

УДК 621.182.4/6

## Енергоефективна модернізація котлів КВГ та ТВГ

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

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна, [sib.kiev@gmail.com](mailto:sib.kiev@gmail.com),  
ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup>інженер-конструктор, Bay Boiler System GmbH., Frieberg Neckar, Німеччина, [d.glamazdin@bay-boiler.de](mailto:d.glamazdin@bay-boiler.de),  
ORCID 0000-0002-2851 - 9352

*Анотація. На сьогодні системи централізованого теплопостачання міст України знаходяться в кризовому стані та потребують значної модернізації. Це стосується й такої важливої складової систем централізованого теплопостачання як опалювальні водогрійні котельні. Незадовільний стан котельень пояснюється головним чином застарілим основним обладнанням, серед якого водогрійні котли, які давно відпрацювали паспортний термін експлуатації. У них відсутня сучасна автоматика, особливо задля регулювання режимів роботи. Встановлену потужність завищено понад реальні теплові навантаження. Номенклатура водогрійних котлів, що використовуються, невелика. Це – котли малої потужності серій НДІСТ, «Універсал», «Енергія», «Факел» тощо, середньої потужності серій ТВГ та КВГ і великої потужностей серій ПТВМ та КВГМ. За своєю розповсюдженістю особливої уваги потребують котли серій ТВГ та КВГ, якими укомплектовано кварталні котельні. Котли цих серій мають ефективну конструкцію топкового об'єму і оптимізовану конструкцію конвективної частини. Однак, за обмурівкою, автоматизацією, системами газопостачання та повітропостачання вони не відповідають сьгоднішнім вимогам і відстають від досягнутого рівня технічних рішень. У статті визначено основні вади конструкції котлів і запропоновано шляхи їхнього подолання. Визначено резерви підвищення енергоефективності котлів цих серій. Виявлено можливості покращення екологічних показників з доведенням до рівня сучасних вимог при реалізації запропонованих технічних рішень.*

*Ключові слова: водогрійний котел, енергоефективність, модернізація водогрійних котлів, шкідливі викиди, екологічна безпека.*

**Вступ.** У зв'язку з термомодернізацією будівель, частковим переходом споживачів на індивідуальне гаряче водопостачання та закриття багатьох промислових підприємств зменшується навантаження на центральне теплопостачання. З іншого боку, підвищуються вимоги до котельного обладнання, особливо до екологічності та енергоефективності. Однак, більшість наявних котлів морально і фізично застарілі, а автоматизація не відповідає сучасним вимогам. Це вимагає негайної модернізації котельної техніки.

**Актуальність дослідження.** У сучасних економічних умовах заміна котлів середньої та великої потужності на нові виявляється неможливою. Наявні котли, зазвичай, мають резерви підвищення енергоефективності та екологічності. Це обумовлює актуальність пошуків шляхів модернізації наявних котлів задля покращення екологічності та підвищення енергоефективності.

**Останні дослідження та публікації.** На даний час системи централізованого теплопостачання міст України знаходяться в кризовому стані й потребують оптимізації та глибокої модернізації [1]. Це стосується і такої важливої складової системи централізованого теплопостачання як опалювальні водогрійні котельні [2]. Незадовільний стан котельень пояснюється кількома факторами:

- у більшості котельень обладнання, серед якого і котли, вже відпрацювало свій паспортний термін експлуатації, іноді двічі і більше;
- автоматика регулювання параметрів котлів безнадійно застаріла і не задовольняє сучасним вимогам;
- навантаження на котельні постійно знижуються завдяки
  - зменшенню попиту на централізоване гаряче водопостачання [3];
  - зменшенню навантаження на опалення через термомодернізацію будинків;
  - від'єднанню промислових споживачів [1].

Знижене навантаження вимагає збільшення діапазону регулювання водогрійних котлів. Проте без модернізації вони до цього не пристосовані.

Номенклатура водогрійних котлів, що використовуються в опалювальних котельних системах централізованого теплопостачання, не широка [4]:

- сильно застарілі котли серії НДІСТ та ще більш застарілі котли малої потужності серій «Універсал», «Енергія», «НР»;
- чавунні секційні котли здебільшого серії «Факел»;
- котли серії ТВГ та КВГ;
- котли серії КВГМ;

- потужні пікові водогрійні котли серії ПТВМ.

Чисельне моделювання тепломасообмінних процесів в найбільш розповсюджених котлах малої потужності серії НДІСТ показали напрямки модернізації цих котлів, які втілені в розробки пропозицій для їхньої модернізації [5,6].

Останнім часом Монастирищенський машинобудівний завод пропонував ці котли з легкою мінераловатною обмурівкою. Для цього прийшлося використати екрани, схожі на мембранні газошільні (рис. 1). Однак функцію ущільнення топки вони повністю не виконують. Для цього призначено екрани з мембранних панелей. З такою модернізацією ці котли за енергоефективністю не в змозі конкурувати з сучасними жаротрубно-димогарними котлами [7]. Вартість модернізації перевищуватиме ціну нового жаротрубно-димогарного котла такої ж потужності.

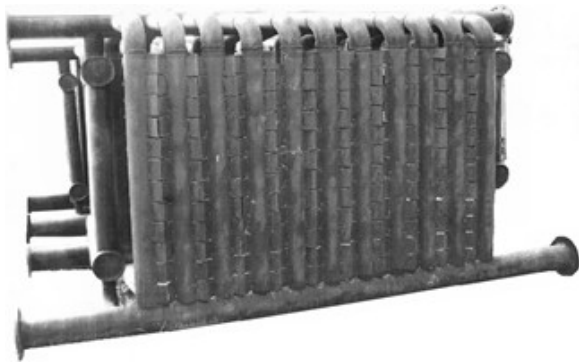


Рис. 1. Модернізація котла серії НДІСТ –V. Наближення екранів до стану газошільних

Таким чином, котли серії НДІСТ та інші подібні малої потужності потребують заміни через низький коефіцієнт корисної дії. Всі інші котли можна ефективно модернізувати з підвищенням останнього та зменшенням шкідливих викидів в атмосферу.

Серед інших водогрійних котлів особливої уваги заслуговують котли серії ТВГ та КВГ, конструкції яких базуються на конструкції котла ПГ [8]. Котли серії КВГ можна розглядати як розвиток серії ТВГ. Котли цих серій розроблено в Інституті газу Академії наук України [9] і багато років вироблялися Монастирищенським машинобудівним заводом. В Україні в групових та квартальних котельнях експлуатують близько 1500 котлів серій ТВГ та КВГ [10].

За даними заводу було вироблено до 2020 року котлів:

- ТВГ-4 – 1384 штук;
- ТВГ-8 – 3362 штук;
- КВГ-4,65 – 1095 штук;
- КВГ-7,56 – 2599 штук.

Крім того, було виготовлено невелику партію експериментальних котлів ТВГ-10.

Більшість вироблених котлів активно експлуатуються в централізованих системах теплопостачання міст України, а також інших країн. Це обумовлює потребу розробки заходів щодо підвищення енергоефективності та екологічних показників котлів серій ТВГ та КВГ.

**Мета роботи.** Метою роботи є виявлення резервів у конструкції наявних водогрійних котлів серій ТВГ та КВГ для підвищення їхньої енергоефективності, розширення діапазону регулювання навантаження та підвищення екологічних характеристик.

**Основна частина.** Котельний агрегат є складним апаратом, що комплектується з декількох складових. Кожна з цих складових вносить свій внесок у ефективність роботи всього апарата. Для більш глибокого аналізування теплотехнічних характеристик розглянутих котлів було застосовано окремі принципи системного аналізу [11]. Було проведено декомпозицію конструкції котлів з побудовою структурної схеми (рис. 2) і подальшим аналізом впливу окремих елементів на енергоефективність.

Було проведено обстеження котлів під час ремонтних робіт у них, а також тепловізійне обстеження якості обмурівки в процесі експлуатації. Також було зібрано та проаналізовано режимні карти котлів з різних котельень і міст.

Котел (рис. 2) складається з корпусу, який можна поділити на топковий об'єм та конвективну частину (шахту), а також камеру повітряного ресивера, розміщену під основним об'ємом. У топковому об'ємі розміщено високотемпературні поверхні нагріву (екрани) та пальникові пристрої.

В конвективній частині розміщені додаткові низькотемпературні поверхні нагріву у вигляді горизонтальних трубчастих змійовиків, які зв'язані між собою у декілька пакетів. Ресиверний об'єм дуттьового повітря відокремлений від топкового об'єму металевим перфорованим листом.

Корпус котла виконаний таким чином, що він одночасно є і обмурівкою котлів. Для котлів серії ТВГ обмурівка двошарова. Внутрішній шар викладено з шамотової цегли, а зовнішній шар – зі звичайної червоної цегли. Для котлів серії КВГ передбачена полегшена обмурівка. Вона теж двошарова. Внутрішній шар виконано з шамотового бетону. Поверхні нагріву в топковому просторі (екрани) виконано з труби  $d = 51 \times 2,5$  мм.

