

Энергосберегающие технологии

УДК 620:621.31

Никитин Е.Е.¹, Дутка А.В.¹, Тарновский М.В.²

¹ Институт газа НАН Украины, Киев

² ООО «ОптимЭнерго», Харьков

Анализ структуры и эффективности функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов

Изложен методический подход к описанию структуры и анализу эффективности функционирования существующих централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов, который может быть использован при проведении энергетических обследований, разработке перспективных оптимизированных систем теплоснабжения, проектов и программ модернизации коммунальной теплоэнергетики.

Ключевые слова: централизованные системы теплоснабжения, энергетические обследования, разработка перспективных оптимизированных схем теплоснабжения населенных пунктов.

Викладено методичний підхід до опису структури та аналізу ефективності функціонування існуючих централізованих систем теплопостачання населених пунктів, який може бути використаний при проведенні енергетичних обстежень, розробці перспективних оптимізованих систем теплопостачання, проектів та програм модернізації комунальної теплоенергетики.

Ключові слова: централізовані системи теплопостачання, енергетичні обстеження, розробка перспективних оптимізованих схем теплопостачання населених пунктів.

Актуальность проблемы модернизации систем теплоснабжения населенных пунктов отмечается в работах [1–3]. Первым шагом на пути модернизации системы теплоснабжения является проведение энергетического обследования. Методология проведения энергетических обследований систем теплоснабжения городов и населенных пунктов находится в состоянии разработки. Некоторые рекомендации приведены в работах [4, 5].

Цель настоящей работы — совершенствование методологии проведения энергетических обследований систем теплоснабжения населенных пунктов. Работа базируется на опыте проведе-

ния обследований систем теплоснабжения населенных пунктов Украины и содержит примеры, иллюстрирующие те или иные аспекты рассматриваемой методологии.

Энергетическое обследование существующей системы теплоснабжения должно включать в себя три основных этапа: описание и анализ структуры системы теплоснабжения; анализ показателей эффективности ее работы; разработка энергоэффективных проектов.

Настоящее исследование посвящено анализу структуры и эффективности функционирования рассматриваемых систем. Эти два этапа являются основой для разработки энергоэффек-

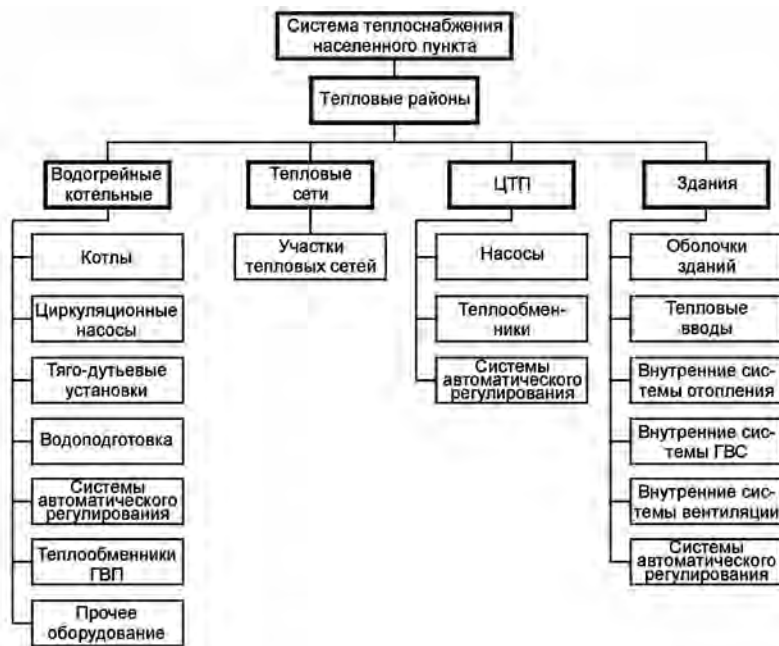


Рис. 1. Структура централизованной системы теплоснабжения.

тивных проектов. Такая разработка является весьма обширной темой, которая выходит за рамки настоящей статьи. Этой теме посвящены многочисленные работы, в частности [5, 6].

Система теплоснабжения населенного пункта представляет собой сложную иерархическую структуру взаимосвязанных подсистем и элементов (рис.1). Взаимосвязь между элементами рассматриваемой системы обусловлена протекающими в ней сложными теплогидравлическими процессами.

Система теплоснабжения крупного населенного пункта включает в себя, как правило, несколько тепловых районов. Тепловой район представляет собой совокупность теплового источника, тепловых сетей и тепловых потребителей. В некоторых случаях тепловые потребители подключаются к тепловым сетям с помощью центральных тепловых пунктов (ЦТП). Тепловые районы могут быть связаны между собой с помощью специальных участков труб тепловых сетей (так называемых перемычек).

Основным тепловым источником существующих систем теплоснабжения являются водогрейные котельные, работающие на природном газе. Имеются также тепловые районы, источником теплоты в которых являются ТЭЦ, работающие на природном газе или угле. Незначительная часть тепловых потребителей отапливается с помощью других тепловых источников: газопоршневых когенерационных установок, электродкотлов или тепловых насосов.

Описание структуры рассмотренной выше системы теплоснабжения представляет собой

трудоемкую задачу, которая может быть решена при помощи составления электронного паспорта в среде электронных таблиц MS EXCEL. Структура электронных таблиц должна отражать иерархическую структуру описываемой системы (см. рис.1). В графическом виде рассматриваемая система может быть представлена с помощью геоинформационной системы, в частности, с помощью Zulu (www.politerm.com.ru). Достоинством геоинформационных систем является возможность сочетания графической и семантической информации.

Наиболее важной характеристикой тепловых источников является установленная и присоединенная тепловая нагрузка. Распределение присоединенной тепловой нагрузки между тепловыми источниками удобно представить в виде круговой диаграммы (рис.2).

Представленные на диаграмме данные позволяют выделить наиболее мощные тепловые источники, которые определяют эффективность системы теплоснабжения в целом и которым следует уделить первоочередное внимание в процессе проведения энергетического обследования.

Распределение присоединенных тепловых мощностей различных тепловых источников по интервалам мощностей целесообразно представить в виде гистограммы (рис.3). Из нее видно, что более, чем на 50 % теплоснабжение населенного пункта осуществляется котельными с присоединенной тепловой нагрузкой 100–250 Гкал/ч. Как правило, теплоснабжение населенного пункта за счет использования относи-



Рис.2. Распределение присоединенной тепловой нагрузки между тепловыми источниками.

