]. Примерно в то же время созданы методики их расчета. Серьезным недостатком существующих методик расчета количественного и качественно-количественного регулирования является то, что в них не учитывается влияние нагрузки горячего водоснабжения на работу системы теплоснабжения. Отсутствие учета влияния нагрузки горячего водоснабжения на работу систем отопления объясняется тем, что в 50-е годы нагрузка горячего водоснабжения в балансе тепловых нагрузок систем теплоснабжения составляла незначительную долю, что позволяло ее не учитывать с приемлемой для расчетов погрешностью. В дальнейшем в системах теплоснабжения за основной был принят качественный способ регулирования тепловой нагрузки, и методики расчета количественного и качественно-количественного регулирования не уточнялись. Методы центрального регулирования были разработаны с учетом технических и технологических

возможностей первой половины прошлого века, которые претерпели значительные изменения. При корректировке принципов регулирования тепловой нагрузки возможно частичное использование зарубежного опыта по применению других методов регулирования, в частности, количественного регулирования.

Анализ перспектив развития отечественных систем централизованного теплоснабжения показывает, что в дальнейшем в них получат все большее распространение методы количественного и качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки. Первоочередные задачи, связанные с этим, требуют неотложного решения ряда вопросов.

К вопросу выбора схем присоединения систем отопления к водяным тепловым сетям

В соответствии с [3] «подключение к тепловым сетям **новых потребителей предполагается осуществлять по независимой схеме** через индивидуальные тепловые пункты, оборудованные средствами автоматического регулирования и учета потребления тепловой энергии, отвечающие требованиям, выдвигаемым для включения этих индивидуальных тепловых пунктов в распределительную автоматизированную систему управления технологическими процессами теплоснабжения города (района). Применение **зависимой схемы** допускается только при реконструкции действующих систем теплоснабжения и выполнении технико-экономического обоснования». Кроме того, в [3] оговорена возможность «эффективно эксплуатировать»

системы с **зависимой схемой**, технически более простые и требующие более низкого температурного потенциала для передачи одного и того же количества теплоты по сравнению с системами с **независимой схемой**». Также в [3] в качестве обязательных условий применения независимой схемы отмечается «техническая возможность и обеспечение температурных параметров теплоносителя», а применение иных схемных решений «допускается при их технико-экономической обоснованности».

Определяющее значение на выбор схемы присоединения оказывают гидравлические и тепловые режимы работы тепловой сети и технологические особенности системы отопления. Это следующим образом обобщенно отражено в технической нормативно-правовой документации. Так, в соответствии с [4, п. 7.2.4] «подключение к тепловым сетям потребителей следует осуществлять, как правило, по **независимой схеме** через индивидуальные тепловые пункты; допускается подключение потребителей по **зависимой схеме** в системах теплоснабжения от теплоисточников мощностью до 20 МВт». Не так однозначно данное правило освещено в [5, п. 6.1 и п. 6.3], который является основным документом при проектировании тепловых пунктов. В [5, п. 6.1 и п. 6.3] сказано, что «присоединение систем теплоснабжения следует выполнять на основании технических условий, выданных теплоснабжающей организацией с учетом системы теплоснабжения, гидравлического режима работы тепловых сетей (пьезометрического графика) и графика центрального качественного регулирования отпуска теплоты потребителям; выбор схемы присоединения (**зависимой или независимой**) следует определять индивидуально для каждой из систем отопления... с учетом условий эксплуатации проектируемых систем теплоснабжения, гидравлического и температурного режимов тепловой сети на вводе в ИТП». Кроме того, из девяти приведенных в приложении Б [5] рекомендуемых схем присоединения потребителей теплоты к тепловым сетям лишь две с независимым присоединением системы отопления. Наравне с ними приведены зависимые схемы с использованием двухходового клапана, трехходового клапана и элеватора.

Как видно, действующие нормы и правила не позволяют сформировать единые требования к задаче выбора схемы присоединения системы отопления к водяным тепловым сетям, а ее решение оказывает существенное влияние на надежность функционирования системы теплоснабжения в целом и качество работы отдельных ее звеньев.

Каждая из применяемых в настоящее время схем имеет как достоинства, так и недостатки, в соответствии с которыми определяется область ее предпочтительного применения в целях повышения эффективности, экономичности и надежности системы теплоснабжения.

Независимое присоединение систем отопления позволяет исключить влияние гидравлического режима тепловой сети на работу системы отопления. Это избавляет систему как от повышенных давлений в тепловой сети, так и от неизбежных колебаний давления в ней.

