

УДК 532.621

Е. А. Арсирій¹, В. А. Смирнова², Д. О. Паніч²¹ Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченко 1, Одеса, 65044, Україна² Одеська державна академія будівництва та архітектури, ул. Дідрихсона 4, Одеса, 65029, Україна**СНЯТИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ МОЩНОСТИ КОТЛОВ ПУТЕМ КОРРЕКТИРОВКИ АЭРОДИНАМИКИ ЭЛЕМЕНТОВ ДУТЬЕВЫХ ТРАКТОВ**

Котлы типа КВГМ часто используются в системах теплоснабжения городов. Анализ параметров работы этих котлов показал, что большинство котлов КВГМ работают с ограничениями мощности, то есть максимальная тепловая мощность котлов на 15-30% меньше номинальной. В период низких температур системы централизованного теплоснабжения не обеспечивают комфортные условия в квартирах из-за ограничений мощности котлов. Одной из основных причин ограничений мощности котлов является недостаточная производительность вентиляторов или дымососов. Выполнен анализ вариантов повышения производительности вентиляторов путем увеличения скорости вращения рабочего колеса, либо увеличения его диаметра. Эти два варианта повышения производительности вентиляторов основаны на существующих правилах проектирования аэродинамических систем. Анализ полученных результатов показал, что КПД нагнетателей в обоих вариантах сохраняет заданные высокие значения, однако существенно увеличиваются удельные затраты электрической мощности. Для котлов КВГМ-50 разработан и реализован энергосберегающий вариант снятия ограничений тепловой мощности котлов без замены вентиляторов, а только за счет корректировки аэродинамики дутьевых трактов. Увеличение производительности вентиляторов за счет снижения сопротивлений проточных частей вспомогательного оборудования позволяет увеличить тепловую мощность котлов с одновременным снижением затрат электрической мощности на работу вентиляторов.

Ключевые слова: котлы, ограничения мощности, вентиляторы, визуализация потоков, корректировка структуры потоков.

О. О. Арсірій¹, В. О. Смірнова², Д. О. Паніч²¹ Одеський національний політехнічний університет, просп. Шевченко 1, г. Одеса, 65044, Україна² Одеська державна академія будівництва та архітектури, вул. Дідрихсона 4, Одеса, 65029, Україна**ЗНЯТТЯ ОБМЕЖЕНЬ ПОТУЖНОСТІ КОТЛА ШЛЯХОМ КОРИГУВАННЯ АЕРОДИНАМІКИ ЕЛЕМЕНТІВ ДУТЬОВИХ ТРАКТІВ**

Котли типу КВГМ часто використовують в системах теплопостачання міст. Аналіз параметрів роботи цих котлів показав, що більшість котлів КВГМ працюють з обмеженнями потужності, тобто максимальна теплова потужність котлів на 15-30% менше номінальної. У період низьких температур системи централізованого теплопостачання не забезпечують комфортні умови в квартирах через обмеження потужності котлів. Однією з основних причин обмежень потужності котлів є недостатня продуктивність вентиляторів або димососів. Виконано аналіз варіантів підвищення продуктивності вентиляторів шляхом збільшення швидкості обертання робочого колеса, або збільшення його діаметру. Ці два варіанти підвищення продуктивності вентиляторів засновані на існуючих правилах проектування аеродинамічних систем. Аналіз отриманих результатів показав, що ККД нагнітачів в обох варіантах зберігає задані високі значення, проте істотно збільшуються питомі витрати електричної потужності. Для котлів КВГМ-50 розроблено та реалізовано енергозберігаючий варіант зняття обмежень теплової потужності котлів без заміни вентиляторів, а тільки за рахунок коригування аеродинаміки дутьових трактів. Збільшення продуктивності вентиляторів за рахунок зниження опорів проточних частин допоміжного обладнання дозволяє збільшити теплову потужність котлів з одночасним зниженням витрат електричної потужності на роботу вентиляторів.