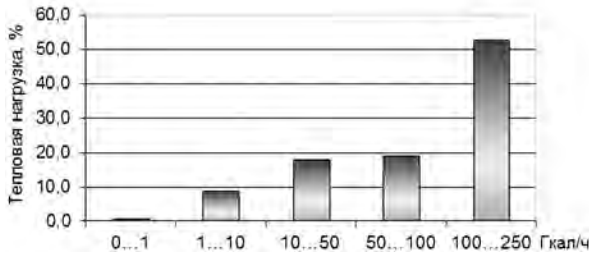


Рис. 3. $\bar{E} \bar{i} \bar{d} \bar{a} \bar{d} \bar{a} \bar{e} \bar{u} \bar{i} \bar{d} \bar{e} \bar{m} \bar{a} \bar{a} \bar{e} \bar{i} \bar{a} \bar{i} \bar{i} \bar{u} \bar{o} \bar{d} \bar{a} \bar{g} \bar{e} \bar{i} \bar{a} \bar{u} \bar{o} \bar{i} \bar{a} \bar{a} \bar{d} \bar{b} \bar{c} \bar{i} \bar{e} \bar{d} \bar{a} \bar{g} \bar{e} \bar{i} \bar{a} \bar{u} \bar{o} \bar{e} \bar{p} \bar{o} \bar{i} \bar{-} \bar{i} \bar{e} \bar{e} \bar{i} \bar{a}.$

тельно небольшого числа тепловых источников является более предпочтительным по сравнению с использованием большого числа тепловых источников малой мощности, так как позволяет обеспечить большую эффективность использования топлива, уровень автоматизации теплоэнергетических процессов, более низкие удельные выбросы вредных веществ в атмосферу и сокращение обслуживающего персонала. Однако, при низкой плотности застройки, использование мощных тепловых источников может быть связано с использованием тепловых сетей чрезмерно большой протяженности, что диктует необходимость проведения анализа удельной протяженности тепловых сетей.

Важным показателем является соотношение присоединенной нагрузки и установленной мощности теплового источника. В большинстве обследованных систем теплоснабжения установленная мощность в 2 раза и более превышала присоединенную нагрузку. Это свидетельствует о возможности подключения новых потребителей к существующим централизованным системам теплоснабжения и о необходимости энергоэффективной модернизации наиболее экономичных и выведения из эксплуатации наиболее старых и неэкономичных котлов. Строительство новых котельных и установка новых котлов требует выполнения тщательно технико-экономического обоснования.

Важной характеристикой централизованной системы теплоснабжения и каждого теплового района является удельная протяженность тепловой сети, то есть отношение их протяженности (в двухтрубном исчислении) к присоединенной тепловой нагрузке. Удельная протяженность тепловых сетей систем теплоснабжения некоторых населенных пунктов Ук-

раины меняется в диапазоне от 0,19 до 2,20 (рис.4). Этот показатель существенным образом влияет на уровень удельных тепловых потерь в трубопроводах, затрат электроэнергии на транспортировку теплоносителя и, как следствие, рентабельность работы теплоснабжающих организаций [7]. Чем ниже этот показатель, тем выше рентабельность. Большое значение удельной протяженности тепловых сетей является основанием для рассмотрения мероприятий по оптимизации конфигурации тепловых сетей, в частности, отключения от централизованного теплового источника протяженных мало нагруженных участков тепловой сети и переподключения соответствующих тепловых потребителей к локальным тепловым источникам.

Анализируя эффективность работы централизованной системы теплоснабжения, необходимо оценить следующие характеристики: 1) уровень оснащенности приборами учета ТЭР; 2) показатели энергетической эффективности; 3) показатели качества услуг теплоснабжения; 4) показатели надежности системы теплоснабжения; 5) изменение объема услуг централизованного теплоснабжения.

Уровень оснащенности системы теплоснабжения приборами учета потребления ТЭР (топливо, электроэнергия, вода и тепловая энергия) определяет степень достоверности анализируемой информации. Он может быть охарактеризован данными, представленными в табл.1.

Опыт обследований показывает, что узким местом является учет отпуска и потребления тепловой энергии: только около 5 % котельных и около 30 % тепловых потребителей оснащены

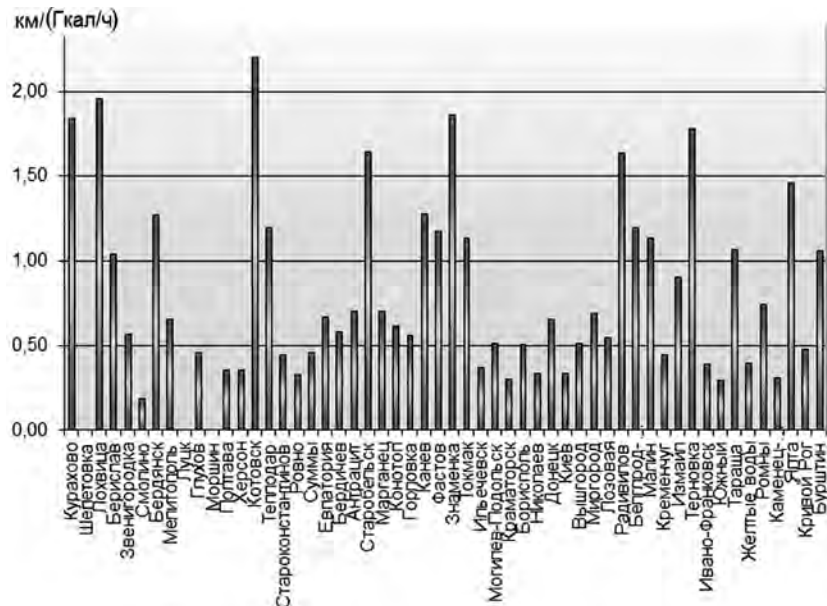


Рис.4. Удельная протяженность тепловых сетей.

Таблица 1. Состояние существующей системы учета ТЭР

Критерии	Электро-энергия	Вода		Природный газ	Тепловая энергия	
		для ГВС	подпитка		источники	потребители
Наличие приборов учета	+	+	-	+	+	+
Охват учетом	100 %	100 %	-	100 %	5 %	30 %
Состояние приборов учета	рабочее	в основном рабочее	в основном рабочее	рабочее	рабочее	рабочее
Использование показаний	оплата	оплата	оплата	оплата, баланс	оплата, баланс	оплата
Автоматизация учета	7,5 %	нет	нет	нет	нет	нет

Примечание. Периодичность контроля – месяц.