У топковому об'ємі котла ТВГ розміщено три двосвітні екрани та два настінні на бокових стінках.

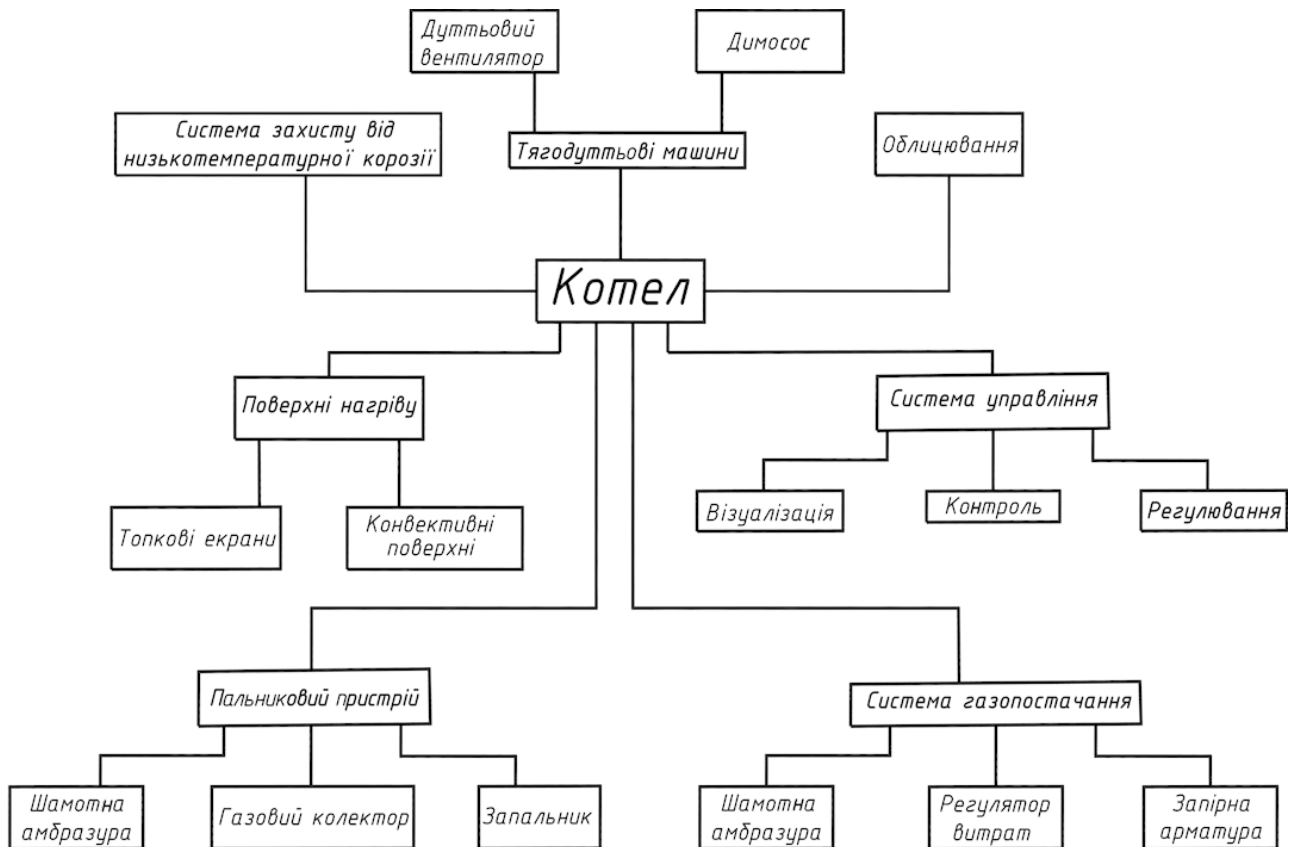


Рис. 2. Декомпозиція котлів серії ТВГ та КВГ

У котлах КВГ двосвітних екранів два, як і настінних. В обох серіях котлів встановлено фронтальний екран, який починається над ремонтними лазами. Він не закриває за високою весь фронт котла та переходить у склепінчастий екран.

Усі колектори екранів, серед яких і фронтальний екран, розташовані в топковому просторі. Тільки збірний колектор склепінчастого екрана розташований ззовні над склепінням.

Конвективну частину поверхонь нагріву виконано з труби діаметром  $d = 28 \times 3$  мм з організацією перехресного обтікання горизонтальних пакетів труб димовими газами згори донизу. Димові гази потрапляють у конвективну шахту крізь вихідне вікно у верхній частині неекранованої задньої стіни топки.

Пальники прийнято подові – з перфорованих горизонтальних труб з перфорацією у два ряди під кутом  $90^\circ$  один до одного. Пальники розташовано в спеціальних пазах з шамотової цегли зі ступінчастим розширенням до верху в поді топкового простору. Газопостачання пальників котла здійснюється від газового колектора, що розташований на зовнішній поверхні фронту котла. Від цього колектора до кожного пальника підводиться газ своєю розподільчою трубою з запірною арматурою та трубопроводами безпеки і продувки.

Система постачання паливників дуттьовим повітрям має дуттьовий вентилятор з регульовальним напрямним апаратом, оснащеним однообертовим редуктором. Від дуттьового вентилятора підземний канал повітропроводу веде до ресиверної камери. Остання розташована під котлом з розподільчим металевим перфорованим листом, що призначений для рівномірного розподілення дуттьового повітря між пальниками.

Система димовидалення має димосос, оснащений напрямним апаратом з однообертовим редуктором. Димосос з'єднано підземним каналом з шахтою конвективної частини котла.

Система автоматики котла забезпечує безпечну роботу і певний ступінь регулювання навантаження та якості горіння.

Проведений поелементний аналіз конструкції котла та обстеження котлів під час експлуатації і в періоди ремонтів дали можливість виявити недоліки конструкції котлів. Також знайдено резерви підвищення їхньої енергоефективності й екологічних характеристик.

Загальна теплотехнічна концепція конструкції котлів серій ТВГ та КВГ на сьогодні залишається прийнятною та надійною, хоча вона була запропонована більш, ніж пів сторіччя тому. Однак, деякі технічні рішення застаріли.

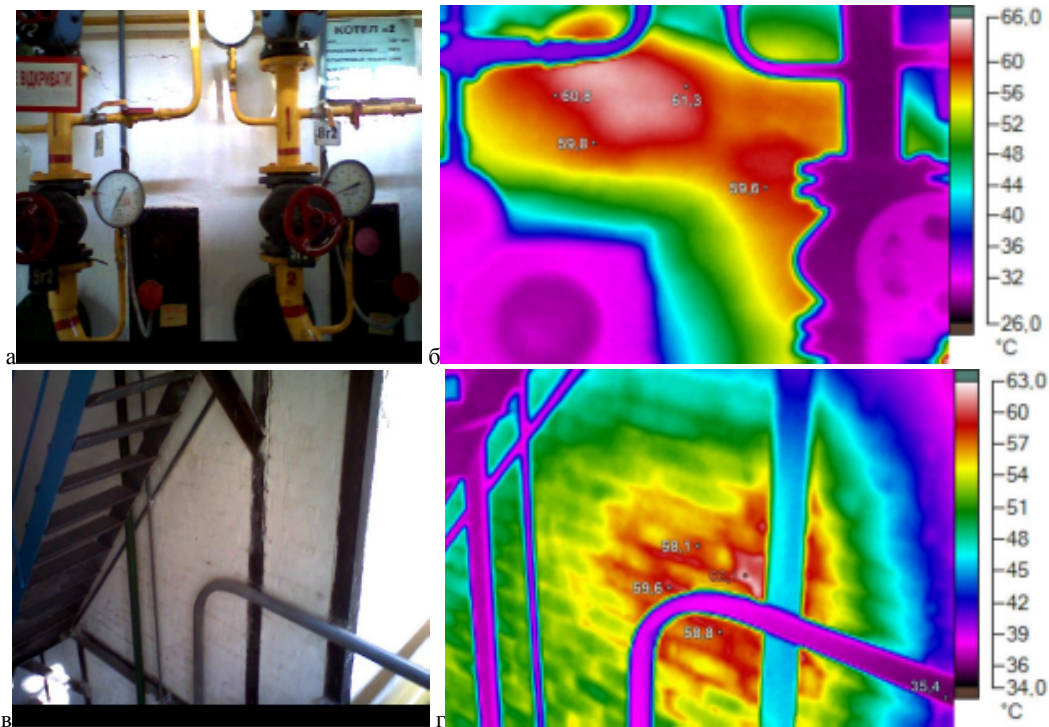


Рис. 3. Результати тепловізійного контролю зовнішніх поверхонь обмурування котла ТВГ-8: а – світлина фронтальної поверхні у видимому світлі; б – те ж тепловізійне зображення; в – світлина бічної поверхні у видимому світлі; г – те ж тепловізійне зображення

