



## **Влияние результатов термомодернизации зданий и сооружений городской застройки на режимы работы источников теплоты систем централизованного теплоснабжения**

П.М. Гламаздин<sup>1</sup>, Д.П. Гламаздин<sup>2</sup>, Rudolf Schwarzenberger<sup>3</sup>

### **АННОТАЦИЯ:**

В статье представлены проблемы связанные с изменением режимов работы источников теплоты систем централизованного теплоснабжения зданий и сооружений городской застройки, в условиях Украины, в результате проведения термомодернизационных мероприятий. Отмечена необходимость проведения глубокой модернизации систем централизованного теплоснабжения городов Украины. Предложены основные направления и частные решения по усовершенствованию работы систем теплоснабжения городов. Подчеркнута необходимость модернизации и реконструкции водогрейных котельных, как неотъемлемой части ЦЦТ. При реконструкции отопительных котельных очень важно учитывать изменения, происшедшие в нагрузке, в сторону её уменьшения на горячее водоснабжение. С случае реконструкции котлов малой производительности предпочтительна замена их на новые, жаротрубные–дымогарные. В районных котельных и станциях теплоснабжения предпочтительными вариантами являются модернизация существующих котлов и устройство дополнительного котла меньшей мощности для покрытия нагрузки на горячее водоснабжение в летнее время. Выбор направления модернизации или реконструкции должен осуществляться на основе обязательного технико–экономического обоснования.

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

энергоэффективность, затраты на эксплуатацию, модернизация, реконструкция, система центрального теплоснабжения, водогрейная котельная, групповая котельная, технико–экономическое обоснование

## **1. Введение**

Общеввропейская тенденция повышения теплозащитных качеств ограждающих конструкций зданий коснулись и Украины. В последние годы в Украине принят ряд документов, направленных на снижение теплопотерь через ограждающие конструкции зданий [1-3] и повышение энергоеффективности систем создания искусственного микроклимата в них [4]. Стихийное утепление зданий населением началось в Украине еще раньше, на рубеже окончания прошлого века, что стимулировалось ростом тарифов на услуги по централизованному отоплению и горячему водоснабжению и выливалось в общем в остекление балконов и лоджий и замене светопрозрачных ограждений (окон) на энергосберегающие конструкции (стеклопакеты), переросшее в утепление фасадов

<sup>1</sup> Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина, Киев, эл. почта: sib.kiev@gmail.com, orcid id: 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> ФРН, BBS GmbH, эл. почта: glamazdin.d@gmail.com, orcid id: 0000-0002-2851-9352

<sup>3</sup> ФРН, BBS GmbH, эл. почта: info@bay-boiler.de, orcid id: 0000-0002-3912-9982

отдельных квартир, в основном угловых. В последние годы эта тенденция вышла на государственный уровень и получила международную финансовую поддержку, в частности были реализованы программы USAID [5] и банка NEFKO [6].

Снижение теплопотерь зданий и сооружений и повышение энергоефективности систем создания внутреннего микроклимата, выражающегося в активном устройстве в зданиях автоматизированных абонентских вводов (индивидуальных тепловых пунктов), замене отопительных приборов и других мероприятиях приводит к значительному снижению нагрузки на теплогенерирующие установки систем централизованного теплоснабжения, спроектированные и построенные в основном тридцать и более лет назад.

Положение усугубляется активно развивающейся тенденцией к снижению нагрузки на системы централизованного горячего водоснабжения [7], что имеет как объективные, так и субъективные причины.

К объективным причинам можно отнести изменения в структуре потребления горячей воды, такие как повсеместное использования стиральных машин и рост использования посудомоечных машин в семьях, что снижает потребление горячей воды, особенно во время пиковых максимумов водоразбора как минимум на 20% [7] и замену циркуляционных стальных трубопроводов на пластиковые, что ведет к уменьшению потерь. К субъективным причинам можно отнести завышенные тарифы на горячую воду, устанавливаемые теплоснабжающими предприятиями, перерывы в подаче горячей воды в летнее время для проведения профилактических и ремонтных работ в сетях.