приборами, что не позволяет определять фактические показатели эффективности использования природного газа и тепловой энергии.

Энергетическая эффективность системы теплоснабжения населенного пункта определяется эффективностью использования ТЭР (преимущественно природного газа) для теплоснабжения и эффективностью использования электроэнергии для транспортировки теплоносителя.

Энергетическая эффективность ТЭР для теплоснабжения населенного пункта определяется величиной годового расхода условного топлива $V_{у.т.}$ и сравнения его с нормативной величиной $[V_{у.т.}]$.

Фактическая величина годового расхода условного топлива $V_{у.т.}$ определяется по показаниям приборов учета. При использовании природного газа эта величина определяется по формуле

$$V_{у.т.} = V_{п.г.} Q_{п.г.}^H / 7000. \quad (1)$$

Нормативная величина годового расхода условного топлива $[V_{у.т.}]$ в системах теплоснабжения с водогрейными котельными определяется по формуле

$$[V_{у.т.}] = \{ [Q_{год.пот.}] + [\Delta Q_{год.т.с.}] \} [V_{кот.}] / 1000, \quad (2)$$

где

$$[Q_{год.пот.}] = [Q_{год.от.}] + [Q_{год.ГВС}] + [Q_{год.вент.}] \quad (3)$$

Нормативная годовая потребность в тепловой энергии на отопление $[Q_{год.от.}]$, горячее водоснабжение $[Q_{год.ГВС}]$ и вентиляцию $[Q_{год.вент.}]$ определяется на основании известных величин соответствующих присоединенных тепловых нагрузок $Q_{от.}$, $Q_{ГВС.}$, $Q_{вент.}$ по зависимостям, представленным в [8, 9].

Нормативные годовые потери тепловой энергии в тепловых сетях определяются по формуле

$$[\Delta Q_{год.т.с.}] = [q_{т.с.}] [Q_{год.пот.}] / (1 - [q_{т.с.}]). \quad (4)$$

Нормативные удельные годовые потери в тепловых сетях $[q_{т.с.}]$ определяются по рекомендациям [10].

Нормативный удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии $[V_{кот.}]$ определяется на основании паспортных значений КПД котлов $[\eta_K]$:

$$[V_{кот.}] = 142,9 / [\eta_K]. \quad (5)$$

При сопоставлении фактического $V_{у.т.}$ и нормативного $[V_{у.т.}]$ значения расхода условного топлива возможно три варианта: 1) $V_{у.т.} > [V_{у.т.}]$ – повышенный расход топлива вследствие низкой энергетической эффективности или «перетоков» у потребителей; однако при этом не исключена низкая энергетическая эффективность и «недотопы» у потребителей; 2) $V_{у.т.} < [V_{у.т.}]$ – пониженный расход топлива вследствие «недотопов» у потребителей; 3) $V_{у.т.} \approx [V_{у.т.}]$ – расход топлива соответствует нормативному, однако при этом не исключается низкая энергетическая эффективность и «недотопы» у потребителей.

Сопоставление фактического и нормативного потребления топлива в системе теплоснабжения не позволяет сделать однозначный вывод об эффективности ее работы. Требуется проведение более детального анализа энергетической эффективности ее подсистем: тепловых источников, тепловых сетей и потребителей.

Энергетическая эффективность котельных характеризуется удельным расходом условного топлива на отпуск тепловой энергии:

$$V_{кот.} = V_{у.т.} / Q_{год.ист.} \quad (6)$$

Величина $V_{у.т.}$ определяется с использованием формулы (1), а величина $Q_{год.ист.}$ должна определяться по показаниям приборов учета отпусков тепловой энергии от котельных. В настоящее время только около 5 % котельных оснащены приборами учета отпусков тепловой энергии, что препятствует использованию выражения (6) на практике. На практике для определения величины $V_{кот.}$ используется выражение

$$V_{кот.} = 142,9 / \eta_K, \quad (7)$$

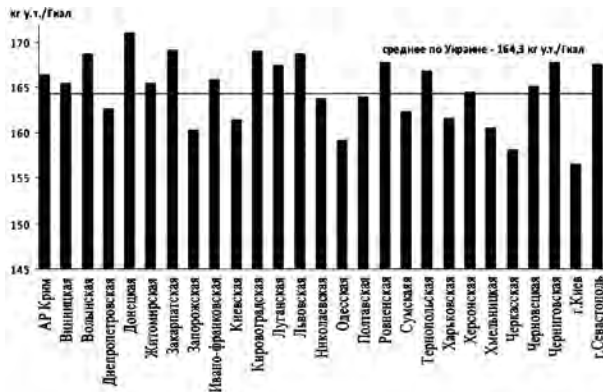


Рис.5. Удельные затраты топливно-энергетических ресурсов на выработку тепловой энергии по областям Украины в I полугодии 2010 г.

где величина z_k определяется на основании данных режимных карт котлов.

Использование данных режимных карт котлов для определения фактической эффективности использования топлива не позволяет учесть в полной мере все особенности режимов эксплуатации (работа на пониженной нагрузке, пуски-остановки, снижение экономичности в процессе эксплуатации). Удельные расходы условного топлива для производства тепловой энергии в различных областях Украины, определенные на основании данных режимных карт котлов, представлены на рис.5. Об эффективности использования топлива в котлах можно судить, сопоставляя величины $z_{кот}$ и $[v_{кот}]$.

Показателем энергетической эффективности тепловых сетей является величина удельных потерь:

$$q_{т.с} = \Delta Q_{год.т.с} / Q_{год.ист.} \quad (8)$$

Величина годовых потерь в тепловых сетях $\Delta Q_{год.т.с}$ должна определяться по показаниям приборов учета отпуска и потребления тепловой энергии:

$$\Delta Q_{год.т.с} = Q_{год.ист} - Q_{год.пот.} \quad (9)$$

В настоящее время отсутствуют достоверные данные о фактических абсолютных и удельных потерях в тепловых сетях $\Delta Q_{год.т.с}$ и $q_{т.с}$ из-за низкого уровня оснащённости тепловых источников и потребителей приборами учета тепловой энергии. Величину $\Delta Q_{год.т.с}$ для тепловых сетей населенного пункта оценивают по результатам испытаний специально выбранных участков по методике [11]. Определенная таким образом величина может существенно отличаться от действительной величины $\Delta Q_{год.т.с}$ из-за обстоятельств, главными из которых явля-

ются существенное отличие теплоизоляционных свойств различных участков тепловых сетей, а также различие условий эксплуатации тепловых сетей в зимний и летний периоды. Величина $[q_{т.с}]$, определяемая по рекомендациям [10], не учитывает удельную протечность тепловых сетей, которая может существенно различаться для населенных пунктов (см. рис.4). Таким образом, для объективной оценки энергетической эффективности тепловых сетей централизованных систем теплоснабжения требуется повсеместное внедрение приборов учета тепловой энергии и совершенствование методической базы.