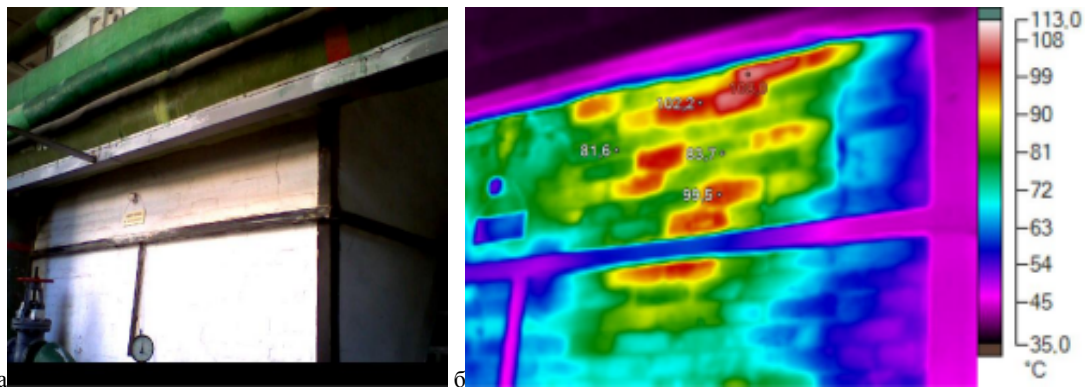


Рис. 4. Результати тепловізійного контролю зовнішніх поверхонь конвективної частини обмурування котла ТВГ-8: а – світлина у видимому світлі; б – те ж тепловізійне зображення

Найперше обмурівки обох серій котлів, особливо ТВГ, не задовольняють вимоги чинного нормативного документу щодо теплової ізоляції промислового обладнання [12]. Згідно з цим документом питомий тепловий потік крізь теплову ізоляцію не повинен перевищувати  $100 \text{ Вт/м}^2$ . Однак, згідно з розрахунками і результатами обстежень [13] для котлів ТВГ він перевищує  $400 \text{ Вт/м}^2$ , а для КВГ –  $350 \text{ Вт/м}^2$  (рис. 3, 4).

Тепловий потік визначено за формулою

$$q = \alpha_s (\tau_n - t_o), \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

де  $\alpha_s$  – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні

$$\alpha_n = 8,4 + 0,06 (\tau_n - t_o), \text{ Вт/(м}^2\text{К)}; \quad (2)$$

$\tau_n$  – температура поверхні,  $^\circ\text{C}$ ,  $t_o$  – температура навколишнього повітря,  $^\circ\text{C}$

Крім того, в обмурівці котлів ТВГ використовується шамотова цегла, а КВГ – шамотобетон. Ці матеріали крихкі і не витримують періодичних теплових напружень при частих змінах температури, що характерно для зупинок і пусків водогрійних котлів у міжсезоння. Це призводить до руйнування внутрішнього шамотового шару обмурування. Такі пошкодження залишаються непомітним ззовні. Лише тепловізійне обстеження дає змогу їх виявити (рис. 3, 4).

Архаїчною є система газопостачання паливників. Вона не відповідає вимогам прийнятого в Україні європейського стандарту EN 676 [14] до подібних систем. Таке газопостачання не дозволяє застосовувати сучасну систему авто-

матичного управління котловими процесами, що передбачає серед іншого автоматизований запуск котлів для організації їхньої роботи в каскадному режимі.

Самі газопальникові пристрої не виглядають достатньо надійними. Вони дуже вимогливі до технологічної дисципліни при монтажуванні та експлуатації.

З іншого боку, розташування пальників у поді окремих відсіків топкового простору між двосвітними екранами є оптимальним. Фактично це визнали і автори конструкції котлів цих серій і запропонували зміни в конструкції самих колекторів. Замість перфорованих труб, як це було в початковій версії конструкції котлів, запропоновано пальники МПШГ [15]. Повітропостачання пальників визнати оптимальним неможливо.

Сам принцип улаштування спільної камери, яка має вирівнювати подачу повітря між пальниками, не є надійним рішенням. Згідно з аеродинамічною теорією подібних апаратів [16] у разі будь якої зміни в одному відсіку одразу відбувається аеродинамічне розбалансування інших відсіків. У свою чергу це призведе до некерованих змін співвідношення витрати газу та дуттьового повітря у всіх пальниках.

Крім того, аеродинамічні характеристики кожного з відсіків топкового простору не однакові у всьому їхньому об'ємі. Обстеження внутрішнього простору топков під час ремонтів котлів показали, що фактично у всіх обстежених котлах цих серій є дві зони, де відкладається сажа (чистий вуглець) як продукт хімічного недопалу (рис. 5).



Рис. 5. Зони топки з хімічним недопалом

Аналіз показує, що на фронтальному екрані сажа відкладається через наявність колектора фронтального екрана всередині топки. Останній утворює зону аеродинамічної тіні над собою і відхиляє потік дуттьового повітря до середини топки.

Відкладення сажі в кінці топки біля задньої стіни можна пояснити тим, що в цій зоні витрата газу менша, як це вказано в [9].

Відповідно, і температура в цій зоні теж менша. Це і призводить до суттєвого хімічного недопалу. Удосконалення конструкції має усунути зони (рис. 6 а) з аеродинамічними проблемами.

Конвективні поверхні нагріву виконано з труби  $d = 28 \times 3$  мм, яку було прийнято в усіх серіях радянських водогрійних котлів [17]. Ці труби вже на початку експлуатації створюють підвищений гідравлічний опір. Під час роботи котла в них постійно відкладаються наявні в мережній воді механічні домішки. Це призводить іноді до неприпустимого зростання гідравлічного опору котла, який не можуть подолати мережеві насоси.

Автори статті брали участь у терміновому промиванні котла ТВГ-8, у якому втрати тиску сягнули 0,7 МПа при паспортному опорі не більше 0,15 МПа [9]. Це стало причиною його аварійної зупинки через неможливість циркуляційними насосами здійснювати рух води через котел.

Автор роботи [18], присвяченої дослідженню зміни коефіцієнта корисної дії котлів ТВГ та ПТВМ-30 у процесі експлуатації, показав, його падіння для котлів ТВГ протягом року експлуатації на один відсоток. Автор не вдавався до системного аналізу, щоб знайти резерви підвищення енергоефективності. Проте окремі результати досліджень підтверджують результати наведеного аналізу.

У підсумку можна виділити такі напрямки вдосконалення котлів серій ТВГ та КВГ:

1. Реконструкція системи повітропостачання;
2. Реконструкція системи газопостачання;
3. Оснащення котлів сучасною системою автоматичного управління;
4. Заміна обмурівки котлів.

При цьому загальна концепція теплотехнічного напрямку конструювання котлів залишається незмінною – розділення топкового простору на декілька відсіків двосвітними екранами з розташуванням у поді кожного відсіку подового пальника.

Проблемою підвищення енергоефективності та екологічних якостей водогрійних котлів спеціалісти займаються ще з 80-х років минулого сторіччя. Але здебільшого це стосувалося великих водотрубних котлів серії ПТВМ та КВГМ [19, 20, 21, 22, 23]. Дослідження велися в таких основних напрямках:

- підвищення потужності котлів [19, 20];
- розширення діапазону регулювання [21];
- підвищення коефіцієнта корисної дії та зменшення шкідливих викидів [22, 23].

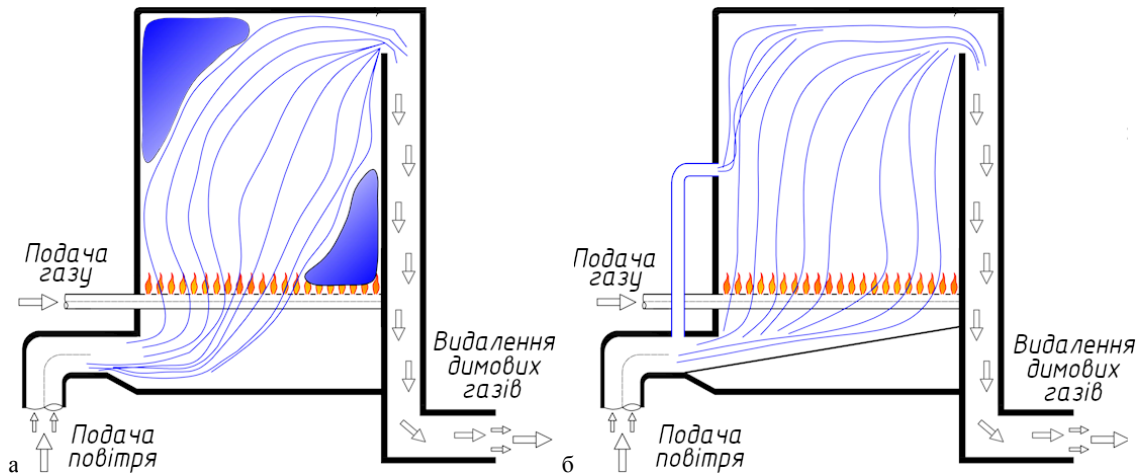


Рис. 6. Вирішення аеродинамічних проблем топки:

а – проблемні зони (зафарбовано синім кольором); б – схема усунення проблемних зон

Досвід модернізації великих потужних водогрійних котлів можна звести до таких узагальнених результатів:

- збільшення потужності котлів ПТВМ зводиться до:
  - нарощування площі поверхні нагріву;
  - збільшення розмірів котла з відповідним збільшенням екранних поверхонь у топці [19];
  - додавання додаткових ширмових поверхонь нагріву на виході з топкової камери;
  - оребрення труб конвективних поверхонь [20, 22];
- розширення діапазону регулювання досягається
  - заміною пальників на більш досконалі з широким діапазоном регулювання навантаження (від 5% до 100%);
  - запуск пальників «каскадом» за допомогою автоматизованої системи управління їхньою роботою [21].

