

УДК 66.045.1

Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Перевертайленко А.Ю., Дуич Н., Краячич Г., Селяков А.М.,
Илюнин О.О.

К ВОПРОСУ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПАРОВЫМИ КОТЕЛЬНЫМИ

Введение. В настоящее время доля энергии, потребляемой зданиями и сооружениями в странах Европейского Союза составляет около 40 % от общего энергопотребления [1].

По данным ENERDATA на 2010 год энергопотребление зданиями и сооружениями было на 9 % больше, чем в транспортном секторе, и на 27 % выше, чем в промышленном секторе. Таким образом, коммунальный сектор в части энергообеспечения зданий и сооружений является крупнейшим потребителем энергии и, соответственно, одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов.

В Украине системы централизованного теплоснабжения обеспечивают нужды около 55 % населения страны. Потребление энергии жилым фондом городов страны почти вдвое выше европейских показателей [2].

В странах Восточной и Юго-Восточной Европы существует огромный потенциал для энергоэффективной оптимизации систем централизованного теплоснабжения. Реализация комплексных мероприятий по модернизации взаимосвязанных элементов системы централизованного теплоснабжения должна включать в себя применение наилучших доступных энергосберегающих технологий и оборудования для каждого компонента такой системы: источника тепловой энергии, системы распределения тепловой энергии и тепловых систем потребителей тепловой энергии.

Состояние проблемы. В 1877–1879 гг. в Нью-Йорке была создана первая система централизованного теплоснабжения протяженностью в пять километров. В качестве теплоносителя использовался водяной пар, вырабатываемый котельной. В течение последующих десяти лет подобные системы были построены и приняты в эксплуатацию в некоторых городах штатов Пенсильвания, Айова, Колорадо и в Нью-Йорке. К 1909 году в США насчитывалось уже около 150 систем централизованного теплоснабжения [3].

В начале XX века системы централизованного теплоснабжения начали распространяться и в Европе. Одна из первых таких систем, созданная в Дании в 1903 году, использовала в качестве источника энергии установку по сжиганию отходов [4].

Системы централизованного теплоснабжения, в которых в качестве теплоносителя используется перегретая выше 100 °С вода, начали эксплуатироваться в 1920–1930 гг., в основном вытеснив паровые системы. Начало и становление централизованных систем теплоснабжения в Украине в 30-е гг. XX в. связано с реализацией принятой тогда в СССР концепции развития теплофикационных установок на базе районных и промышленных теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). В Хорватии появление подобных систем связано с деятельностью генерирующей компании НЕР (Hrvatska Elektroprivreda).

В работе [5] представлена периодизация развития централизованных систем теплоснабжения с учетом перспектив на будущее до 2050 г согласно [6].

Системы первого поколения (1880–1930-е гг.) характеризуются тем, что в качестве теплоносителя используется водяной пар. Высокая температура пара на подаче приводит к повышенным тепловым потерям, имеет место сложная конструкция системы распределения теплоносителя и сбора и возврата конденсата, при этом из-за коррозии трубопроводов возврата конденсата имеют место большие потери последнего. Паровая система теплоснабжения плохо поддается регулированию и небезопасна в эксплуатации. В настоящее время такие системы все еще используются, например, в старых системах Манхэттена (Нью-Йорк) и Парижа [5]. В Украине подобные системы заменены на водяные до 1960-х гг. В Хорватии, в частности в Загребе, они в небольшом количестве сохранились на тех источниках тепловой энергии, которые вырабатывают пар в том числе для технологических нужд производственных предприятий [4].

Системы второго поколения (1930-е–1970-е гг.) характеризуются тем, что в качестве теплоносителя используется перегретая вода с температурой до 150 °С. Применение подобных систем позволило избежать ряда недостатков, присущих системам первого поколения, например, более полно использовать преимущества когенерации, снизить тепловые потери, а также более точно и надежно осуществлять отпуск тепла потребителям в зависимости от температуры наружного воздуха.

В системах второго поколения применялись кожухотрубчатые теплообменники и достаточно металлоемкая запорная арматура, что связано с достаточно высокими температурами и давлениями теплоносителя.

В СССР на тепловых вводах потребителей были установлены элеваторы – смесительные устройства, регулировавшие расход теплоносителя потребителю, и настроенные на определенный перепад давления на вводе. Подобные устройства имеют очень простую конструкцию и дешевы, но существенно ограничивают возможности потребителя по энергосбережению.

Одной из прогрессивных тенденций развития систем второго поколения было расширение применения ТЭЦ для теплоснабжения городов.