В качестве комплексного показателя энергетической эффективности всей совокупности зданий, присоединенных к централизованной системе теплоснабжения, целесообразно использовать величину годового потребления тепловой энергии на отопление и вентиляцию, отнесенную к площади этих зданий:

$$Z = 1164 k Q_{год.пот} (1 - g) / F. \quad (10)$$

Величина $Q_{год.пот}$ определяется по показаниям приборов учета потребления тепловой энергии, установленных у потребителей. Величина $g = Q_{год.ГВС} / Q_{год.пот}$ характеризует долю тепловой энергии, использованную для ГВС. Годовое потребление горячей воды может быть определено на основании показаний приборов учета тепловой энергии потребителей в летний период с учетом разницы температур холодной воды в летний и зимний периоды. Коэффициент k представляет собой соотношение расчетного и фактического количества градусо-дней $k = [\Delta t_{г.д}] / \Delta t_{г.д}$.

В настоящее время величина Z для населенных пунктов в целом не может быть достоверно определена из-за низкого уровня оснащённости зданий приборами учета тепловой энергии и отсутствия достоверных данных о фактической температуре воздуха внутри зданий. Однако об уровне энергетической эффективности отдельных зданий, оснащенных приборами учета тепловой энергии, можно судить

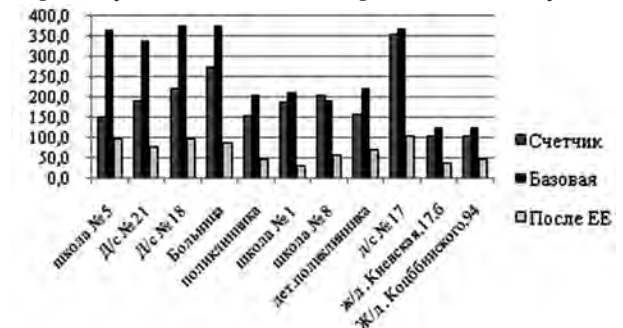


Рис.6. Удельное энергопотребление зданий, кВт·ч/(м²·год).

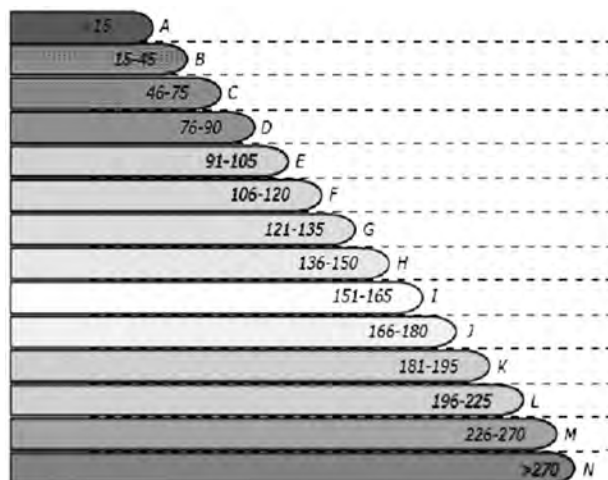


Рис.7. Стандартизированное потребление тепловой энергии, кВт·ч/(м²·год).

по результатам энергетических обследований (рис.6). Видно, что величина удельного энергопотребления зданий из обследованной группы находится в пределах 103–354 кВт·ч/(м²·год). Для всех зданий фактическое энергопотребление ниже базового (необходимого для обеспечения расчетной температуры внутри здания).

Европейские стандарты и нормы требуют для новых зданий потребления тепловой энергии по классам А–С, а для существующих зданий после проведения термомодернизации – по классам D–F (рис.7).

Таким образом, большинство обследованных зданий характеризуется низкой энергетической эффективностью и не обеспечивает комфортного теплового режима.

Представляет интерес сопоставление энергетической эффективности систем теплоснабжения городов Украины. Для сравнения целесообразно использовать величину фактического удельного (на 1 м²) потребления условного топлива $V_{y.t.}/F$ (рис.8), определенного на основании показаний приборов учета потребления топлива (в основном природного газа).

Величина потребления условного топлива $V_{y.t.}$ и величины, характеризующие энергетическую эффективность котельных $V_{кот}$, тепловых сетей $q_{т.с}$ и зданий Z , связаны между собой соотношением

$$V_{y.t.} = Z F V_{кот} / \{1164000 \times k (1 - g)(1 - q_{т.с})\}. \quad (11)$$

Это соотношение может быть использовано для косвенных приближенных оценок нормативных и фактических показателей энергетической эффективности системы теплоснабжения населенного пункта в условиях неполноты исходных данных.

Так, для города с отапливаемой площадью $F = 5000$ тыс. м², усредненной энергетической эффективностью зданий $Z = 200$ кВт·ч/(м²·год), усредненным удельным расходом условного топлива в котельных $V_{кот} = 165$ кг у.т./Гкал, с потерями в тепловых сетях $q_{т.с} = 0,15$, при средне-статистической годовой температуре наружного воздуха и расчетной температуре внутри помещений ($k = 1$), с долей затрат на тепловую энергию на горячее водоснабжение $g = 0,25$ годовой нормативный расход условного топлива должен составить

$$[V_{y.t.}] = 200 \cdot 5000 \cdot 103 \cdot 165 / \{1164000 \cdot 1 (1 - 0,25) \times (1 - 0,15)\} = 222357 \text{ т у.т.}$$

Эта величина сопоставима с годовым потреблением условного топлива г. Херсона (208745 т у.т.), отапливаемая площадь которого составляет 5524 тыс. м².