Ключові слова: котли; обмеження потужності; вентилятори; візуалізація потоків; коректування структури потоків.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.6/2015.56687>

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В 2006 году был разработан и реализован в котельной г. Ильичевск Одесской области энерго-сберегающий вариант снятия ограничений мощности котлов КВГМ-50 по дутью только за счет снижения потерь напора в аэродинамической сети путем корректировки аэродинамики в элементах дутьевого тракта (повороты, входные и выходные участки оборудования, коллекторы, горелки и т.п.). Корректировка аэродинамики потоков выполняется на основе физического моделирования с использованием нового метода визуальной диагностики структуры потоков (МВДСП) [1, 2, 3].

Корректировка аэродинамики с использованием МВДСП показана на примере совершенствования структуры потока во входном патрубке вентилятора ВДН-15. Визуальная диагностика позволяет выявить зоны отрыва потока от стенок (рисунок 1), которые являются причиной высоких аэродинамических сопротивлений.

Для устранения зон отрыва потока от стенок патрубка разрабатываются вставки – лекала, которые замещают диссипативные зоны. Это позволяет

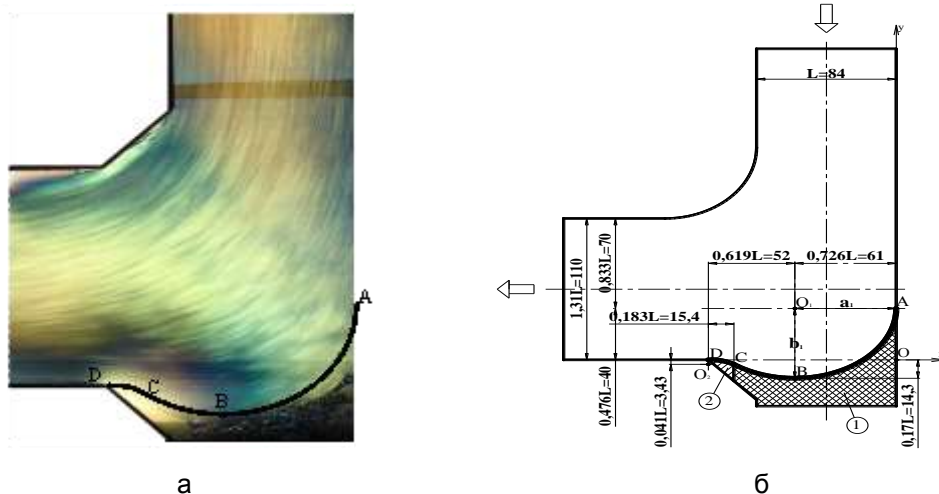


Рисунок 1 – Разработка корректировки аэродинамики входного патрубка.

а – визуальная диагностика структуры потока;

б – разработка геометрии безотрывного течения во входном патрубке вентилятора.

Для устранения зон отрыва потока от стенок патрубка разрабатываются вставки – лекала, которые замещают диссипативные зоны. Это позволяет разработать геометрию проточных частей, при которой течение будет безотрывным, и за счет этого обеспечить меньшее значение сопротивления входного патрубка вентилятора. Монтаж вставок – лекал должен соответствовать реальной геометрии входного патрубка и структуре потока.

Измерения аэродинамических параметров входного патрубка вентилятора показали, что после устранения диссипативных зон, сопротивление поворота потока во входном патрубке при числах Рейнольдса $Re > 10^5$ снизилось с $\zeta = 1,57$ до $\zeta = 0,23$ [4].

разработать геометрию проточных частей, при которой течение будет безотрывным, и за счет этого обеспечить меньшее значение сопротивления входного патрубка вентилятора. Монтаж вставок – лекал должен соответствовать реальной геометрии входного патрубка и структуре потока.