Применение независимых схем присоединения обусловлено повышением требований к надежности теплоснабжения, а также возрастающей долей строительства повышенной этажности. Такая схема присоединения применяется также в тех частях тепловой сети, где давление в обратной линии превышает допустимое рабочее давление в системе отопления.

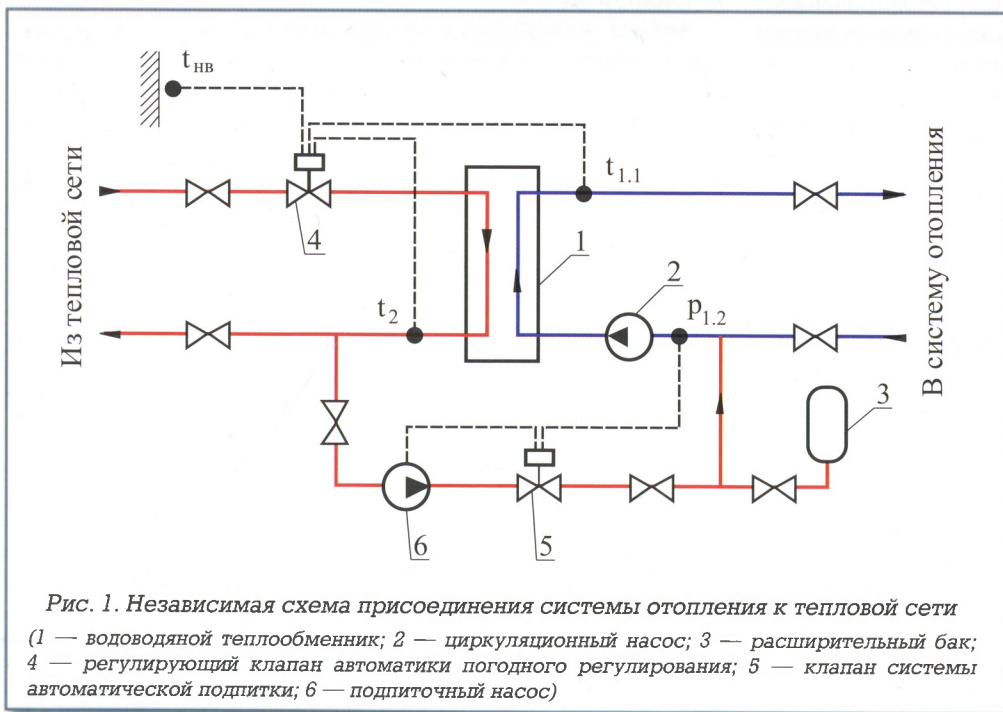
Независимая схема присоединения системы отопления представлена на рисунке 1. Основным ее элементом является теплообменник — водоводяной подогреватель, в котором вода, циркулирующая в системе отопления, нагревается до необходимой температуры сетевой водой. Циркуляция воды в системе отопления осуществляется при помощи насоса.

При независимом присоединении систем отопления требуются дополнительные капиталовложения в системы теплоснабжения и несколько усложняется эксплуатация оборудования тепловых пунктов за счет появления дополнительных элементов (водоподогревателя, циркуляционных насосов, расширительного бака, системы подпитки).

Также увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с повышением температуры обратной сетевой воды по сравнению с зависимым присоединением [6]. Избежать этих затрат можно за счет применения

средне- или низкотемпературных систем отопления (с расчетными значениями температур теплоносителя в подающей и обратной линиях ниже соответствующих значений в тепловой сети). Сохранить же расход сетевой воды на отопление прежним, не увеличив его в ходе модернизации существующих зависимых систем (это увеличение противоречит требованию [5, п. 6.3.], в соответствии с которым «проектируемые схемы присоединения потребителей теплоты должны обеспечивать **минимальный расход воды в тепловых сетях**»), возможно только при модернизации всей системы отопления (не только теплового пункта), что потребует значительных дополнительных капитальных затрат.