В общем случае различие фактических $V_{y.t.}$ (по приборам учета потребления ТЭР) и нормативных величин $[V_{y.t.}]$, определенных по формуле (11), для разных населенных пунктов Украины является значительным, так как на сегодняш-

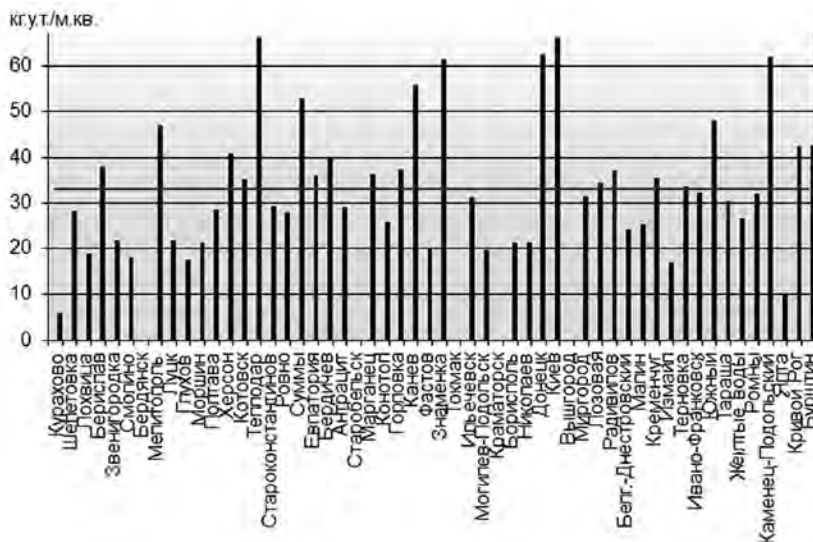


Рис.8. Фактический удельный (на единицу отапливаемой площади) расход условного топлива по городам Украины (поперечная линия – средний расход)

ний день мы располагаем весьма приблизительными значениями величин, характеризующих энергетическую эффективность систем теплоснабжения населенных пунктов ($Z, V_{\text{кот}}, q_{\text{т.с}}, k$).

Приведенные данные свидетельствуют о существенном различии энергетической эффективности централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов. Так, при среднем уровне потребления условного топлива около 33 кг у.т./м² минимальный уровень составляет около 10, а максимальный около 65 кг у.т./м². Такой значительный разброс данных объясняется не только различием энергетической эффективности,

но и особенностями структуры и функционирования систем теплоснабжения населенных пунктов: например, теплоснабжение от ТЭС в г. Курахово, высокая температура наружного воздуха в течение отопительного периода в г. Ялте, отсутствие или наличие централизованного ГВС, «недотопы» и другие факторы. Не исключены и неточности исходных данных, в частности, величины отапливаемой площади. Однако для приближенной сравнительной оценки энергетической эффективности той или иной централизованной системы теплоснабжения величина $V_{\text{у.т.}}/F$ представляется полезной. Ее целесообразно использовать при проведении энергетических обследований.

Величина удельного потребления условного топлива $V_{\text{у.т.}}/F$ на отопление населенного пункта может быть определена не только на основании данных о фактическом годовом потреблении топлива $V_{\text{у.т.}}$, но и рассчитана на основании величин, характеризующих энергетическую эффективность котельных $V_{\text{кот}}$, тепловых сетей $q_{\text{т.с}}$ и зданий Z :

$$\frac{V_{\text{у.т.}}}{F} = Z \cdot \frac{V_{\text{кот}}}{\{1164000 \cdot k \cdot (1 - g) \cdot (1 - q_{\text{т.с}})\}} \quad (12)$$

Полученное соотношение может быть использовано для оценки нормативного значения величины $[V_{\text{у.т.}}/F]$. Так, для города с усредненной энергетической эффективностью зданий $Z = 200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$, усредненным удельным расходом условного топлива в котельных $V_{\text{кот}} = 165 \text{ кг у.т.}/\text{Гкал}$, с потерями в тепловых сетях $q_{\text{т.с}} = 0,15$, при среднестатистической годовой температуре наружного воздуха и расчетной температуре внутри помещений ($k = 1$), с долей затрат на тепловую энергию на горячее водоснабжение $g = 0,25$ годовой нормативный расход условного топлива должен составить

Расход электроэнергии на 1 Гкал тепловой энергии, кВтч/Гкал

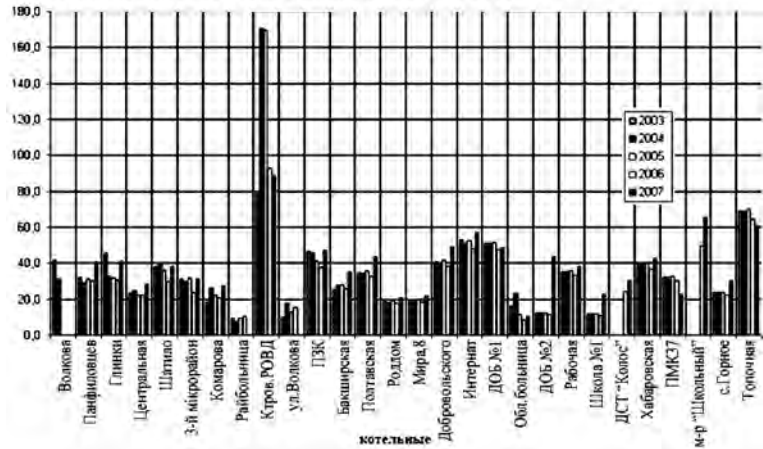


Рис.9. Удельные затраты электроэнергии на транспортировку теплоносителя.

$$[V_{\text{у.т.}}/F] = 200 \cdot 165 / \{1164000 \cdot 1 \cdot (1 - 0,25) \cdot (1 - 0,15)\} = 0,045 \text{ т у.т.}/\text{м}^2.$$

Сопоставляя эту величину с данными, приведенными на рис.8, можно сделать вывод о том, что во многих населенных пунктах Украины имеют место «недотопы» в зданиях, подключенных к централизованным системам теплоснабжения, о чем свидетельствуют и результаты энергетического аудита зданий (см. рис.6).

Таким образом, анализ данных об эффективности использования ТЭР для теплоснабжения населенных пунктов Украины свидетельствует о том, что расход условного топлива в большинстве систем теплоснабжения населен-

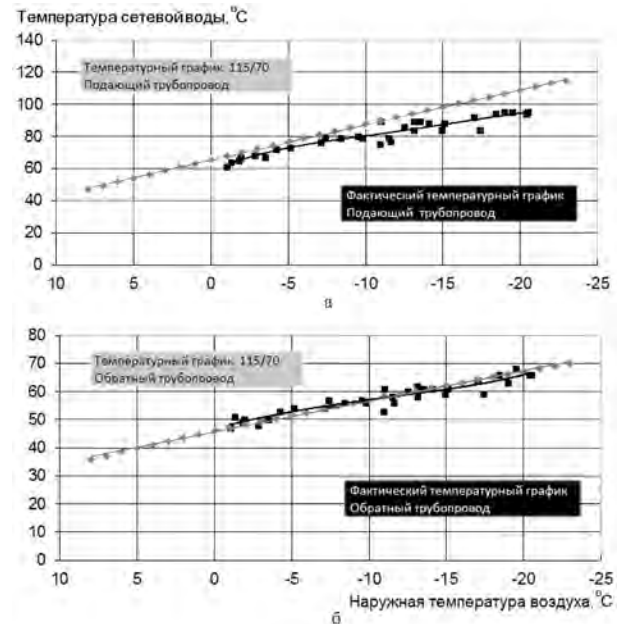


Рис.10. Сравнительный график температур теплоносителя в подающем (а) и обратном (б) трубопроводе.