Роботи, проведені в Інституті газу Національної академії наук України, показали, що шляхами підвищення екологічних показників водогрійних та парових котлів можуть бути

- рециркуляція продуктів згоряння (частково) до топки
- заміна пальників на більш досконалі, іноді зі зміною їхнього розташування в топці [23].

Проведене авторами раніше дослідження [24] також показало, що підвищення екологічних характеристик водогрійних котлів великої потужності може бути досягнуто заміною пальників на новітні зразки з мінімізованим генеруванням  $\text{CO}$  та  $\text{NO}_x$  з одночасною оптимізацією їхньої кількості та геометрії розташування в топковій камері.

Для підвищення надійності експлуатації та

зниження гідравлічного опору котлів рекомендується заміна труб пакетів конвективної частини на труби більшого діаметру ( $d = 38 \times 3,0$ ) з можливим оребренням труб перших за ходом димових газів пакетів [21, 22, 15].

У загальному вигляді такі рекомендації можна застосовувати і в концепції енергоефективної модернізації котлів серії ТВГ та КВГ з урахуванням особливостей їхньої конструкції.

Автори котлів зазначених серій на підставі досвіду багаторічної експлуатації котлів внесли зміни до їхньої конструкції, направлені на підвищення енергоефективності та надійності. Головні вдосконалення:

- заміна сортаменту труб конвективних пакетів з  $28 \times 2,5$  мм на  $32 \times 3$  мм;
- зміни в конструкції вузла газопальникового пристрою;
- заміною штатних пальників на пальники МППГ-3 [23].

Котли ТВГ і КВГ широко розповсюджені. Однак, у відомих авторах джерелах інформація щодо них фактично відсутня, крім вище згадуваних робіт авторів проєктів котлів. У науково-технічній літературі є поодинокі публікації, що висвітлюють пошуки інших дослідників у напрямку поліпшення конструкції котлів серій ТВГ та КВГ.

Наприклад, у [20] розглянуто збільшення потужності котла ТВГ-8 до 12 МВт. Також наведено інформацію щодо спроби заміни подових пальників у котлах цих серій [24] на вентиляторні блокові пальники.

Крім цього, у [13] авторами показано перспективність заміни штатної обмурівки сучасною з волокнистих мінеральних матеріалів. Нарешті оснащення водогрійних котлів додатковими низькотемпературними поверхнями нагріву, серед яких винесені за межі котла [25], може бути розглянуто як перспективний

напрямок для котлів серії ТВГ та КВГ.

Проблема підвищення потужності не є актуальною для котлів серії ТВГ та КВГ, оскільки на сьогодні в більшості квартальних котельнь встановлена потужність перевищує фактичне навантаження.

Проблема розширення діапазону потужності в бік її зменшення для розглянутих серій котлів актуальна. Проте вона не може вирішуватися такими засобами, які рекомендовано для котлів інших серій, через особливості конструкції котлів ТВГ та КВГ.

Щоб виділити вплив кожного з розглянутих елементів котла на загальний коефіцієнт корисної дії і вдосконалити конструкцію можливо використати рівняння теплового балансу [27] у відсотках від робочої нижчої теплоти згоряння  $Q_n^p$ , кДж/м<sup>3</sup>

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \% \quad (1)$$

де  $q$  – питома кількість теплоти, що вноситься в котел з паливом і дуттьовим повітрям, %;  $q_1$  – корисно використана теплота, %;  $q_2$  – втрати з димовими газами, %;  $q_3$  – втрати від хімічного недопалу, %;  $q_4 = 0$  – втрати від механічного недопалу, %, що відбуваються лише у твердопаливних котлах;  $q_5$  – втрати крізь обмурування, %;  $q_6 = 0$  – втрати зі шлаком, що відбуваються лише у твердопаливних котлах.

Таке рівняння є загальноприйнятим механізмом оцінки ефективності котлів.

Аналіз досконалості виділених структурних елементів варто починати з найбільшої втрати  $q_2$ , %, з димовими газами [27]

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} I_{xn})(100 - q_4)}{Q_n^p}, \% \quad (2)$$

де  $I_{yx}$  – ентальпія димових газів, кДж/м<sup>3</sup>;  $I_{xn}$  – ентальпія теоретично необхідного дуттьового повітря, кДж/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{yx}$  – зайвина повітря перед димососом

$$\alpha_{yx} = \alpha_n + \sum \Delta \alpha_i \quad (3)$$

де  $\alpha_n$  – зайвина повітря на пальнику;  $\Delta \alpha$  – сума присисань повітря в окремих газоходах котла;  $i$  – індекс газоходу.

З наведених рівнянь (2) та (3) видно, що втрату  $q_2$ , %, можна зменшити за рахунок зменшення двох чинників – температури димових газів,  $K$ , та зайвини повітря. Температура димових газів у першу чергу залежить від інтенсивності теплообміну в топці та від площі поверхні конвективної частини.

Згідно з [9] для котлів серії ТВГ вона лежить у діапазоні 140...210 °С.

При навантаженні 36 %, а це майже нижня межа навантаження [9], температура падає до 95 °С. Це означає початок конденсації водяної пари в конвективній частині [28]. У результаті відбувається активна корозія труб конвективної частини. Таким чином, збільшення площі конвективної частини призводить до конденсаційних режимів при навантаженнях, менших за 36 %.

Для зниження температури димових газів можна рекомендувати виносні теплоутилізатори. Вони можуть бути двох типів – класичні економайзери, або повітрянагрівачі. Останні можуть бути виконані або з пластикових [29], або скляних труб [30], або з синтетичних плівок [31], що дозволяє уникнути корозійних процесів.

Для класичних економайзерів можливі варіанти виготовлення:

- труба з легованої сталі;
- чорна труба з напиленням з кольорових металів або легованої сталі;
- з двох частин:
  - на вході – труба з нелегованої сталі;
  - далі, де можлива конденсація, приєднується труба з легованої сталі.
- труба з нелегованої сталі, кожні три-чотири роки пошкоджені труби вимагають заміни, якщо це економічно вигідно;

Останній напрямок був реалізований в концерні «Міські теплові мережі» міста Запоріжжя. Усі котли серії ТВГ та КВГ було оснащено виносними економайзерами з нелегованої сталі. У них температура димових газів знижувалася до 90 °С.

Збільшити площу конвективної поверхні можна також використанням оребрених труб при заміні конвективних пакетів з труб більшого діаметра. Доцільним також є використання оребрених труб для заміни внутрішніх поверхонь нагріву й улаштування зовнішнього теплоутилізатора. Однак, у двотрубних системах теплопостачання для опалення та гарячого водопостачання неможливо повністю спожити приховану теплоту конденсації пари в димових газах. Причиною є необхідність забезпечити функціонування теплообмінників гарячого водопостачання в теплових пунктах і обумовленою цим температурою зворотної води в опалювальний період.

Другим фактором, що впливає на величину витрати  $q_2$ , %, є зайвина повітря на виході з котла. Чим вона більше, тим більшими є тепловтрати. Для котлів під розрідженням, серед яких ТВГ й КВГ, зайвина повітря складається з

- зайвини повітря для оптимального спалювання газу пальниками і залежить від конструкції останніх
- присисань уздовж тракту котла, які залежать від якості обмурівки.

Отже, якість обмурівки визначає не тільки втрату  $q_3$ , %, але в певній мірі і втрату  $q_2$ , %, що примушує ретельно вибирати конструкцію та матеріали обмурівки. На величину зайвини повітря на виході з котла впливає також і точність регулювання розрядження в котлі. Для підвищення точності регулювання розрядження необхідно оснащувати димосос частотним регулятором. Останній не тільки дозволяє істотно знизити електричні втрати у двигуні вентилятора до 6,6 % [32], але і зменшити втрату  $q_2$ , %, через зменшення зайвини повітря.