Решение вопросов автоматизации системы подпитки и компенсации изменения объема воды при ее



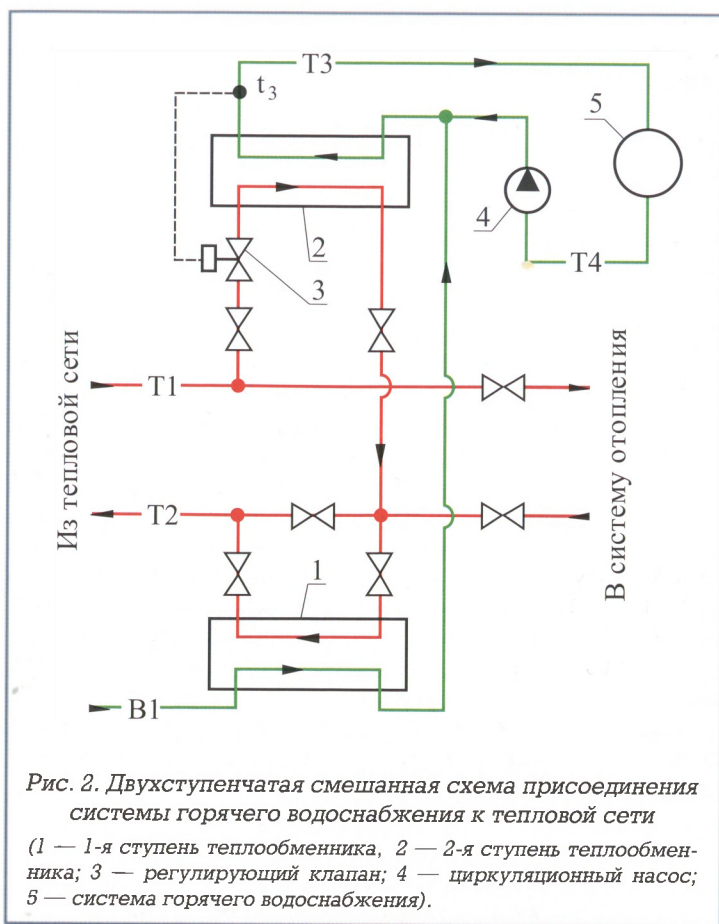


Рис. 2. Двухступенчатая смешанная схема присоединения системы горячего водоснабжения к тепловой сети

(1 — 1-я ступень теплообменника, 2 — 2-я ступень теплообменника; 3 — регулирующий клапан; 4 — циркуляционный насос; 5 — система горячего водоснабжения).

расширению или сжатию в контуре циркуляции системы отопления также не имеет в ТНПА конкретных рекомендаций. Но любая из возможных схем требует использования дорогостоящего импортного оборудования, не имеющего отечественных аналогов. Так, установка повышения давления 14-этажного дома с отопительной нагрузкой 241 кВт оценивается в 7800 евро, а расширительный бак закрытого типа — в 1300 евро. Применение же данных решений при реконструкции тепловых узлов потребителей, системы отопления которых оснащены чугунными радиаторами, потребует еще больших капитальных затрат. Это связано с большой емкостью таких систем, что требует установки расширительных баков больших объемов.

В качестве циркуляционных насосов системы отопления, как правило, используются бесфундаментные насосы, удовлетворяющие требованиям по снижению уровня шума и вибраций в ИТП [5, п. 13]. Отечественной промышленностью производство данного оборудования не освоено. Для рассматриваемого примера удовлетворительную работу обеспечит насос Wilo TOP-S 65/13 с примерной стоимостью 1500 евро (на объекте необходима установка двух насосов).

Кроме того, далеко не у всех отечественных производителей пластинчатых теплообменных аппаратов налажено собственное производство пластин.

Все это ставит под сомнение решение о повсеместном применении независимых схем присоединения систем

отопления, особенно для потребителей в зоне сложившейся централизованной системы теплоснабжения, для которой свойственно широкое применение зависимых схем подключения.

К вопросу выбора схем присоединения блока горячего водоснабжения

При проектировании блока горячего водоснабжения в диапазоне отношения тепловых нагрузок $Q_{ГВ}/Q_O$ от 0,2 до 1,0 действующими нормами регламентируется подключение водоподогревателя по двухступенчатой смешанной схеме (рис. 2) [5, п. 6.8]. В этом случае происходит захлаживание сетевой воды, возвращаемой из системы отопления, что позволяет сократить ее общий расход на тепловой пункт потребителя по сравнению с подключением по параллельной схеме. Одним из главных вопросов, решаемых при расчете водоподогревателя, подключаемого по двухступенчатой смешанной схеме, вне зависимости от его конструктивных особенностей, является распределение расчетной тепловой мощности между первой и второй ступенями. Согласно [7] данное распределение выполняется исходя из значений температур прямой и обратной сетевой воды в точке нижнего излома температурного графика. Для современного технологического уровня исполнения водоподогревателей температурный напор в 5 °С является приемлемым и не приводит к значительному превышению стоимостных и массогабаритных показателей по сравнению с напором в 10 °С, который закладывался при использовании скоростных секционных кожухотрубных аппаратов [7]. Этим объясняется снижение температуры прямой сетевой воды в точке излома температурного графика с «привычного» значения в 70 °С до 65 °С [8] при необходимости поддержания температуры горячей воды на выходе из ЦТП на уровне 60 °С. Значения температуры сетевой воды после системы отопления при этом, рассчитанные согласно [9], для различных температурных графиков представлены в таблице 1 (при расчетах температура внутри помещений принята 18 °С, максимальная температура воды в системе отопления — 95 °С).