ных пунктов не превышает нормативной величины при низкой энергетической эффективности составляющих ее подсистем (тепловых источников, сетей и потребителей), однако это достигается за счет пониженного качества услуг централизованного теплоснабжения.

Энергетическая эффективность использования электрической энергии для транспортировки теплоносителя характеризуется отношением:

$$e = E / Q_{\text{год.ист}} \quad (13)$$

Эта величина характеризует энергетическую эффективность циркуляционных насосов, а также отдаленность и компактность размещения тепловых потребителей, которые подключены к котельной. Пример оценки эффективности использования электроэнергии для транспортировки теплоносителя котельными крупного города приведен на рис.9. Приведенные данные показывают, что удельное потребление электрической энергии на транспортировку теплоносителя изменяется для разных котельных от 10 до 170 кВт-год/Гкал. Среднестатистический удельный расход электроэнергии на транспортировку теплоносителя в централизованных системах теплоснабжения Украины около 30 кВт-год/Гкал.

Качество услуг теплоснабжения определяется соблюдением температурного графика и соответствием объемов подаваемого теплоносителя расчетным значениям.

Для проверки соответствия работы котельной принятому температурному графику строится сравнительный график температур теплоносителя в подающем и обратном трубопрово-

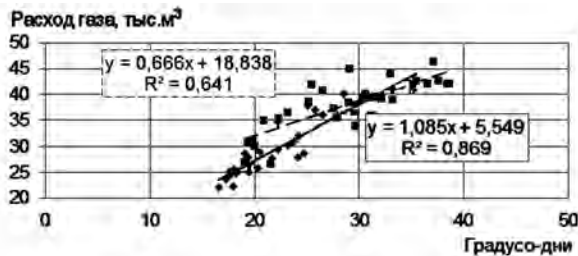


Рис.11. Зависимость расхода природного газа котельной от градусо-дней за 01.2010 г. (ромб) и 01.2011 г. (квадрат).

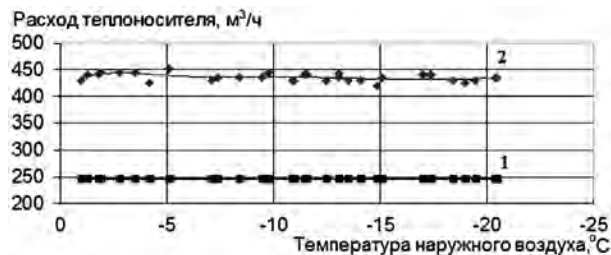


Рис.12. Расчетный (1) и фактический (2) расход теплоносителя в котельной в январе 2011 г.

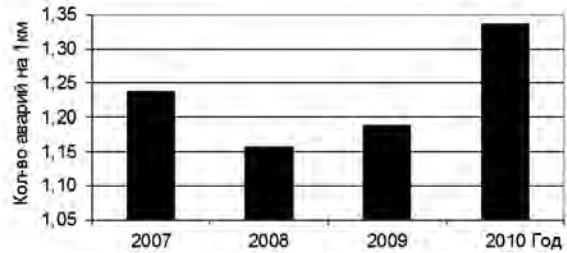


Рис.13. Динамика повреждений тепловых сетей.

дах (рис.10). Видно, что фактическая температура теплоносителя в подающем трубопроводе занижена по отношению к нормативным значениям на 5–15 °С, причем большие величины несовпадения относятся к области более низких температур наружного воздуха. В обратном трубопроводе фактическая температура практически совпадает с нормативной.

Показателем качества погодного регулирования подачи теплоносителя тепловым потребителям является корреляционная зависимость объемов потребления природного газа котельной от количества градусо-дней (рис.11). Приведенные данные свидетельствуют о низком качестве погодного регулирования, так как коэффициенты корреляции имеют низкие значения ($R^2 = 0,641$ и $R^2 = 0,869$). При высоком качестве погодного регулирования коэффициенты корреляции составляют $R^2 = 0,90–0,95$.

Расчетный расход теплоносителя, циркулирующего в системе теплоснабжения, определяется по рекомендациям [11], фактический расход определяется по показаниям приборов учета отпуска тепловой энергии в котельной. Повышенный расход теплоносителя (рис.12) приводит к повышению затрат электрической энергии на транспортировку теплоносителя, пониженный — к «недотопам» у потребителей тепловой энергии.

Показателем надежности системы теплоснабжения является количество прорывов трубопроводов тепловых сетей на 1 км (рис.13). Видно, что в 2008 г. количество прорывов тепловых сетей сократилось, что обусловлено заменой части труб тепловых сетей в 2007–2008 гг. Однако, начиная с 2009 г., объем работ по замене труб был недостаточный, что привело к дальнейшему росту количества повреждений тепловых сетей. Количество повреждений на 1 км тепловых сетей за 2010 г. составляет 1,34. Для сравнения, в Европе этот показатель составляет 0,1 аварий/(км-год). Как утверждают специалисты, критическое значение равно 2–3 повреждения/(км-год), выше которого происходит лавинообразное возрастание количества аварий.

Важным показателем надежности систем теплоснабжения является срок эксплуатации

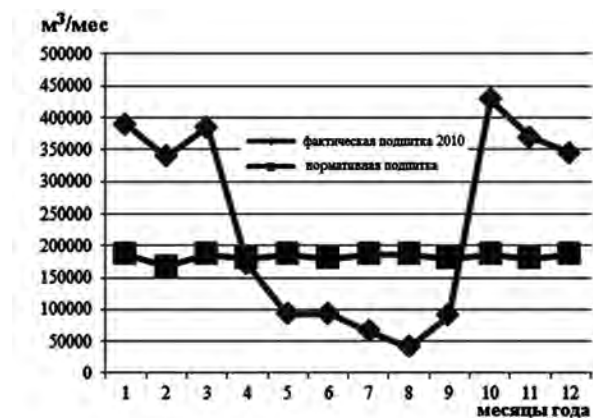


Рис. 14. Динамика нормативного и фактического использования подпиточной воды за год.