Измерения аэродинамических параметров входного патрубка вентилятора показали, что после устранения диссипативных зон, сопротивление поворота потока во входном патрубке при числах Рейнольдса $Re > 10^5$ снизилось с $\zeta = 1,57$ до $\zeta = 0,23$ [4].

Также была выполнена корректировка аэродинамики в поворотах потока на 90° . Установка вставок, устраняющих диссипативные зоны, позволила снизить сопротивления поворотов потока на 90° более чем в 4 раза. Кроме того, предлагаемый подход к анализу потерь напора в дутьевом тракте показал, что самые большие потери напора создают горелки типа РГМГ. Они были заменены на горелки типа «СНТ», с существенно меньшим сопротивлением [5]. Замена горелок снизила потери напора в дутьевом тракте котла более чем на 50%

Также была выполнена корректировка аэродинамики в поворотах потока на 90° . Установка вставок, устраняющих диссипативные зоны позволила снизить сопротивления поворотов потока на 90° более чем в 4 раза. Кроме того, предлагаемый подход к анализу потерь напора в дутьевом тракте показал, что самые большие потери напора создают горелки типа РГМГ. Они были заменены на горелки типа «СНТ», с существенно меньшим сопротивлением [5]. Замена горелок снизила потери напора в дутьевом тракте котла более чем на 50%.

Реконструкция с целью корректировки аэродинамики дутьевого тракта позволила существенно снизить сопротивления элементов аэродинамической системы. На рисунке 2 в поле характери-

стик вентилятора ВДН-15 с оборотами $n = 980 \text{ мин}^{-1}$ представлены две характеристики сети $R_{\text{сеть А}}$ – до реконструкции и $R_{\text{сеть С}}$ – после реконструкции, которые показывают изменения параметров дутьевого тракта.

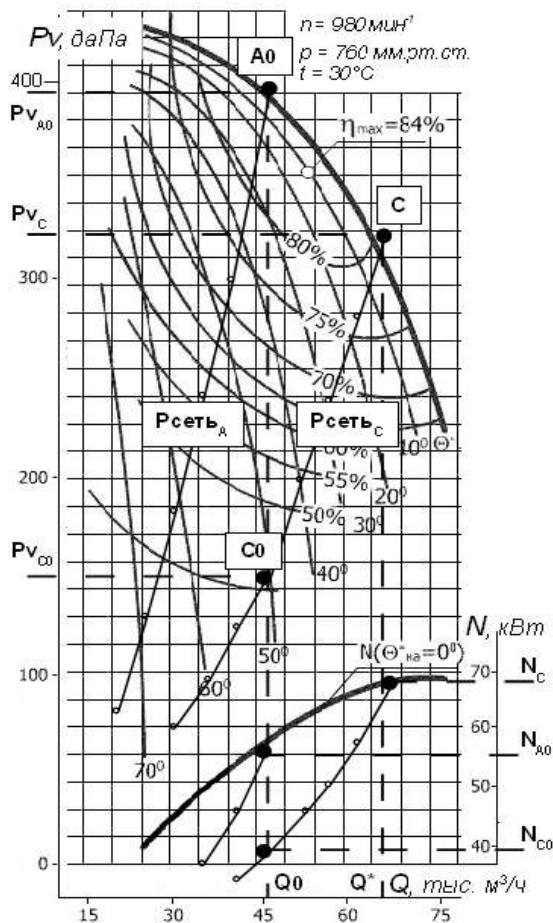


Рисунок 2 – Параметры дутьевого тракта котла КВГМ-50 до и после реконструкции

После корректировки аэродинамики элементов дутьевого тракта котла КВГМ-50 при полностью открытых направляющих аппаратах (при максимально возможной производительности вентилятора) на новой характеристике сети $R_{\text{сеть С}}$ видно, что подача увеличена до требуемой величины $Q^* \approx 65 \text{ тыс. м}^3/\text{час}$.