Руководствуясь действующими нормами [7] и используя полученные значения температуры сетевой воды после системы отопления в точке излома T'_2 , можно определить температуру нагреваемой воды после первой ступени t' . При этом температура сетевой воды на входе в первую ступень принимается равной T'_2 и температурный напор задается в 5 °С. Тогда доля расчетной тепловой мощности, покрываемая первой ступенью, составит:

$$\Delta_1 = \frac{t' - t_x}{t_r - t_x} \cdot 100, \quad (1)$$

где:

t_r — температура горячей воды на выходе из водоподогревателя (для ИТП принимается равной 55 °С [10, В.2]);

t_x — температура холодной воды (принимается равной 5 °С [10, В.2]).

Таблица 1.

Температурный график, °С	95/70	110/70	120/70	130/70	140/70	150/70
Температура прямой сетевой воды в точке излома, °С	65					
Температура сетевой воды после системы отопления в точке излома, °С	51,2	47,0	45,0	43,4	42,1	41,1

Таблица 2.

Температурный график, °С	95/70	110/70	120/70	130/70	140/70	150/70
t'_r , °С	46,2	42,0	40,0	38,4	37,1	36,1
Δ_r , %	82,4	74,0	70,0	66,8	64,2	62,2

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

При качественном регулировании тепловой нагрузки именно температуры сетевой воды в точке излома температурного графика являются расчетными. Это связано с тем, что именно этот режим характеризуется минимальным температурным напором в аппарате, так как при сохранении расхода на прежнем уровне, что характерно для качественного регулирования, при повышении температуры наружного воздуха повышается и температура сетевой воды после системы отопления. Однако при переходе на качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки температура сетевой воды после системы отопления с повышением температуры наружного воздуха уменьшается. В таком случае тепловой режим работы водоподогревателя будет наихудшим (соответственно и расчетным) при максимальной температуре наружного воздуха во время отопительного периода. Характерное для данного режима значение температуры сетевой воды после системы отопления, рассчитанное по [9], составит 35,5 °С. Тогда температура нагреваемой воды на выходе из первой ступени t'' будет 30,5 °С, а максимальная тепловая мощность первой ступени составит:

$$\Delta_1 = \frac{t'' - t_x}{t_r - t_x} \cdot 100 = \frac{30,5 - 5}{55 - 5} \cdot 100 = 51\%. \quad (2)$$

Таким образом, распределение расчетной тепловой мощности между первой и второй ступенями водоподогревателя, выполненное по действующим нормам, при работе по любому из распространенных в отечественных системах отопления температурному графику приведет к превышению расчетной тепловой мощности первой ступени. Это, в свою очередь, ведет к занижению мощности второй ступени водоподогревателя и недопустимому ограничению расчетного расхода сетевой воды на блок горячего водоснабжения.

К примеру, при работе системы горячего водоснабжения мощностью 1 Гкал/ч по графику 95/70 °С распределение мощности по ступеням, согласно действующей методике расчета, составит: 82,4% — на первую ступень и 17,6% — на вторую ступень. При этом расчетный расход сетевой воды на водоподогреватель, ограниченный дроссельной шайбой, составит:

$$G' = \frac{\Delta_{II} \cdot Q_{ГВ} \cdot 1000}{T'_1 - T'_2} = \frac{0,176 \cdot 1 \cdot 1000}{65 - 51,2} \cdot 10 = 12,75 \text{ т/ч}. \quad (3)$$

Этот же расход по скорректированной методике распределения мощности между ступенями составит:

$$G'' = \frac{\Delta_{II} \cdot Q_{ГВ} \cdot 1000}{T'_1 - T'_2} = \frac{0,49 \cdot 1 \cdot 1000}{65 - 35,5} \cdot 10 = 16,61 \text{ т/ч}. \quad (4)$$

Как показал расчет, для нормальной работы водоподогревателя блока горячего водоснабжения расход сетевой воды должен быть на 30,3% больше, чем определенный по действующим нормам. Недостаточной будет и площадь поверхности теплообмена второй ступени. Площадь же первой ступени, наоборот, окажется завышенной, однако это не

позволит обеспечить потребителя горячей водой требуемых параметров в часы максимального водоразбора.