Снижение нагрузки приводит к изменению режимов работы водогрейных котлов, появлению избыточных мощностей в котельной. Это приводит к увеличению удельных затрат энергии на обеспечение работы вспомогательных систем – деаэрационно питательных установок, насосных групп и другого оборудования и, как следствие, увеличение себестоимости вырабатываемой теплоты. Кроме того, сами котлы эксплуатируются с пониженными, часто выходящими за рекомендуемые изготовителями рабочие диапазоны нагрузками, что приводит либо к снижению их КПД либо к переходу в частично конденсационный режим. Последнее приводит к ускоренной коррозии конвективных поверхностей нагрева и уменьшению межремонтного периода.

## **2. Предложения по совершенствованию работы источников тепла в случае проведения термомодернизации зданий**

Положение можно исправить двумя путями – либо отключением части котельных и передачи их нагрузки на другие котельные, либо заменой оборудования в котельных на современное более эффективное и соответствующее потребной мощности. Выбор между этими направлениями определяется многими факторами и местными особенностями. Зачастую просто отсутствуют возможности реформатирования тепловых сетей для оптимизации количества источников теплоты. В этом случае неизбежно возникает проблема реконструкции самих источников теплоты.

При проектировании реконструкции котельных возникает ряд проблем общего характера: проблемы, касающиеся общекотельного оборудования и проблемы, касающиеся собственно котлов. Для общекотельного оборудования есть проблемы, имеющие однозначное решение, например, замена устаревшего насосного оборудования на современное, более надежное и энергоэффективное. Другие проблемы однозначных решений не имеют. К таким относится проблема подготовки воды. Можно оставить вакуумную деаэрацию, а можно перейти на химическую дегазацию. В каждом конкретном случае эти проблемы решаются индивидуально, исходя из многих частных факторов.

Наибольшие проблемы возникают с выбором направления модернизации или реконструкцией блока основного, теплогенерирующего оборудования котельных. Котлы можно либо модернизировать, либо менять на новые. Однозначного решения этой проблемы не существует. Бесспорно, наилучшее решение проблемы – это замена котлов

на новые с соответствующим изменением их мощности, с расширенным объемом автоматизации, ведущим к повышению КПД и повышению экологических характеристик. Однако, в условиях стагнирующей экономики такое решение вряд ли может быть реализовано повсеместно. Тем не менее можно выделить определённые случаи, в которых замена котлов обязательна, а когда можно обойтись и глубокой модернизацией.

Подавляющее большинство отопительных котельных систем централизованного теплоснабжения городов Украины укомплектовано водогрейными водотрубными котлами, Кроме паровых котлов серий ДКВ, ДКВР и ДЕ, переведенных в водогрейный режим. Впрочем, котлы этих серий – тоже водотрубные. Конструктивно эксплуатируемые водогрейные котлы разделены на несколько серий – это котлы малой мощности серий НИИСТУ-V и «Факел», котлы средней мощности серии ТВГ и КВГ, а также котлы большой мощности серии ПТВМ и котлы серии КВГМ с широким диапазоном их мощности (таб. 1) [8, 9]. Необходимо отметить наличие немногочисленных примеров установки в котельных жаротрубно-дымогарных котлов взамен вышедших из строя водотрубных. Это либо отечественные котлы серии КСВа мощностью до 3,15 МВт, либо импортные котлы известных европейских производителей. Кроме того, чугунные секционные котлы малой мощности серии «Факел» не являются водотрубными – их можно отнести к жаротрубным котлам.

В советское время принято было делить отопительные котельные по мощности на групповые квартальные и районные [10]. В групповых котельных, предназначенных для централизованного теплоснабжения нескольких зданий, основными котлами являлись водотрубные котлы серии НИИСТУ и отчасти чугунные секционные серии «Факел». Котлы серии НИИСТУ среди многих присущих им недостатков, главным из которых был низкий К.П.Д., имели пожалуй два привлекательных качества – дешевизну и ремонт-пригодность – их ремонт можно производить прямо в котельной, без привлечения специалистов высокой квалификации. Попытки в начале девяностых годов прошлого века в условиях постоянного роста стоимости природного газа изискать возможности повышения К.П.Д. для этих котлов [11] показали бесперспективность и безальтернативность их замены. Жизненный цикл этих котлов окончен не только из-за износа, но и из-за отсутствия возможности поднять их технический уровень без кардинальных изменений их конструкции, стоимость которой превышает их замену на жаротрубно-дымогарные котлы. Этот процесс происходит с котлами серии «Факел» решение проблемы повышения их К.П.Д. возможно путем замены их штатных устаревших горелок на современные блочные горелки импортного производства и устройстве их обмуровки из современных теплоизоляционных материалов. Опыт авторов показывает возможность повышения их К.П.Д. при такой реконструкции до 91%, а при условии снижения температуры дымовых газов путем установки дополнительного экономайзера и до 93%.