Згідно з [9] зайвина повітря за котлом при новій штатній обмурівці становить 1,2. Оскільки для нормальної роботи подового пальника необхідно створити малу зайвину  $\alpha = 1,08 \dots 1,1$  [33], то присисання крізь обмурівку становить  $\Delta\alpha = 0,1 \dots 0,12$  [33]. Виконання обмурівки за конструкцією [13] робить котел фактично газотітним через наявність зовнішнього кожуха з профільованого металу і металевого листа між першим і другим шарами теплоізоляційних матеріалів. Тоді можна прийняти присисання повітря крізь обмурівку на рівні  $\Delta\alpha = 0,02$ . У результаті присисання знижується до рівня  $\alpha_{\text{вх}} = 1,1 \div 1,12$ .

Величина  $q_3$ , %, залежить фактично від декількох факторів:

- підтримання оптимального співвідношення витрати газу та дуттьового повітря на всьому діапазоні навантаження котла;
- якості змішування газу та дуттьового повітря у факелі;
- рівномірності температурного поля в топці;
- часу перебування палива в топці [34].

Перший фактор залежить від довершеності конструкції пальника та системи автоматики. Другий фактор обумовлюється конструкцією пальника. Останні два фактори (при задовільному рівні перших двох) залежать від правильності розташування пальника в об'ємі топки.

Сьогоднішній рівень техніки систем автоматизації і пальникових пристроїв дозволяє знизити рівень втрати  $q_3$ , %, до мінімуму і вести процес у всьому діапазоні навантажень при мінімальній для даного складу газу зайвині дуттьового повітря  $\alpha_{\text{кр}}$  (критична зайвина). Останнє дозволяє мінімізувати не лише  $q_3$ , але й викиди CO [35]. Підтримати такий режим горіння можливо тільки за наявності частотного регулювання дуттьового вентилятора та димососа.

Наявність потрібних для глибокої автоматизації контролерів і датчиків, а також спеціалізованих алгоритмів управління споживанням палива – це необхідна, але не достатня умова. Для повної автоматизації процесом у топковій камері необхідно мати відповідне газове обладнання. Комплект сучасної газової апаратури має крім запірної арматури фільтр, регулятор-стабілізатор тиску, два запобіжні клапани, регулятор витрати газу та контрольні та показувальні прилади. Можливі три варіанти модернізації газового обладнання котла:

- визначений вище комплект керує кожним пальником (відповідно, для котлів серії ТВГ – чотири комплекти, а для котлів серії КВГ – три комплекти)
- встановлюється один комплект на котел, причому всі пальники регулюються одночасно.

У першому варіанті точність регулювання буде вищою. Але він важчий у обслуговуванні та дорожчий. Можливий третій варіант – проміжний (рис. 7).

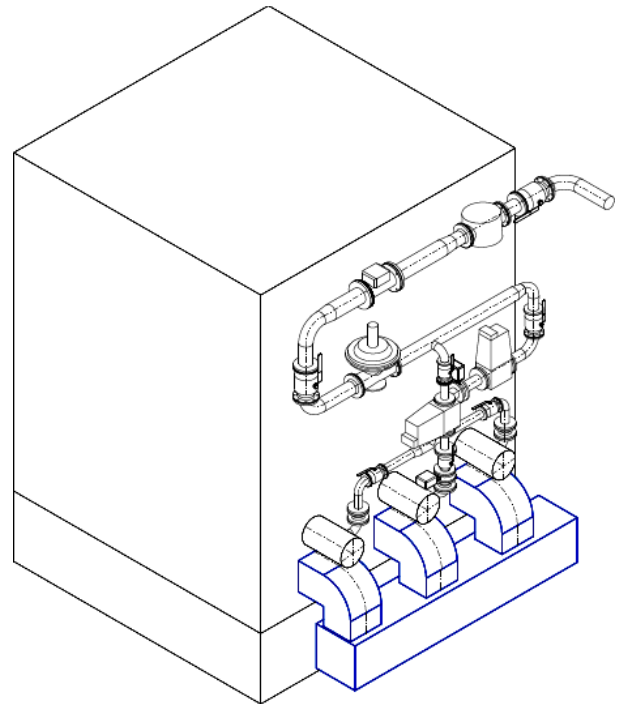


Рис. 7. Реконструкція системи газопостачання котла КВГ- 4,65

Однією з найбільших вад котлів серії ТВГ та КВГ є високий поріг мінімального навантаження на котли  $\sim 30\%$  [9]. Цю ваду можна подолати завдяки зміні кількості пальників, що працюють: для котлів серії ТВГ це або два середні пальники або всі чотири, а для серії КВГ таких варіантів три:

- один середній пальник;
- два крайні пальники;
- всі три пальники.



Для того, щоб навантаження змінювалося плавно, необхідно, щоб пальники з'єднувалися між собою в «каскаді».

Сучасні контролери легко вирішують цю проблему [36]. Для реалізації таких технічних рішень необхідно змінювати систему газопостачання котлів, як показано вище.

Проведене обстеження стану елементів котлів під час ремонту виявило наявність у топках котлів проблемні з точки зору аеродинаміки зони. У них має місце явний хімічний недопал (рис. 5).

У цих зонах відкладається чистий вуглець. Це означає, що в них генерується й монооксид вуглецю CO замість двоокису CO<sub>2</sub>. Такий перебіг процесу горіння приводить до зростання втрати  $q_3$ , %, та зниження екологічних показників котлів.

Причин появи зазначених зон дві:

- невдала конструкція повітропостачання;
- розташування отвору для відведення продуктів згоряння у верхній частині задньої стінки топки.

Моделювання процесів у топці котлів серії НДІСТ [5], які мають аналогічне розташування вихідного вікна для димових газів, показало схожу картину.

Змінити розташування вихідного отвору можливості немає. Проте змінити систему повітропостачання можливо без особливого втручання в конструкцію котла:

- відмовитися від використання ресиверної повітряної камери під котлом
- оснастити вхід повітропроводів до кожного газопальникового пристрою сучасним регульованим клапаном з сервоприводом
- дещо змінити глибину повітряного каналу під подовим пальником по довжині (див. рис. 6).

Ці заходи (рис. 8) дозволять поліпшити аеродинамічні характеристики топки біля задньої стінки.

Щоб позбутися подібної зони біля фронтальної стінки можливо винести колектор фронтального екрана з об'єму топки назовні, як це зроблено в котлі ДКВР-10 [37].

Ще одним кроком у модернізації котлів серій ТВГ та КВГ для зниження втрати  $q_3$ , %, може бути заміна подових пальників (навіть модернізованих до рівня МППГ-3) на пальники безполум'яного інфрачервоного горіння [38].

Зазначений захід обумовлює ще більш кардинальну зміну системи повітропостачання. Адаже в них розміщується попереднє змішуван-

ня дуттьового повітря з газом.

Для мінімізації втрат від хімічного недопалу  $q_3$ , %, вкрай важливе точне регулювання співвідношення витрати газу та дуттьового повітря.

Для штатних систем автоматизації роботи котлів характерним було регулювання цього співвідношення шляхом контролю і підтримання співвідношення тисків газу та дуттьового повітря [39]. Воно встановлювалося під час налагоджувальних робіт або еколого-технічних випробувань [40].

Співвідношення тисків повинно було підтримуватись однаковим у всьому діапазоні навантаження котла. Це не дозволяло досягати мінімальних величин втрат  $q_3$ , %, і, відповідно, мінімізувати шкідливі викиди.

На зміну цьому методу прийшов метод регулювання за вмістом кисню в продуктах згоряння [41]. Проте на сьогодні й цей метод не задовольняє вимоги екологічності та економічності.

Найкращі результати дають системи автоматизації, що використовують метод регулювання процесів горіння за вмістом не лише кисню в продуктах згоряння, але й монооксиду вуглецю CO та водню H<sub>2</sub> [42]. Однак для котлів з декількома пальниками виникає принципова проблема визначення якості регулювання окремих пальників через змішування в топці продуктів згоряння від пальників у єдиний потік на виході з топки.

Для вирішення цієї проблеми дослідження ведуться у двох напрямках:

- залежність випромінювання факелу від вмісту в ньому кисню O<sub>2</sub>, водню H<sub>2</sub>, оксидів азоту NO<sub>x</sub> та вуглецю CO [43]
- залежність електрофізичних властивостей факелу від його хімічного складу [44].

Будова топки котлів серій ТВГ та КВГ з окремих відсіків цю проблему вирішує автоматично. Давачі встановлюються на виході з кожного відсіку, що дає можливість контролювати якість горіння в кожному з відсіків паралельно і незалежно.