Помимо выявленного влияния на качественную работу системы горячего водоснабжения как метода регулирования тепловой нагрузки, так и принятого температурного графика, необходимо также учитывать схему присоединения системы отопления. Приведенные выше расчеты справедливы для зависимых схем со смешением и без с максимальной температурой воды из системы отопления 70 °С, а также независимых схем, если температура греющей сетевой воды при расчете подогревателя системы отопления принята равной температуре сетевой воды из системы отопления для случая зависимого присоединения. Но обычно при проектировании теплового пункта с независимой схемой присоединения системы отопления температура греющей сетевой воды на выходе из подогревателя принимается на 5–10 °С выше максимального значения температуры воды из системы отопления. При этом мощность первой ступени водоподогревателя блока горячего водоснабжения несколько увеличится.

Тенденция же на снижение рабочих температур в централизованных системах теплоснабжения и применение переменных расходов теплоносителя, предусмотренные [3], делает двухступенчатые схемы еще менее эффективными, а в ряде случаев и неработоспособными [11, 12], что позволяет **рекомендовать параллельные схемы присоединения для любого отношения тепловых нагрузок $Q_{ГВ}/Q_0$** . В расчетах при этом необходимо руководствоваться параметрами работы водоподогревателя, определенными в соответствии с [11, 12], что позволяет обеспечить большую эффективность по сравнению с двухступенчатыми смешанными схемами.

К вопросу формирования технических условий на теплоснабжение

В качестве расчетного температурного графика в технических условиях на теплоснабжение указываются параметры, отличные от фактически утвержденных температурных графиков (например, в Гомеле, Рогачеве, Светлогорске). Данное противоречие затрудняет выполнение гидравлических и тепловых расчетов, на основании которых производится подбор оборудования и трубопроводов при проектировании [13]. В этом случае переход теплоснабжающей организации на пониженный температурный график против проектного (согласно выдаваемым техническим условиям) потребует переналадки гидравлических режимов, так как такой переход ведет к значительному увеличению расхода теплоносителя и еще большему увеличению гидравлических потерь. В результате произойдет гидравлическая разбалансировка тепловых сетей, при которой только ближайшие к источнику тепла потребители получат необходимое количество тепла, а остальные будут постоянно недогретаться. Попытка увеличить расход теплоносителя у этих потребителей приведет сеть к полной разрегулировке, и гидравлическая управляемость тепловых сетей станет невозможной. Увеличение

количества циркулирующей в системе воды приводит к понижению экономичности теплоснабжения вследствие повышения удельного расхода сетевой воды на отпущенную единицу теплоты и возрастания затрат электроэнергии на транспортировку теплоты.

Таким образом, теплоснабжающая организация в одностороннем порядке не имеет права пересматривать расчетные проектные показатели, на основании которых подбираются диаметры трубопроводов тепловой сети и оборудование тепловых пунктов.

Для выхода из этого положения в [14] было предложено частично-компромиссное решение, которое апробировано в Москве. Оно заключается в том, что из-за кратковременности очень сильных морозов и достаточной инерционности зданий, если температурный график выдерживается до температуры наружного воздуха, равной параметрам «А» [15], то при дальнейшем понижении температуры наружного воздуха можно температуру воды в подающем трубопроводе не увеличивать до расчетных значений, соответствующих параметрам «Б» [15], и температура воздуха в отапливаемых помещениях не опустится ниже 16–18 °С. То есть данное решение сводится к введению верхней срезки температурного графика без увеличения расчетного расхода теплоносителя, что противоречило ранее действовавшему (до 01.07.2010 г.) СНИПу 2.04.06-87 «Тепловые сети».

При этом в технических условиях, помимо расчетного температурного графика, необходимого главным образом для выполнения гидравлического расчета, должны быть указаны дополнительные параметры. Это требуется для гармонизации работы системы теплоснабжения, связанной с одинаковыми условиями функционирования аналогичного оборудования на тепловых пунктах потребителей. В первую очередь это относится к температурам, фигурирующим при подборе теплообменного оборудования тепловых пунктов.