Системы третьего поколения (с 1980-х гг.) характеризуются снижением температурного потенциала теплоносителя, в ряде случаев ниже 100 °С [5], а также внедрением целого ряда энергосберегающих разработок, например:

- применение предварительно собранных индивидуальных тепловых пунктов на вводах потребителей;
- применение предварительно изолированных труб для прокладки тепловых сетей;
- расширение применения когенерационных установок;
- замена паровых котлов там, где это возможно, на водогрейные или их перевод в водогрейный режим;
- применение средств автоматического регулирования на вводах потребителей и создание систем диспетчеризации и мониторинга;
- применение пластинчатых теплообменников вместо кожухотрубчатых, что связано с выходом на рынок инновационных конструкций пластинчатых теплообменников [7].

Для систем третьего поколения характерно доминирование применения природного газа в качестве топлива для генерирующих установок, что улучшило экологическую ситуацию, но создало определенные проблемы в области энергобезопасности ряда стран, в том числе Украине.

В настоящее время системы централизованного теплоснабжения Украины и Хорватии в той или иной степени находятся в переходном состоянии от систем второго поколения к системам третьего поколения.

Концепция *систем четвертого поколения (2020–2050 гг.)* изложена в [6] и может быть охарактеризована следующими основными подходами:

- применение низкотемпературного теплоносителя для подогрева воды на нужды отопления и горячего водоснабжения;
- синергия энергосбережения и расширения и распространения систем централизованного теплоснабжения;
- минимизация потерь тепла в тепловых сетях;
- интеграция в системы централизованного теплоснабжения возобновляемых и альтернативных источников энергии.

Последний подход находится в хорошем соответствии с концепцией, изложенной в [8], для многоцелевой региональной интеграции, в том числе, энергоресурсов, которая может быть успешно применена для промышленного узла, включающего предприятия и жилой сектор.

Изложение основного материала

Паровые котельные можно разделить на три вида:

- источники тепла для систем теплоснабжения с теплоносителем в виде пара;
- источники тепла для систем теплоснабжения с использованием перегретой воды в виде теплоносителя;
- источники тепла для систем теплоснабжения и отпуска пара потребителям на технологические нужды.

Объектом энергосберегающей реконструкции была выбрана котельная третьего вида – паровая котельная промышленного узла, снабжающая теплом жилой массив и поставляющая пар на технологические нужды промышленному предприятию.

Основным энергосберегающим мероприятием является реконструкция пароводогрейной части котельной путем применения автоматизированной пароводогрейной модульной установки на базе высокоэффективных пластинчатых теплообменных аппаратов.

Исходные данные для расчета и выбора теплообменников представлены в таблице 1.

Анализ исходных данных, результатов обследования и специфики выработки и отпуска пара сторонним предприятиям позволил сформулировать следующий подход к разработке схемы подогрева сетевой воды: разделить общую систему подогрева производительностью 15 Гкал/ч на две идентичные теплоустановки по 7,5 Гкал/ч (50 % необходимой производительности) каждая. При этом отбор пара на каждую установку из общего парового коллектора осуществляется отдельно.

Потоковая схема приведена на рис. 1.

Таблица 2

Наименование показателей	Размерность	Величина
Температура греющего насыщенного пара на входе	°С	180,0
Температура конденсата греющего пара на выходе	°С	159,0
Максимальный массовый расход греющего пара	кг/ч	11370
Максимальная скорость пара во входном штуцере	м/с	12,8
Массовый расход сетевой воды	кг/ч	94760
Материал пластин	–	нерж.сталь AISI 316 hps
Относительное направление потоков		Перекрестный ток
Масса заполненного аппарата	кг	986
Площадь поверхности теплопередачи	м ²	
Гидравлическое сопротивление по полости конденсирующегося пара	кПа	1,41
Гидравлическое сопротивление по полости сетевой воды	кПа	13,7

К установке на позицию доохладителя конденсата принят пластинчатый теплообменник типа СВ 76 (см. табл. 3). Устройство теплообменника описано в [7].

Таблица 3

Наименование показателей	Размерность	Величина
Температура конденсата на входе	°С	159,0
Температура конденсата на выходе	°С	93,6
Массовый расход конденсата	кг/ч	11370
Массовый расход сетевой воды	кг/ч	14000
Материал пластин	–	нерж.сталь AISI 316
Материал пайки	–	медь
Относительное направление потоков	–	противоток
Площадь поверхности теплопередачи	м ²	5,8
Коэффициент теплопередачи расчетный	Вт/(м ² К)	6724
Гидравлическое сопротивление по полости конденсата	кПа	24,2
Гидравлическое сопротивление по полости сетевой воды	кПа	25,7

Расход греющего теплоносителя–пара регулируется через расход конденсата клапаном с электроприводом в зависимости от температуры наружного воздуха и температуры на подаче сетевой воды в систему отопления.

Предусмотрена схема автоматизации системы централизованного теплоснабжения с использованием электронных регуляторов температуры теплоносителя тепловой сети. Электронный регулятор предназначен для управления регулирующим клапаном.