Щодо заходів задля зниження втрати  $q_5$ , %, вже було сказано вище. Єдине, що слід додати, це необхідність [45] обраховувати її за загальними формулами теплообміну. Адаже залежності [27] не описують реальні значення тепловтрат у навколишнє середовище для котлів малої та середньої потужності, серед яких серії ТВГ та КВГ.

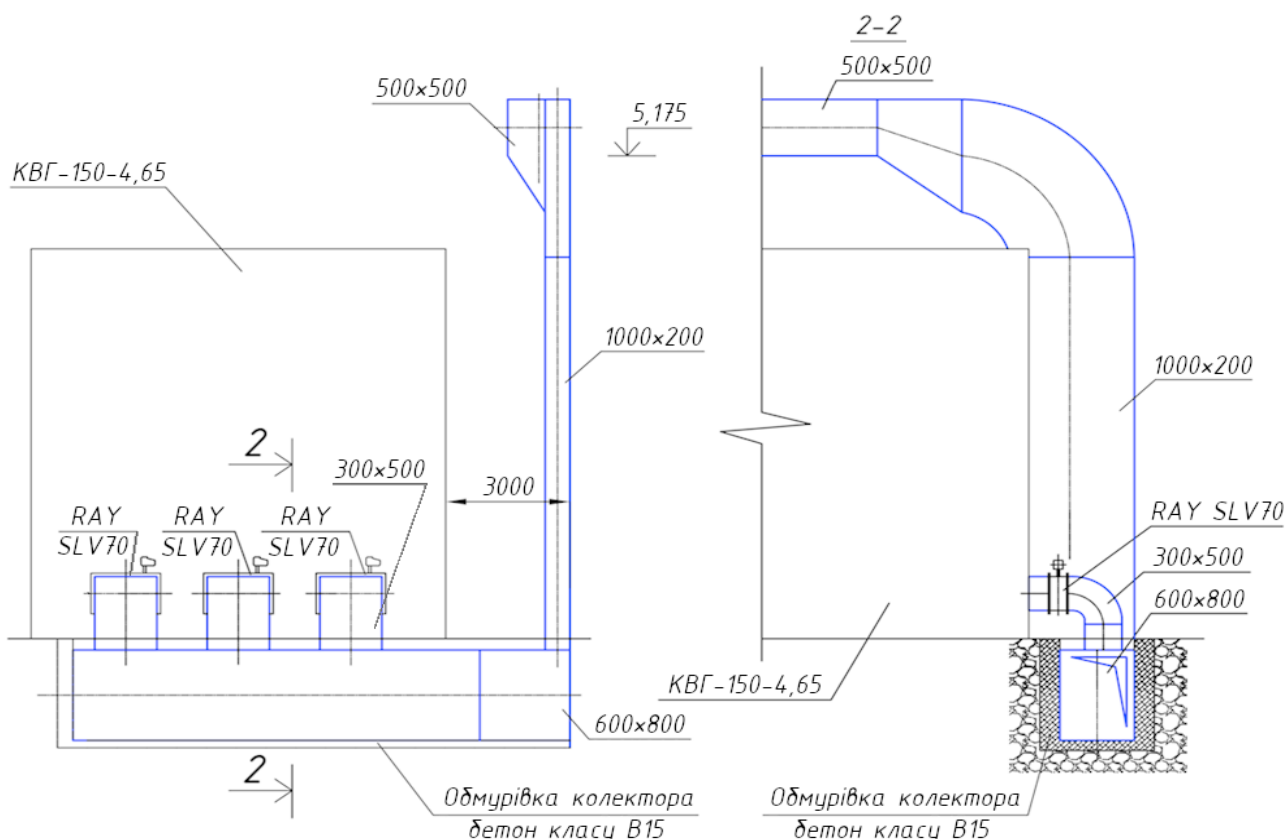


Рис. 8. Реконструкція системи повітропостачання котла КВГ-4,65

**Висновки.** Котли серії ТВГ та КВГ мають три основні вади: недостатня довговічність газового колектора подового пальника, замалий діаметр труб конвективної частини та використання шамотових матеріалів у обмурівці пальників. Перші дві вади подолано розробниками завдяки збільшенню діаметра труб конвективних пакетів і модернізації подових пальників МПГ-3. Третя вада долається заміною обмурівки на сучасну при міжсезонних ремонтах. Енергоефективність котлів може бути підвищена до значення коефіцієнта корисної дії 94...95 % з одночасним покращенням екологічних показників. Для цього слід улаштувати додаткові конвективні поверхні нагріву (економайзери або повітронагрівачі),

замінити обмурівку та оснастити котли сучасною системою автоматизації з каскадним пуском пальників. Для реалізації останнього заходу необхідна реконструкція системи газота повітропостачання, а також оснащення частотними регуляторами тягодуттьових машин та насоса рециркуляції.

**Перспективи подальших досліджень.** Для закінчення комплексу дослідницьких робіт необхідно виконати моделювання температурного поля у відсіках топкового об'єму при використанні пальників безполум'яного горіння циліндричної та прямокутної форми для остаточного вибору конструкції пальникового пристрою.

#### Література

1. Степаненко В. Безпека в централізованому теплопостачанні в містах України / В. Степаненко [Електронний ресурс]. <https://energy-security.org.ua/2020/02/bezopasnost-v-czentralyzovannom-teplosnabzhenyyu-v-gorodah-ukrayn%D1%8B/>
2. Гламаздин П. М. Потенциал снижения расхода природного газа в котельных систем централизованного теплоснабжения / П. М. Гламаздин, Д. П. Гламаздин // Энергосбережение. – 2013. – №1(159). – с. 12-16.
3. Фоміч С. В. Міська система централізованого гарячого водопостачання з вакуумною деаерацією: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.03 / Фоміч С. В. ; Харківський національний університет будівництва і архітектури. – Харків, 2018. – 20 с.
4. Родатис К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / К. Ф. Родатис, А. Н. Полтарецкий. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.
5. Долинский А. А. Использование компьютерного моделирования при малозатратной модернизации котла НИИСТу / А. А. Долинский, С. Г. Кобзар, О. В. Назаренко, А. А. Мещеряков // Промышленная теплотехника, 2007. – т. 29. – С. 80-91.