Для подогревателей системы горячего водоснабжения необходимо задавать фактическую температуру нижней срезки утвержденного температурного графика и температуру греющей среды на выходе из подогревателя. Ее рекомендуется принимать равной 30 °С [4, п. 9.4], но это не всегда соблюдается. Так, в целях удешевления теплообменного аппарата нередко в расчетах фигурирует температура 40 °С, что приводит к увеличению расхода сетевой воды для обеспечения нагрузки горячего водоснабжения.


В случае применения двухступенчатой смешанной схемы необходимо указывать в технических условиях температурный напор на выходе из первой ступени подогревателя, к принятию величины которого также нет однозначных рекомендаций. Это приводит к расхождениям и при определении расчетного расхода теплоносителя на нужды горячего водоснабжения.

При подборе подогревателей для системы отопления (в случае применения независимой схемы присоединения) также необходимо указывать в технических условиях ряд параметров [6]. Это относится к расчетной температуре сетевой воды на выходе из теплообменника. Для этого варианта, если система теплопотребления имеет привычную расчетную температуру в обратном трубопроводе 70 °С, необходим дополнительный температурный график для температуры сетевой воды на выходе из водоподогревателя, декларируемый в технических условиях. Например, в Москве — 150/76 °С [14].

Выводы

1. Технические условия на теплоснабжение должны составляться так, чтобы они строго регламентировали обязанности покупателя и продавца тепловой энергии и стимулировали рациональное ее использование при сохранении сложившегося в тепловых сетях гидравлического режима.

2. При разработке тепловых и гидравлических режимов работы систем централизованного теплоснабжения следует ориентироваться на необходимость работы тепловых сетей со значительными колебаниями расхода сетевой воды при повышенных температурах наружного воздуха.

3. Необходима разработка научно обоснованного температурного графика отопительных систем, что позволит значительно сократить расход энергетических ресурсов на теплоснабжение. Выбор температурного графика необходимо осуществлять на основании технико-экономических расчетов, так как от параметров графика зависят экономичность работы теплоисточника, уровни максимально и минимально допустимых напоров в теплосети, капиталовложения в системы теплоснабжения, связанные с подбором диаметров тепловой сети и оборудования абонентских вводов, затраты на транспорт теплоносителя, удельный расход сетевой воды на абонентскую установку, тепловые потери в тепловой сети. 

Литература

1. Шаратов, В.И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шаратов, П.В. Ротов. М.: Новости теплоснабжения, 2007. 164 с.
2. Дюскин, В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей / В.К. Дюскин. М.: Госэнергоиздат, 1959. 145 с.
3. Концепция развития теплоснабжения в Республике Беларусь на период до 2020 года.
4. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-4.02-182-2009 (02250). Введ. 01.07.2010. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. 56 с.
5. Тепловые пункты. Правила проектирования: ТКП 45-4.02-183-2009 (02250). Введ. 01.07.2010. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. 47 с.
6. Мацко, И.И. Выбор оптимальных параметров при проектировании установок с независимым присоединением систем отопления / И.И. Мацко // Энергетика и ТЭК. 2009. № 7/8. С. 20–22.
7. Руководство по проектированию тепловых пунктов / М.: Стройиздат, 1983. 72 с.
8. Температурный график настройки систем регулирования на отопление от теплоисточников РУП «Гомельэнерго», 2010 г.
9. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. 7-е изд., стереот. М.: Издательство МЭИ, 2001. 472 с.
10. Схемы теплоснабжения населенных пунктов. Правила разработки: ТКП 45-4.02-204-2010 (02250). Введ. 01.01.2011. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. 38 с.
11. Мацко, И.И. Анализ эффективности схем подключения современных водоподогревателей систем горячего водоснабжения / И.И. Мацко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. 2008. № 3–4. С. 59–64.
12. Мацко, И.И. Сравнение схем подключения водоподогревателей блока горячего водоснабжения в тепловых пунктах централизованных систем теплоснабжения / И.И. Мацко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления. Материалы VIII Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов. Гомель, 2008. С. 159–163.
13. Мацко, И.И. Анализ вариантов функционирования систем теплоснабжения от теплоисточников РУП «Гомельэнерго» по утвержденному температурному графику / И.И. Мацко // Энергия и менеджмент. 2009. № 2. С. 13–15.
14. Ливчак, В.И. Как встретить морозы с минимальными потерями для населения / В.И. Ливчак // Энергосбережение. 2007. № 2.
15. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03. Введ. 01.01.2005. Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2004. 81 с.