Гораздо сложнее обстоит дело с квартальными котельными. В шестидесятых годах прошлого века они комплектовались однобарабанными паровыми котлами серии ДКВР производства Бийского котельного завода. В восьмидесятых – девяностых годах прошлого века котлы серии ДКВР массово переводились в отопительных котельных на водогрейный режим [12]. В настоящее время большинство из них по-прежнему находится в эксплуатации. Та же судьба у серии паровых котлов ДЕ, которая пришла на смену котлам серии ДКВР, с той разницей, что их установлено было в квартальных котельных гораздо меньше, поскольку в семидесятых годах прошлого века для их комплектации уже были разработаны специальные водотрубные водогрейные котлы серии ТВГ [13]. Они имеют специфическую конструкцию – топка разделена по четыре отсека с тремя внутренними двусветными экранами и подовыми горелками в каждом отсеке. Конвективная часть разделялась на две части и состояла из пакетов горизонтальных трубных змеевиков. Котел был выполнен достаточно газоплотным за счет использования в топочных экранах мембранных панелей. Выпускались эти котлы Монастырищенским машиностроительным заводом.

**Таблица 1**

Показатели водогрейных котлов, находящихся в эксплуатации в отопительных котельных ЦТ городов Украины

Наименование котла	Теплопроводимость, МВт (Гкал/ч)	Расчетное давление, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) изб, не менее	Температура, °С воды на входе... воды на выходе	Давление газа перед горелкой, кПа (кгс/см <sup>2</sup> )	Расход: воды, т/ч газа, м <sup>3</sup> /ч	Удельный расход условного топлива, кг/МВт (кг/Гкал/ч)	Гидравлическое сопротивление котла, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	КПД котла (брутто), %
ТВГ-4,65-150	4,65		70 150		49,4 506		0,25 (2,5)	92,1
ТВГ-9,3-150	9,3		70 150		104 1100		0,25 (2,5)	90,3
КВ-Г-4,65-150 (КВ-Г-4-150)	4,65 (4)	1,6 (16,3)	70 150	5 (0,05)	49,5 506	140 (162)	0,25 (2,5)	92,2
КВ-Г-7,56-150 (КВ-Г-6,5-150)	7,56 (6,5)	1,6 (16,3)	70 150	5 (0,05)	80,4 822,6	140 (162)	0,25 (2,5)	92,2
КВ-Г-4,65-150 (КВ-ГМ-4-150)	4,65 (4)	1,6 (16,3)	70 150	0,02 (0,5)	49,5 494		0,25 (2,5)	92,0
КВ-Г-7,56-150 (КВ-ГМ-6,5-150)	7,56 (6,5)	1,6 (16,3)	70 150	5 (0,05)	80,4 797		0,25 (2,5)	92,0
КВ-ГМ-11,63-150 (КВ-ГМ-10-150)	11,63 (10)	2,5 (25)	70 150	0,02 (0,5)	123,5	138 (161)	0,25 (2,5)	92,5
КВ-ГМ-23,26-150 (КВ-ГМ-20-150)	23,23 (20)	2,5 (25)	70 150	0,02 (0,5)	247	136 (158)	0,25 (2,5)	91,4
КВ-ГМ-35-150 (КВ-ГМ-30-150)	35 (30)	2,5 (25)	70 150	0,02 (0,5)	370	136 (158)	0,25 (2,5)	91,8
КВ-ГМ-35-150М (ПТВМ-30М)	40 (46,4)	2,5 (25)	70 150	5 (0,05)	435	137 (160)	0,25 (2,5)	92,2
КВ-ГМ-58,2-150 (КВ-ГМ-50-150)	58,2 (50)	2,5 (25)	70 150		1230 618	133 (155)	0,25 (2,5)	93,8
КВ-ГМ-116,3-150 (КВ-ГМ-100-150)	116,3 (100)	2,5 (25)	70 150		2460 1235	135 (137)	0,25 (2,5)	91,3
КВ-ГМ-209-150 (КВ-ГМ-180-150)	209 (180)	2,5 (25)	70 150		4420 2210	135 (156)	0,25 (2,5)	91,5