6. Власюк А. В. Высокоэффективная тепловая изоляция отопительных котлов мощностью до 1 МВт / А. В. Власюк, А. Н. Кифорук, В. Я. Скрипко, Г. П. Кучин, П. Ю. Зембицкий, С. А. Бервицкий // *Новости теплоснабжения*, 2004. – №2. – С. 34-38.
7. Миrowski А. Отопительные и технологические котельные. Методические рекомендации / А. Миrowski. – Viessmann, 2002. – 48 с.
8. Чепель В. М. Сжигание газов в топках котлов и печей и обслуживание газового хозяйства предприятия / В. М. Чепель. – Ленинград: Недра, 1965. – С. 447.
9. Сигал И. Я. Газовые водогрейные промышленные отопительные котлы / И. Я. Сигал. – Ленинград: Техніка, 1967. – 146 с.
10. Ильенко Б. К. Разработки института газа Национальной академии наук Украины в области энерго - и ресурсосбережения / Б. К. Ильенко // *Энергосбережение*. – 2007. – №6. – с. 6-8.
11. Голубков Е. П. Использование системного анализа в принятии плановых решений / Е. П. Голубков. – Москва: Экономика, 1982. – 129 с.
12. СНИП 2.04.14-88. Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования. – Чинні від 01.01.1989. – Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с.
13. Гламаздин П.М. Энергоефективна модернізація водогрійних водотрубних котлів / П. М. Гламаздин, Д. П. Гламаздин, О.С. Філіпов // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2012. – Вип. 16. – с. 59-65.
14. EN 676:2020. Automatic Forced Draught Burners for Gaseous Fuels. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/abe92a4c-5fbc-4a9a-a423-d4abba8a7eeb/en-676-2003a2-2008>.
15. Лавренцов Є.М. Досвід розробки, впровадження та модернізації водогрійних котлоагрегатів з двосвітними екранами та щільними подовими пальниками / Є. М. Лавренцов, І. Я. Сигал, А. В. Сміхула, Е. П. Домбровська, О. С. Кернажицька, О. В. Марасін // *Енерготехнології та ресурсосбереження*, 2019. – №3. – с. 17-26.
16. Идельчик И. Е. Аэродинамика промышленных аппаратов / И. Е. Идельчик. – Москва: Энергия, 1964. – 288 с.
17. Котлы малой и средней мощности. Каталог НИИ Информэнергомаш. – 1987. – 208 с.
18. Богун В. А. Управление и планирование топливопотребления на теплоисточниках / В. А. Богун // *Энергетика и электрификация*. 1966. – №1. – с. 42-46.
19. Щукин К. Реконструкция котла ПТВМ-100 с заменой горелок / К. Щукин // *Аква-Терм*, 2009. – №6. – с.20-21.
20. Барабаш В. В. Об опыте реконструкции и модернизации водогрейных котлов / В. В. Барабаш // *Новости теплоснабжения*, 2004. – № 9. – с. 35-37.
21. Жигурс А. Опыт АО «Ригас –Силтумс» в реконструкции водогрейных котлов КВГМ-50 и КВГМ-100 / А. Жигурс, А. Царс, С. Плещачев // *Новости теплоснабжения*. 2009. – №4. – С. 34-39.
22. Щелоков В. М. Модернизация водогрейных водотрубных котлов типа ПТВМ и КВГМ / В. М. Щелоков, В. В. Ладнычев, И. Д. Лисейкин, А. В. Тодорович // *Новости теплоснабжения*, 2004. – № 05 (45). URL: <https://www.rosteplo.ru/nt/45>
23. Сміхула А. В. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельнями великої і середньої потужності / А. В. Сміхула, І. Я. Сігал, В. І. Бондаренко, П. І. Семенюк. – Київ: ФОП Маслакова, 2019. – 108 с.
24. Гламаздин П. М. Экологические аспекты модернизации котлов большой мощности / П. М. Гламаздин, Д. П. Гламаздин, Ю. П. Яромльчик // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2016. – Том 59. – №3. – с. 249-259. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2016-59-3-249-259>
25. Чернокрылок В. В. Досвід застосування пальників Riello при модернізації котлів КВГ 6,5 / В. В. Чернокрылок // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*, 2014. – вип. 6. – с. 354-358.
26. Кудинов А. А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках / А. А. Кудинов. – Ульяновск: Уи-ГТУ, 2000. – 139 с.
27. Тепловой расчет котлов: Нормативный метод. изд. 3-е / ЕЭС, ОАО ВТИ, ОАО НПО ЦКТИ. – Санкт-Петербург, 1998. – 258 с.
28. Семенюк Л.Г. Получение конденсата при глубоком охлаждении продуктов сгорания / Л.Г. Семенюк. // *Промышленная энергетика*. – 1987. – №8. – С. 47-50.
29. PTQ Magazine 2015, HeatMatrix reduces industrial heat loss substantially. URL: <https://www.digitalrefining.com/magazines?limit=63&display=20>
30. Корняков А. Б. Совершенствование конструктивных элементов и проектных решений стеклянных воздухоподогревателей / А. Б. Корняков // *Монтаж оборудования и трубопроводов*, 1982. – №3. – с.18-20.
31. Богуславский Л. Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справочное пособие / Л. Д. Богуславский, В. И. Ливчак, В. П. Титов. – Москва: Стройиздат, 1990. – 624 с.
32. Pender M. Elektronische Ventilatorregulungen auf dem Prüfstand / M. Pender, K.P. Sinen, H. Dornen // *Heizung, Luftung, Haustechnik und Klimatechnik*, 1990. – Bd. 41. – №3. – p. 246-248.
33. Михеев В. П. Подовые и щелевые горелки для природного газа / В. П. Михеев, В. Н. Федоров. – Ленинград: Недра, 1965. – 74 с.
34. Ахмедов Р. Б. Основы регулирования топочных процессов / Р. Б. Ахмедов. – Москва: Энергия, 1977. –

280 с.

35. Янкелевич В. И. Наладка газомазутных промышленных котельных / В. И. Янкелевич. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.
36. SAACKE GmbH, 2020. URL: <https://www.saacke.com/>
37. Александров В. Г. Паровые котлы малой и средней мощности / В. Г. Александров. – Ленинград: Энергия, 1972. – 200 с.
38. Жуков Е. Современные типы горелок / Е. Жуков // АКВА-ТЕРМ. Март-апрель 2012. – с.20-24.
39. Файерштейн Л. М. Справочник по автоматизации котельных / Л. М. Файерштейн, Л. С. Этинген, Г. Г. Гохбойм. – Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.
40. Кемельман Д. Н. Наладка котельных установок. Справочник / Д. Н. Кемельман, Н. Б. Эскин. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.
41. Аргументы Weishaupt.  
URL: <https://www.weishaupt.ru/upload/iblock/d2b/d2b3f6d72c7c18ba878a29750d212476.pdf>
42. Weber H. CO control the better alternative of O<sub>2</sub> control for gas – fired furnaces / H. Weber // Special print off from Gaswärme International. – 2003. – No 7. – p. 448-450.
43. Борзов С. Н. Селективная диагностика процессов горения в многорелочных энергоблоках / С.Н. Борзов, В. В. Гаркуша, В. И. Козин, В. П. Михеев, О. И. Потатуркин, Н. Н. Шушков // Теплофизика и аэромеханика, 2006. – Т. 143. – № 2. – С. 323-329.
44. Крыжановский К. С. Система автоматического регулирования горения в газосжигающих установках по корректирующему параметру / К. С. Крыжановский // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2018. – № 3. – С. 66-71.
45. Виноградов-Салтыков В. А. Обобщение данных по потерям тепла водогрейными котлами в окружающей среде / В. А. Виноградов-Салтыков, В. Г. Федоров, В. П. Марценко // Новости теплоснабжения, 2004. – № 11(51). – с. 29-30.

#### References

1. Stepanenko V., *Bezpeka v tsentralizovanomu teplopostachanni v mistakh Ukrainy*.  
URL: <https://energy-security.org.ua/2020/02/bezopasnost-v-czentralyzovannom-teplosnabzheniy-v-gorodah-ukrayn%D1%8B/>
2. Glamazdin P.M., Glamazdin D.P. “Potensial snizheniya rashoda prirodnogo gaza v kotelnyih sistem tsentralizovannogo teplosnabzheniya.” *Energoberezhnie*. 2013. №1(159). P. 12-16.
3. Fomich S. V. *Miska sistema tsentralizovanoho hariachoho vodopostachannia z vakuumnoiu deaeratsiieiu* Diss. abstract. Kharkiv National University of Construction and Architecture, 2018.
4. Roddatis K.F., Poltaretsky A.N. *Spravochnik po kotelnyim ustanovkam maloy proizvoditelnosti*. Energoatomizdat, 1989.
5. Dolinsky A. A., Kobzar S. G., Nazarenko O. V., Meshcheryakov A. A. “Ispolzovanie kompyuternogo modelirovaniya pri malozatratnoy modernizatsii kotla NIISTu”. *Promyshlennaia teplotehnika*, 2007. T. 29. P. 80-91.
6. Vlasyuk A. V., Kiforuk A. N., Skripko V. Y., Kuchin G. P., Zembitsky P. Y., Bervitsky S. A. “Vysokoeffektivnaia teplovaia izoliatsiia otopitelnykh kotlov moshchnosti do 1 Mvt”. *Novosti teplosnabzheniia*, 2004. No. 2. p. 34-38.
7. Mirowski A. *Otopitelnye i tekhnologicheskie kotelnye. Metodicheskie rekomendatsii Viessmann*, 2002,
8. Chepel V. M. *Szhiganiye gazov v topkakh kotlov i pechi i obsluzhivaniye gazovogo khoziaistva predpriiatiia*. Nedra, 1965,
9. Seagal I.Y. *Gazovoye vodogreinye promyshlennye otopitelnye kotly*. Tekhnika, 1967,
10. Ilyenko B.K., *Razrabotki instituta haza Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy v oblasti enerho- i resursoberezheniia*, №6, 2007, p. 6-8.
11. Golubkov E.P. *Use of system analysis in planning decisions*. - M.: Economics, 1982 - 129p.
12. SNIP 2.04.14-88. *Thermal insulation of pipelines and equipment*.
13. Glamazdin P.M., Glamazdin D.P., Filipov O.S., *Energy efficient modernization of hot water boilers.* / Scientific and technical collection: Ventilation, lighting and heat and gas supply, K.: KNUBA. Issue №16, 2012, p. 59-65.
14. The European Union Standard: EN 676: 2003. *Automatic Forced Draught Burners for Gaseous Fuels* [Electronic resource] / Access mode: <http://es.europa.eu/>.
15. Lavrentsov E.M., Sigal I.Y., Smihula A.V., Dombrovskaya E.P., Kernazhytska O.S., Marasin O.V./ *Experience in the development, implementation and modernization of hot water boilers with two-world screens and slotted hearth burners* / Energy Technologies and Resource Saving, 2019, №3, p. 17-26.
16. Idelchik I.E., *Aerodynamics of industrial devices*. M.-L.: Energy, 1964. – 288 p.
17. *Boilers of small and average power*. Catalog of M.: Research Institute of Informenergomash, 1987. – 208 p.
18. Bogun V.A., *Management and planning of fuel consumption on heat sources*. Energy and electrification. - 1966, №1, p. 42-46.
19. Shchukin K. *Reconstruction of the boiler PTVM-100 with replacement of burners*. Aqua-Term, 2009, №6, p.20
20. Barabash V.V., *About the experience of reconstruction and modernization of hot water boilers.*, Heat supply news, №9,2004, p.35-37.
21. Zhigurs A., *Experience of JSC "Rigas-Siltums" in the reconstruction of hot water boilers KVGM-50 and*