Положительным результатом снижения сопротивлений в дутьевом тракте является снижение коэффициента удельных затрат на привод вентилятора от $k_{N.A0} = 1,2$ в точке А0 до $k_{N.C} = 1,05$ в точке С. Однако, требует анализа уменьшение КПД вентилятора от $\eta_{\text{вент}A0} = 0,825$ до $\eta_{\text{вент}C} = 0,79$. Важным результатом реконструкции является экономия электроэнергии на привод вентилятора во всем диапазоне изменения нагрузки котла. Так, например, при уменьшении тепловой мощности котла до $N_T = 40 \text{ МВт}$ и снижении подачи вентилятора до $Q_{C0} = 45 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$, затраты энергии на привод составят $N_{C0} = 39 \text{ кВт}$. То есть, экономия затрат энергии на дутье после реконструкции при нагрузке котла 40 МВт составит $\Delta N = N_{A0} - N_{C0} = 55 - 39 = 16 \text{ кВт}$, а коэффициент удельных затрат на подачу в точке С0 уменьшится до величины $k_{N.C0} = 0,87$.

Анализ изменения параметров дутьевого тракта котла КВГМ-50 с вентилятором ВДН-15 при разных вариантах увеличения подачи воздуха в котел показаны в таблице 2. Рабочая точка А0 соответствует параметрам до реконструкции. Рабочая точка В2 – соответствует второму варианту увеличения подачи за счет замены электродвигателя и увеличения оборотов вентилятора ВДН-15 до $n_2 = 1480 \text{ мин}^{-1}$. Рабочие точки С0 и С характеризуют параметры вентилятора и дутьевого тракта после корректировки аэродинамики дутьевого тракта и новой суммарной сниженной величине сопротивления тракта R при нагрузке котла 40 МВт и 58 МВт соответственно.

Таблица 1 – Изменение параметров дутьевого тракта котла КВГМ-50 при разных вариантах увеличения подачи вентилятора ВДН-15

| Наименование | Обозн. | Размер | До реконстр. | Увеличение оборотов | Корректировка аэродинамики | |
|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------------|---------------------|----------------------------|---------|
| | | | Точка А0 | Точка В2 | Точка С0 | Точка С |
| Максимальная мощность котла | N_T | МВт | 40 | 58 | 40 | 58 |
| | Q_T | Гкал | 34,5 | 50 | 34,5 | 50 |
| Подача вентилятора | Q | $10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$ | 45 | 65 | 45 | 65 |
| Число оборотов | N | мин^{-1} | 980 | 1480 | 980 | 980 |
| КПД вентилятора | | % | 0,825 | 0,825 | 0,47 | 0,79 |
| Затраты вентилятора | | кВт | 55 | 180 | 39 | 68 |
| Удельные затраты | | $\text{Вт}/\text{м}^3$ | 1,2 | 2,77 | 0,87 | 1.05 |

Результаты испытаний параметров работы котлов №3 и №4 в котельной г. Ильичевск до и после реконструкции зафиксированы в режимных картах котлов. Результаты реконструкции незна-

чительно отличаются от представленных выше, так как в котельной установлены дутьевые вентиляторы ВД-15,5 с загнутыми вперед лопатками.

Это обусловлено тем, что раньше чаще устанавливали вентиляторы с загнутыми вперед лопатками, нежели с загнутыми назад. Основные параметры работы котельных установок до и по-

сле реконструкции на основе данных режимных карт приведены соответственно в таблице 2 (до реконструкции) и таблице 3 (после реконструкции).