Предложен адаптивный алгоритм регулирования с элементами нечеткой кластеризации.

Расчет экономического эффекта от реализации данной разработки показал возможность снижения расхода потребляемого топлива – природного газа – на 20 %, при этом срок окупаемости не превышает двух лет.

Выводы. Рассмотрена концепция энергосберегающей реконструкции паровой котельной, которая является источником тепла для централизованной системы теплоснабжения и поставляет пар с заданными параметрами промышленному предприятию для технологического процесса.

Основным элементом реконструкции является применение автоматизированной модульной пароводогрейной установки на базе высокоэффективных пластинчатых теплообменных аппаратов. Разработанная система автоматизации позволяет осуществлять качественное регулирование отпуска тепла в систему теплоснабжения при сохранении параметров отпускаемого котельной пара.

Разработанная концепция может быть применена для реконструкции различных паровых котельных, в том числе и при замене паровых систем теплоснабжения на водяные.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Европейской Комиссии, проект DISKNET PIRSES-GA-2011-294933.

Литература

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). – “Official Journal of the European Union”, 18.6.2010, p.L153/13 – L153/35.
2. C. Fekete. Central and Eastern European District Heating Outlook.-KPMG’s Energy and Utilities Advisory Edition, Budapest, 104 pp.
3. P. Ulloa. Potential for CHP and District Heating and Cooling from Waste-to-Energy facilities in the U.S. – learning the Danish Experience. – Master’s Thesis, Columbia University, 2007, 79 pp.
4. D. Culig-Tokic. Comparative analysis of the District Heating Systems in Croatia and Denmark. – Master’s Thesis, University of Zagreb, 2013, 103pp.
5. H. Lund et al. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. – “Energy”, 2014, 68, p.1–11.
6. D. Connolly et al. Heat Roadmap Europe: second pre-study; 2013.
7. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, П.А. КАПУСТЕНКО, Г.Л. ХАВИН, О.П. АРСЕНЬЄВА. Пластинчатые теплообменники в промышленности. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004.– 232 с.
8. Cucek L., Varbanov P.S., Klemes J.J., Kravanja Z. Multi-Objective Regional Total Ste Integration.– “Chemical Engineering Transactions”, 2013,35, p. 97–102.

Bibliography (transliterated)

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). – “Official Journal of the European Union”, 18.6.2010, p.L153/13 – L153/35.
2. C. Fekete. Central and Eastern European District Heating Outlook.-KPMG’s Energy and Utilities Advisory Edition, Budapest, 104pp.
3. P. Ulloa. Potential for CHP and District Heating and Cooling from Waste-to-Energy facilities in the U.S. – learning the Danish Experience. – Master’s Thesis, Columbia University, 2007, 79 pp.
4. D. Culig-Tokic. Comparative analysis of the District Heating Systems in Croatia and Denmark. – Master’s Thesis, University of Zagreb, 2013, 103 pp.
5. H. Lund et al. 4th Generation District Heating (4GDH). Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. – “Energy”, 2014, 68, p. 1–11.
6. D. Connolly et al. Heat Roadmap Europe: second pre-study; 2013.
7. L.L. Tovazhnyanskyy, P.A. Kapustenko, G.L. Khavin, O.P. Arsenyeva. Platinchatye teploobmenniki v promyshlennosti. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2004. –232 p.
8. Cucek L., Varbanov P.S., Klemes J.J., Kravanja Z. Multi-Objective Regional Total Ste Integration.- “Chemical Engineering Transactions”, 2013,35, p. 97–102.

УДК 66.045.1

Товажнянський Л.Л., Капустенко П.О., Перевертайленко О.Ю., Дуїч Н., Краячич Г., Селяков О.М., Ілюнін О.О.

**ДО ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ
З ПАРОВИМИ КОТЕЛЬНЯМИ**

Розглянуто концепцію енергозберігаючої реконструкції парової котельні, що є джерелом тепла для централізованої системи теплопостачання та відпускає пару на технологічні потреби промислового підприємства. Відзначено, що основним заходом є застосування автоматизованої модульної паро водогрійної установки на базі високоефективних пластинчастих теплообмінних апаратів, що дозволяє регулювати постачання тепла користувачам.

Tovazhnyanskyy L.L., Kapustenko P.O., Perevertaylenko O.Yu., Duic N., Krajacic G., Selyakov O.M., Ilynin O.O.

**ON THE PROBLEM OF STEAM BOILERHOUSE BASED DISTRICT HEATING SYSTEM
ENERGY SAVING RETROFIT**

The conception of energy saving retrofit for case of steam boilerhouse based district heating system is considered. It was taken into account that boilerhouse supplies the steam for process needs of neighbour site. The main emphasis of the energy saving retrofit is the installation of automatized modular steam/water heating substitution based on high effective plate heat exchangers. It lets to manage the heat supply to consumers.