котлов с высоким КПД. Для трубопроводов тепловых сетей главным является низкое содержание кислорода и углекислоты в подпиточной

и сетевой воде. Наблюдается возрастающая роль химических служб предприятий в повышении живучести системы теплоснабжения. Характерно практически для всех систем теплоснабжения населенных пунктов, что большая часть труб тепловых сетей находится в эксплуатации более 15 лет: 0–5 лет — 8 %; 5–15 лет — 12 %; более 15 лет — 80 %.

Косвенным показателем состояния тепловых сетей является величина сверхнормативной подпитки сетевой воды. Величина подпитки определяется по показаниям приборов учета подпиточной воды, величина нормативной подпитки определяется расчетным методом [10], разность этих величин соответствует сверхнормативной подпитке. Для большинства систем теплоснабжения населенных пунктов характерно превышение величины фактической подпитки над нормативным уровнем в отопительный период (рис. 14).

Таблица 2. Типичные проблемы существующих централизованных систем теплоснабжения

Проблема	Пути решения
Система теплоснабжения в целом	
Наличие протяженных малонагруженных участков ТС	Переподключение тепловых потребителей к другим (в том числе автономным) источникам
Наличие большого количества мелких котельных	Объединение котельных
Низкий уровень оснащенности приборами учета тепловой энергии тепловых источников и тепловых потребителей	Установка приборов учета тепловой энергии всех тепловых источников и потребителей. Создание систем энергетического менеджмента.
Отсутствие анализа фактической энергетической эффективности	
Полная зависимость от одного вида топлива (природного газа)	Использование местных и нетрадиционных ТЭР
Снижение объемов сбыта тепловой энергии. Отключение потребителей от централизованной системы теплоснабжения	Повышение качества услуг централизованного теплоснабжения. Обеспечение приемлемой цены на тепловую энергию за счет энергоэффективных мероприятий. Восстановление централизованного ГВС
Тепловые источники	
Наличие котлов с большим сроком службы и низким КПД	Замена и модернизация котлов
Установленная мощность в несколько раз превышает присоединенную тепловую нагрузку	Выведение из эксплуатации и консервация котлов с низким КПД и большим сроком эксплуатации
Низкий уровень автоматизации котельных	Установка САР в котельных
Низкий КПД при работе на пониженной нагрузке (нагрузка только на ГВС)	Использование в летний период автономных тепловых источников меньшей мощности
Невыполнение температурного графика. Наличие «недотопов» и «перетопов»	Установка автоматических систем погодного регулирования в котельных и у потребителей
Низкий уровень использования тепловой энергии от ТЭС	Подключение к ТЭС дополнительных потребителей
Тепловые сети	
Наличие ветхих и изношенных участков	Установка ПИТ труб
Низкий КПД и (или) завышенная мощность сетевых насосов	Установка современных сетевых насосов оптимальной мощности
Теплогидравлическая разрегулированность сети	Теплогидравлическая наладка ТС
Повышенные тепловые потери в летний период (нагрузка только на ГВС)	Использование в летний период автономных тепловых источников оптимальной мощности
Сверхнормативные утечки теплоносителя	Установка ПИТ труб
Тепловые потребители	
Открытая система ГВС	Установка ИТП
Отсутствие (неработоспособность) циркуляционных трубопроводов ГВС	Создание (восстановление) циркуляционных трубопроводов
Отсутствие систем погодного регулирования тепловой загрузки зданий	Установка ИТП
Низкие теплоизоляционные характеристики ограждающих конструкций	Термомодернизация зданий
Загрязненность внутридомовых систем отопления	Промывка внутридомовых систем отопления

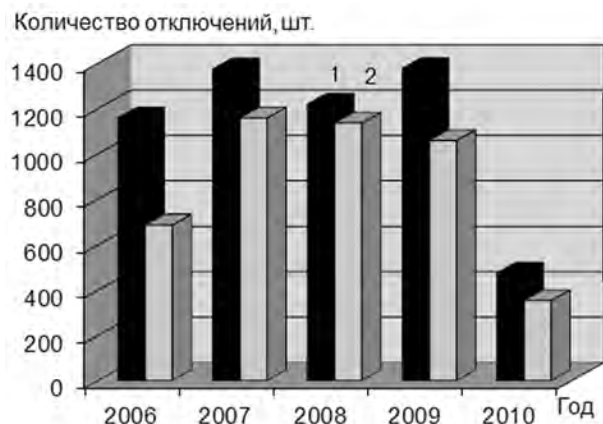


Рис. 15. График отключения потребителей от централизованного теплоснабжения за 2006–2010 гг. по номерам предприятий.

Анализ изменения и прогнозирование объемов услуг централизованного теплоснабжения необходим для определения перспективы развития централизованных систем теплоснабжения на длительный период.

Прогнозирование объема услуг централизованного теплоснабжения должно осуществляться с учетом следующих факторов: 1) планов ввода в эксплуатацию новых зданий, теплоснабжение которых будет осуществляться от централизованной системы; 2) планов термомодернизации существующих зданий; 3) прогнозируемого изменения численности населения рассматриваемого населенного пункта; 4) прогнозируемого отключения тепловых потребителей от централизованной системы теплоснабжения и установки индивидуальных тепловых источников.

Во многих городах наблюдается сокращение реализации услуг централизованного теплоснабжения из-за массового отключения потребителей от централизованной системы и переходом на индивидуальные системы (рис.15). Такая ситуация ведет к нарушению гидравлических и тепловых режимов эксплуатации тепловых сетей и росту несоответствий установленных мощностей теплогенерирующего оборудования присоединенным нагрузкам. Кроме того, необходимо прогнозировать количество отключений потребителей при разработке капиталоемких мероприятий по модернизации централизованных систем.

Рассмотренный выше анализ структуры и эффективности функционирования централизованных систем теплоснабжения позволяет выявить основные проблемы и наметить пути их решения (табл.2).

Рассмотренный выше методический подход может быть использован при проведении энергетических обследований (энергетических аудитов), разработке перспективных оптимизиро-

ванных систем теплоснабжения населенных пунктов, проектов и программ модернизации коммунальной теплоэнергетики.

Выводы

Разработана методика описания структуры и анализа эффективности функционирования существующих централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов.