В семидесятых годах конструкция котлов подверглась модернизации и число отсеков топки и соответственно количество горелок уменьшено до трех при сохранении мощности котла. Модернизированные котлы получили шифр КВГ и выпускаются тем же заводом до сих пор. Котлы имели неплохие для своего времени показатели энергoeffективности – К.П.Д. 91%. Однако они достаточно сложны в эксплуатации и требуют очень точного исполнения технологических инструкций и даже при соблюдении этого условия К.П.Д. котлов ТВГ падает на 1% в течение одного отопительного сезона [13]. При этом котлами серии ТВГ и КВГ оснащено более половины всех квартальных котельных в Украине. Для этих серий котлов и возникает основная проблема выбора альтернативных решений – менять или модернизировать. Естественно, что при плохом состоянии котла, пережившим много различных аварийных ситуаций и две или более кислотных промывки его замена безальтернативна. При хорошем состоянии котла для принятия окончательного

решения необходим серьезный сравнительный анализ обоих вариантов. При этом нужно иметь ввиду срок окупаемости и продолжительность жизненного цикла котла и возможность его продления без ущерба для надежности его работы и энергоеффективности.

В отличие от котлов серии НИИСТУ жизненный цикл котлов серии КВГ и ТВГ может быть продлен при условии устранения основных его недостатков – реконструкция неудачной системы подачи дутьевого воздуха, замены подовых горелок на горелки беспламенного горения, также расположенные в поду и устройство современной системы газоснабжения, установку современных контрольно-измерительных приборов и системы автоматического управления работы котла.

Срок окупаемости реконструкции или замены котлов зависит от двух параметров – капитальных вложений и эксплуатационных расходов. В свою очередь капитальные вложения в рассматриваемых вариантах будут состоять из стоимости нового котла  $S_k$ , стоимости демонтажных работ  $S_d$  и стоимости монтажных  $S_m$  и пусковых работ  $S_p$ .

Стоимость пусконаладочных работ можно считать величиной постоянной, поскольку она будет зависеть в первом приближении только от мощности котла в связи с тем, что набор операций будет одинаков как в случае пуска нового котла, так и в случае пуска реконструированного котла. Тогда у нас для анализа остается три параметра  $S_k$ ,  $S_d$  и  $S_m$ .

Стоимость нового котла необходимо сравнить со стоимостью деталей и материалов, которые придется использовать при реконструкции существующих котлов. Стоимость демонтажных работ в случае принятия решения о реконструкции будет меньше, нежели при полном демонтаже котла. Все котлы, приведенные в таблице 1 предназначены для работы под разрежением, они не газоплотные. Обмуровка у них либо тяжелая, либо облегченная, что и в первом и во втором случае допускает растрескивание, появление щелей при частых пусках в остановках котлов. Таким образом, обмуровка подлежит замене в любом случае, что необходимо учитывать при оценке капитальных вложений.

Для определения затрат на эксплуатацию можно принять, что при современном уровне техники в области автоматизации в котельной и с новыми котлами и с реконструированными можно организовать для мощностей, характерных для квартальных отопительных котельных их эксплуатацию без постоянного присутствия обслуживающего персонала, что допускается нормативным документом [15]. Тогда для выбора варианта реконструкции нужно при прочих равных условиях сравнить расходы на топливо, а этот параметр определяется через К.П.Д. котла. Для нового котла К.П.Д. можно принять из данных изготовителя, а для реконструированных котлов К.П.Д. можно определить с помощью уравнения теплового баланса [16]:

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$$

где:  $q$  – теплота, внесенная в топку [%];  $q_1$  – полезно использована теплота [%];  $q_2$  – потери теплоты с дымовыми газами [%];  $q_3$  – потери теплоты от химического недожога [%];  $q_4$  – потери теплоты от механического недожога [%];  $q_5$  – потери теплоты через обмуровку котла в окружающую среду [%];  $q_6$  – потери теплоты с шлаком [%].