- KVGM-100 / A. Zhigurs, A. Tsars, S. Pleskachev / News of heat supply. 2009. №4. Pp. 34-39.
22. Shchelokov V.M., Ladynichev V.V., Liseykin I.D., *Modernization of hot water boilers such as PTVM and KVGM*, 2009 // [Electronic resource] / <http://pk-imperia.ru/articles/modernizaciya-vodogreinyx-vodotrubnyx>.
23. Smihula A.V., Seagal I.Y., Bondarenko V.I., Semenyuk P.I., *Technologies for reducing harmful emissions into the atmosphere by thermal power plants and boilers of large and medium capacity*. Kyiv: FOP Maslakova, 2019. 108 p.
24. Glamazdin P.M., Glamazdin D.P., Yarmolchik Y.P., *Environmental aspects of modernization of high power boilers*. Energy./ Proceedings of higher educational institutions and energy associations of the CIS. Volume 59, №3 (2016) p. 249-259.
25. Chernokryliuk V.V., *Experience in the use of Riello burners in the modernization of boilers KVG 6.5.*/ Scientific and technical collection "Energy efficiency in construction and architecture", 2014, issue 6, p.354-358.
26. Kudinov A.A., *Energy saving in heat generating installations*. –Ulyanovsk; UiGTU, 2000.-139 p.
27. *Teplovoi raschet kotlov. Normativnyi method*. 1998, 258 p.
28. Semenyuk L.G., *Obtaining condensate by deep cooling of combustion products*.- Industrial Energy, 1987, Volume 3, p. 47-50.
29. PTQ Magazine 2015, "HeatMatrix reduces industrial heat loss substantially!" // [Electronic resource] / [www.heatmatrixgroup.com](http://www.heatmatrixgroup.com)
30. Korniyakov A.B., *Improving the structural elements and design solutions of glass air heaters. Installation of equipment and pipelines*, 1982, №3, p.18-20.
31. Boguslavsky L.D., *Energy saving in heat supply, ventilation and air conditioning systems*: Reference manual.- M.: Stroyizdat, 1990.-624 p.
32. Pender M., Sinen K.P., Dornen H., *Electronic fan controls on the test stand* // Heating, air conditioning, house technology and climate technology, 1990, Bd. 41 №3. - p.246-248.
33. Mikheev V.P., Fedorov V.N., *Floor and slot burners for natural gas*., L.: Nedra, 1965, 74 p.
34. Ahmedov R.B., *Fundamentals of combustion process control*., M.: Energiya, 1977, 280 p.
35. Yankelevich V.I., *Adjustment of gas-oil industrial boiler rooms*. M.: Energoatomizdat, 1988, 216 p.
36. SAACKE GmbH, 2020 // [Electronic resource] / <http://www2.saacke.com/uk/produkts/burner-control-systems/seavis-compakt>.
37. Alexandrov V.G., *Low and medium power steam boilers*./ L.: Energiya, 1972.-200 s.
38. Zhukov E., *Modern types of burners*., AQUA-THERM. March-April 2012, pp.20-24.
39. Feierstein L.M., Ettingen L.S., Gochboim G.G., *Handbook of boiler automation*. M.: Energatomizdat, 1985.-296 p.
40. Kemelman D.N., Eskin N.B., *Adjustment of boiler installations*. Handbook.- M.: Energoatomizdat, 1989.-320 p.
41. Arguments Weishaupt / [Electronic resource] / <http://www.Weishaupt/Kiev/ua>.
42. Harold W., *CO control the better alternative of O<sub>2</sub> control for gas - fired furnaces*./Special print off from Gaswärme International N° 7/ 2003, pages 448-450. Vulkan-Verlag GmbH, Essen.
43. Borzov S.N., Garkusha V.V., Kozin V.I., Mikheev V.P., Potaturkin O.I., Shushkov N.N., *Selective diagnostics of combustion processes in multi-burner power units*./ Thermophysics and Aeromechanics, 2006, Volume 143, № 2. P.323-329.
44. Kryzhanovsky K.S., *System of automatic regulation of combustion in gas-burning installations on the correcting parameter*. Energy technologies and resource saving, 2018, № 3. pp. 66–71.
45. Vinogradov-Saltykov V.A., Fedorov V.G., Martsenko V.P., *Generalization of data on heat losses by hot water boilers to the environment*./ Heat supply news, № 11 (51), 2004, p. 29-30.

УДК 621.182.4/6

## Энергоэффективная модернизация котлов КВГ и ТВГ

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

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев, Украина., [Sib.kiev@gmail.com](mailto:Sib.kiev@gmail.com), ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup>инженер-конструктор Bay Boiler System GmbH., Neckar, ФРГ, [d.glamazdin@bay-boiler.de](mailto:d.glamazdin@bay-boiler.de), ORCID 0000-0002-2851-9352

*Аннотация. В настоящее время системы централизованного теплоснабжения городов Украины находятся в критическом состоянии и нуждаются в значительной модернизации. Это касается и такой важной составляющей систем как отопительные водогрейные котельные. Неудовлетворительное состояние котельных объясняется в первую очередь устареванием основного оборудования, в том числе и водогрейных котлов, которые давно отработали паспортный срок эксплуатации. В них отсутствует современная автоматика, особенно в части регулирования режимов работы. Установленная мощность завышена более реальных тепловых нагрузок. Номенклатура используемых водогрейных котлов не велика. Это котлы малой мощности серий НИИСТ «Универсал», «Энергия», «Факел» и другие, средней мощности серий ТВГ и КВГ и большой мощности серий ПТВМ и КВГМ. По своей распространённости особого внимания требуют котлы серий ТВГ и КВГ, которыми укомплектованы квартальные котельные. Котлы этой серии имеют эффективную конструкцию топчного объёма*

и оптимизированную конструкцию конвективной части. Однако по обмуровке, автоматизации, системам газоснабжения и воздушнонабжения они не отвечают современным требованиям и отстают от достигнутого уровня технических решений. В статье определены основные недостатки конструкции котлов и пути их преодоления. Определены резервы повышения энергоэффективности котлов этих серий. Выявлены возможности улучшения экологических показателей с доведением до уровня современных требований при реализации предложенных технических решений.

*Ключевые слова:* водогрейный котёл, энергоэффективность, модернизация водогрейных котлов, вредные выбросы, экологическая безопасность.

**UDC 621.182.4/6**

## **Energy efficient modernization of KVG and TGV boilers**

P. Glamazdin<sup>1</sup>, D. Glamazdin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ph.D., Associate Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, sib.kiev@gmail.com, ORCID 0000-0003-2611-2687

<sup>2</sup> Design Engineer, Bay Boiler System GmbH., Neckar, Germany, d.glamazdin@bay-boiler.de, ORCID 0000-0002-2851-9352

*Abstract.* At present, the district heating systems of Ukrainian cities are in a critical state. They need significant modernization. This especially applies to very important components of district heating systems – heating water boilers. Unsatisfactory condition of boilers is mainly due to the obsolescence of basic equipment, including boilers. The operating time of them exceeds the passport lifetime. There is a lack of modern automation, especially in terms of controlling operating modes. Nominal power of them exceeds the real heat loads. The range of hot water boilers used is not large. These are low-power boilers of the series NDIST, "Universal", "Energiia", "Fakel" and others, medium-power boilers of the series TVG and KVG and high-power boilers of series PTVM and KVM. According to their prevalence, special attention should be paid to boilers of the series TVG and KVG. The series are installed on quarter boiler houses. The boilers of these series have an efficient design of the furnace volume and an optimized design of the convective part. Nevertheless, in terms of automation, gas supply and air supply systems, they no longer meet today's requirements. They are outdated comparing to the achieved level of technical solutions. The article discusses the main shortcomings of the design of boilers: insufficient durability of the gas collector in the hearth burner, small diameter of the pipes of the convective part and the use of fireclay materials in the setting of the burners. The first two shortcomings were overcome by the developers by the increase in the diameter of the pipes of convective packages and the modernization of MPIG-3 hearth burners. The third shortcoming should be overcome by replacing the setting with a modern one during off-season repairs. Reserves for improving the energy efficiency of boilers of these series are found. To do this, it is necessary to install additional convective heating surfaces (economizers or air-heaters), replace the setting and equip the boilers with a modern automation system with cascading the burners. It allows improving efficiency up to 94...95 % and environmental performance according to the modern requirements.

*Key words:* hot water boiler; energy efficiency, modernization of hot water boilers, harmful emissions, ecological safety.

Надійшла до редакції / Received 18.12.2020