Описание структуры централизованной системы теплоснабжения включает в себя графическую и семантическую информацию. Графическая информация представляет собой карту населенного пункта с нанесением на нее тепловыми источниками, тепловыми сетями и тепловыми потребителями. Графическую и часть семантической информации целесообразно отображать с помощью той или иной геоинформационной системы. Большая часть семантической информации представляет собой совокупность электронных иерархических таблиц, в которых отображены данные о теплоснабжающих организациях в целом, отдельных источниках тепловой энергии, конкретных котлах и вспомогательном оборудовании, а также данные об отдельных участках тепловых сетей.

Анализ эффективности функционирования централизованной системы теплоснабжения включает в себя реестр приборов учета ТЭР и следующие группы показателей: энергетической эффективности; надежности; качества теплоснабжения; изменения объема услуг централизованного теплоснабжения.

Рассмотренный выше методический подход может быть использован при проведении энергетических обследований (энергетических аудитов), разработке перспективных оптимизированных систем теплоснабжения населенных пунктов, проектов и программ модернизации коммунальной теплоэнергетики.

Условные обозначения

- $\hat{A}_{\delta, \delta}$ – годовое потребление условного топлива тепловыми источниками системы теплоснабжения, т у.т
- $\hat{A}_{\dot{\nu}, \dot{\alpha}}$ – годовое потребление природного газа тепловыми источниками системы теплоснабжения, тыс. м³
- $Q_{\text{тп}}^{\text{пр.}} \dot{\alpha}, \dot{\nu}, \dot{\delta}$ – годовое количество тепловой энергии, произведенное тепловым источником, Гкал
- $Q_{\text{тп}}^{\text{отп.}} \dot{\alpha}, \dot{\nu}, \dot{\delta}$ – годовое количество тепловой энергии, отпущенное тепловым потребителям, Гкал
- $Q^f \delta$ – калорийность природного газа, ккал/м³
- $\hat{a}_{\delta, \delta}$ – удельный расход условного топлива на производство тепловой энергии в котельных, кг у.т./Гкал
- η – коэффициент полезного действия котлов, %
- $\Delta Q_{\text{тп}}^{\text{п.}} \dot{\alpha}, \dot{\delta}$ – годовые потери в тепловых сетях, Гкал
- $\dot{q}_{\delta, \text{п}}$ – удельные потери в тепловых сетях, %, $Q_{\delta, \text{п}} = \frac{\Delta Q_{\text{тп}}^{\text{п.}} \dot{\alpha}, \dot{\delta}}{Q_{\text{тп}}^{\text{пр.}} \dot{\alpha}, \dot{\nu}, \dot{\delta}}$
- $Q_{\text{тп}}^{\text{пр.}} \dot{\delta}$ – присоединенная тепловая нагрузка на отопление, Гкал/ч
- $Q_{\text{тп}}^{\text{пр.}} \dot{\alpha}, \dot{\nu}$ – присоединенная тепловая нагрузка на ГВС, Гкал/ч

$Q_{\text{ааг}}^{\text{д}}$	– присоединенная тепловая нагрузка на вентиляцию, Гкал/ч
$Q_{\text{аа}}^{\text{д.т.д}}$	– годовое количество тепловой энергии для отопления населенного пункта, Гкал
$Q_{\text{аа}}^{\text{д.АА}}$	– годовое количество тепловой энергии для горячего водоснабжения населенного пункта, Гкал
$Q_{\text{аа}}^{\text{д.т.д}}$	– годовое количество тепловой энергии для систем вентиляции зданий населенного пункта, Гкал
E	– годовое количество электрической энергии для транспортировки теплоносителя, кВт·ч
F	– площадь зданий, отапливаемых тепловыми источниками централизованной системы теплоснабжения, м ²
$\Delta t_{\text{аа}}$	– количество градусо-дней за отопительный период, °N
Z	– показатель энергетической эффективности зданий, кВт·ч/м ²
g	– доля тепловой энергии, израсходованная на ГВС; $g = Q_{\text{аа}}^{\text{д.АА}}/Q_{\text{аа}}^{\text{д.т.д}}$
[\bar{O}]	– нормативное значение величины X

Список литературы

- Кулик М.М., Куц Г.О., Білодід В.Д. Аналіз стану розвитку систем теплопостачання в Україні // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – № 14. – С. 13–24.
- Долінський А.А., Басок Б.І., Базеев Є.Т., Кучин Г.П. Основні положення концепції Національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України // Пром. теплотехніка. – 2009. – Т. 31, № 4. – С. 68–78.
- Никитин Е.Е. Системный подход к разработке энергоэффективных схем теплоснабжения городов и населенных пунктов // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2009. – № 4. – С. 89–97.
- Карп И.Н., Никитин Е.Е., Пьяных К.Е., Зайвый А.Н. Направления замещения природного газа альтернативными видами топлива и энергии // Там же. – С. 16–29.
- Розен В.П., Соловей О.І., Бржестовський С.В. та ін. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства. – Київ : ПП ВКФ «Дельта Фокс», 2007. – 224 с.6. Никитин Е.Е. Оптимизация выбора энергоэффективных проектов модернизации систем теплоснабжения в условиях финансовых ограничений // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – № 3. – С. 25–32.
- Никитин Е.Е. Моделирование показателей технико-экономической эффективности централизованных систем теплоснабжения с водогрейными котлами // Там же. – 2010. – № 1. – С. 325–340.
- СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование : Утв. Приказом Госстроя Укр. 20.12.2000 № 290.
- СНиП 2.04.01-85. Внутренний водопровод и канализация зданий : Утв. Приказом Госкомгородостроения Укр. 29.12.94 № 106.
- КТМ України 204-244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та господарських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні : Утв. Госжилкомунхозом Укр. 14.12.93.
- МУ 34-70-080-84. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях РД 34.09.255 : Утв. Деп. науки и техники РАО «ЕЭС России» 25.04.97.
- ДБН В.2.5-39:2008. Теплові мережі : Утв. Приказом М-ва регионал. розвитку и стр-ва Укр. 09.12.08 № 568.

Поступила в редакцию 10.01.12

Nikitin E.E.¹, Dutka O.V.¹, Tarnovskiy M.V.²

¹ The Gas Institute of NASU, Kiev

² JSC «OptimEnergo», Kharkiv

The Structure and Efficiency Analysis of Functioning of Settlements Central Directed Heat Supply Systems

The methodical approach to the existing centralized heating systems in settlements structure and functional efficiency analysis is expounded. The approach can be applied for energy audit, prospective optimized heating systems development, municipal power system modernization projects and programs.

Key words: centralized heating systems, energy audit, prospective optimized schemes of settlement heat supply development.

Received January 10, 2012