Для упрощения сравнительного баланса принимаем в качестве топлива природный газ. Тогда из анализа выпадают потери  $q_4$  и  $q_6$ . Анализ влияния на К.П.Д. отдельных составляющих теплового баланса дает возможность прогнозировать эффективность тех или иных мероприятий по реконструкции и модернизации котла. Например, замена обмуровки снизит не только потери  $q_5$ , но и уменьшит присосы в котел, что снизит потерю  $q_2$ .

Относительно котлов большой мощности, которыми укомплектованы районные котельные и станции теплоснабжения (300 МВт и выше), то в этих случаях по большей части предпочтительнее реконструкция котлов, поскольку кроме высокой стоимости собственно котлов, велика стоимость демонтажных и монтажных работ. Опыт подобных реконструкций накоплен достаточно большой [17], в том числе и авторами [18].

При проектировании реконструкции квартальных котельных в случае выбора варианта с заменой котлов возникает еще одна альтернатива – выбор типа котлов: жаро-

трубно-дымогарный или водогрейный. Если речь идет о котлах мощности до 12 МВт (граничное значение достаточно условно), то выбор желательно делать в пользу жаротрубного котла, поскольку он оказывается дешевле и имеет гораздо меньшее гидравлическое сопротивление, он проще в монтаже (хотя в последнее время производителям водотрубных котлов стремятся также, как и жаротрубные котлы, производить их в полной заводской готовности). Однако с ростом мощности нарастают конструктивные проблемы, органически присущие жаротрубным котлам, что приводит к необходимости создания комбинированных котлов. В конструкции жаротрубных котлов вносятся элементы водотрубных – котлы оснащаются выносным экономайзером, водоохлаждаемыми поворотными коллекторами [19, 20]. И тем не менее, просматривается предельное значение мощности жаротрубно-дымогарных котлов, после которой их изготовление становится не выгодным. На сегодняшний день в эксплуатации имеется всего три котла (по информации доступной авторам), приближающиеся по мощности к 20 МВт. Опыт их эксплуатации позволяет прогнозировать, что предельной мощностью комбинированных жаротрубно-дымогарных котлов с элементами водогрейной конструкции должна быть мощность в пределах 25–30 МВт.

### 3. Выводы

Системы централизованного теплоснабжения городов Украины требуют глубокой модернизации. Соответственно модернизации и реконструкции подлежат водогрейные котельные, как неотъемлемая часть СЦТ.

При разработке проектов реконструкции отопительных котельных необходимо учитывать изменения, происшедшие на нагрузке в сторону уменьшения нагрузки на горячее водоснабжение.

Для групповых котельных при проектировании их реконструкции котлы малой производительности предпочтительно заменять на новые, жаротрубные-дымогарные.

Для районных котельных и станций теплоснабжения предпочтительными вариантами являются модернизация существующих котлов и устройство дополнительного котла меньшей мощности для покрытия нагрузки на горячее водоснабжение в летнее время.

Для квартальных котельных выбор направления модернизации должен производиться с обязательным технико-экономическим обоснованием. Предпочтительным вариантом является модернизация существующих котлов в связи с малым объемом работ по реконструкции трубопроводов обвязки котлов.

### Литература

- [1] DBN V.2.6-31:2016 Teplova izolyatsiya budivel'.
- [2] DSTU-N B A.2.2-12:2015 Enerhetychna efektyvnist' budivel'.
- [3] DSTU B V.2.2-39:2016 Metody ta etapy provedennya enerhetychnoho audytu budivel'.
- [4] DSTU B V.2.5-44:2010 Inzhenerne obladnannya budynkiv i sporud. Proektuvannya system opalennya budivel' z teplovymy nasosamy (EN 154550:2007, MOD).
- [5] USAID, <https://www.usaid.gov/uk/ukraine> Munitsypal'na Enerhetychna Reforma v Ukraini.
- [6] NEFKO, <https://www.nefco.org>
- [7] Fomich S.V., Issledovaniye dinamiki izmineniya potrebleniya goryachey vody naseleniyem. Zb. Naukoviy visnik budivnitstva, KHNUBA, KHOTV ABU, Kharkiv 2017, 2(88), 203–206.
- [8] Roddatis K.F., Poltaretskiy A.N., Spravochnik po kotel'nykh ustanovkam maloy proizvoditel'nosti, pod red. K.F. Roddatisa, Energoatomizdat, M.: 1989, 488 s.
- [9] Bukin V.D., Vinokurov A.A., Katalog. Kotly maloy i sredney moshchnosti i topochnyye ustroystva, VNIITÊMR, 1987.
- [10] Liberman N.B., Nyankovskaya M.T., Spravochnik po proyektirovaniyu kotel'nykh ustanovok sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya, Ênergiya, M.: 1979, 224 s.

- [11] Vlasyuk A.V., Shepel' Ya.Ya., Povyscheniye effektivnosti raboty otopitel'nykh kotlov moshchnost'yu do 1 MVt, Istochnik: Zhurnal Novosti teplosnabzheniya 2001, 02(06).
- [12] Glushchenko L.F., Rekonstruktsiya promyshlenno–otopitel'nykh kotel'nykh, Tekhnika, K.: 1987, 150 s.
- [13] Sigal I.Ya., Lavrentsov Ye.M., Gazovyye vodogreynyye promyshlenno–otopitel'nyye kotly, Tekhnika, K.: 1967, 146 s.
- [14] Bogun V.A., Ratsional'noye raspredeleniye teplovy nagruzki mezhdru kotloagregatami otopitel'nykh kotel'nykh, Avtoreferat disertatsii na soiskaniye stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk, Dnepropetrovsk 1988.
- [15] DBN V.2.5–77:2014 Kotel'ni.
- [16] Teplovoy raschet kotel'nykh agregatov. Normativnyy metod, pod red. S.L. Kuznetsova, Energiya, M.: 1973, 296 s.
- [17] Glamazdin P.M., Glamazdin D.P., Ekologicheskiye aspekty modernizatsii vodogreynykh kotlov bol'shoy moshchnosti. Energetika, Izv. vyssh. ucheb. zavedeniy i energ. ob'yedineniy SNG 2016, 59, 3, 249–259.
- [18] Hlamazdin P.M., Hlamazdin D.P., Rezul'taty modernizatsiyi vodohriynykh kotliv PTVM–30. Zhytlovo-komunal'ne hospodarstvo Ukrayiny, 2013, 8, 18–19.
- [19] Schwarzenberger R., Hlamazdyn P.M., Osobnosty konstruyky zharotrbsnykh kotlov bol'shoy moshchnosty, Zb. Munitsypal'na enerhetyka: problemy, rishennya, Mykolayiv, NUK, 2013, 93–97.

## **Influence of results of thermal modernization of buildings and constructions of city building on modes of operation of heat sources of district heating systems**

### **ABSTRACT:**

The article presents the problems associated with the change of modes of heat sources of district heating systems of buildings and structures of urban development, in the conditions of Ukraine, as a result of thermal modernization measures. The necessity of deep modernization of district heating systems in Ukrainian cities was noted. The main directions and private decisions on improvement of work of systems of heat supply of the cities are offered. The necessity of modernization and reconstruction of water–heating boiler houses as an integral part of central supply heating system is emphasized. At reconstruction of heating boiler rooms it is very important to consider the changes which have occurred in loading, towards its reduction on hot water supply. In the case of reconstruction of low–capacity boilers, it is preferable to replace them with new. In district boilers and heat supply stations, the preferred options are the modernization of existing boilers and the installation of an additional boiler of lower capacity to cover the load on the hot water supply in the summer. The choice of the direction of modernization or reconstruction should be based on a mandatory feasibility study.

### **KEYWORDS:**

energy efficiency; operating costs; modernization; reconstruction; central heating system; boiler house; group boiler house; feasibility study