Таблица 2 – Параметры КВГМ-50 до реконструкции дутьевого тракта

| Название параметра | Обозначения и размерность | Параметры | | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | | | | |
| Тепловая мощность Котла | N_m , МВт | 25,5 | 29 | 35 | 37 |
| | Q_T , Гкал | 22 | 25 | 30 | 32 |
| | % | 44 | 50 | 60 | 64 |
| Расход газа | $Q_{г,}$ м ³ /ч | 29800 | 3400 | 4000 | 4300 |
| Подача вентилятора | $Q_{в,}$ м ³ /ч | 29800 | 34000 | 40000 | 43000 |
| Затраты на дутье | N , кВт | 34 | 43 | 54 | 65 |

Таблица 3 – Параметры КВГМ-50 после реконструкции дутьевого тракта

| Название параметра | Обозначения и размерность | Параметры | | | |
|-------------------------|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|
| | | | | | |
| Тепловая мощность котла | N_m , МВт | 21 | 25,5 | 37 | 50 |
| | Q_T , Гкал | 18 | 22 | 32 | 43 |
| | % | 36 | 44 | 64 | 86 |
| Расход газа | $Q_{г,}$ м ³ /ч | 2680 | 2880 | 4250 | 5750 |
| Подача вентилятора | $Q_{в,}$ м ³ /ч | 26800 | 28800 | 42500 | 57500 |
| Затраты на дутье | N , кВт | 28 | 30 | 42 | 83 |

Главным результатом реконструкции дутьевых трактов и снижения потерь напора в дутьевых трактах двух котлов КВГМ-50 в г. Ильичевск явилось увеличение тепловой мощности на котле №3 с 36,2 до 51,93 МВт и на котле №4 с 37,8 до 48,28 МВт при соответствующем увеличении расхода газа.

После выполнения реконструкции дутьевого тракта корректировка и оптимизация аэродинамических процессов обеспечила увеличение диапазона регулирования тепловой нагрузки котлов. Максимальная мощность котлов увеличена от 37 МВт до 50 МВт, а минимальная мощность котлов уменьшена от 25,5 МВт до 21 МВт. Результаты экономии энергии на дутье при сопоставимой тепловой мощности котлов $N_m = 37$ МВт до и после реконструкции составили $\Delta N = 65 - 42 = 23$ кВт.

Однако, увеличение подачи воздуха в котел после реконструкции более чем на 40% все-таки не позволило обеспечить номинальную мощность котлов из-за больших сопротивлений тяговых трактов котлов. Максимальная нагрузка котлов (средняя по режимным картам котлов №3 и №4) составила 50 МВт или 86% от номинальной мощности 58 МВт. После реконструкции дутьевого тракта и снятия ограничения мощности котлов по дутью в обосновании причины ограничения мощности котлов на 14% зафиксирована недостаточная производительность дымососа ДН-21. То есть сегодня причиной невозможности обеспечить номинальную тепловую нагрузку котлов в период низких температур является ограничение мощности котлов №3 и №4 по тяге. В этот период требу-

ется включение дополнительных котлов, что приводит к снижению экономичности системы теплоснабжения.

ВЫВОДЫ

Мировой опыт свидетельствует, что реконструкция энергоустановок с целью улучшения параметров работы и продления срока их эксплуатации существенно дешевле строительства новых объектов. Реконструкция котлов с целью снижения потерь напора в тягодутьевых трактах котлов позволяют изменить отношение к проблеме ограничений мощности работающих котлов. То есть большая часть котлов КВГМ, находящихся в эксплуатации, имеют существенный резерв увеличения их нагрузки. Причем реконструкция, обеспечивающая снижение сопротивлений проточных частей выгодна тем, что существенно дешевле строительства новых объектов, а также позволяет увеличить производительность тягодутьевых механизмов с одновременным снижением удельных затрат энергии на тягу и дутье при всех значениях тепловой мощности котлов [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same // Maisotsenko V. S., Arsiri V. A. ¾ Publ. 22.09.1998.
2. Мазуренко А. С., Арсирій В. А. Повышение эффективности турбинных установок за счет со-

вершенствования проточных частей патрубков // Весник НТУ «ХПИ», 2005, Вып. 6. С. 39–43.

3. **Арсирій В. А., Бычков Ю. М.** Поляризаціонно – оптичний метод візуалізації потоків в затопленому просторі // Сибірський фізико-технічний журнал. – 1992.– Вып. 2.– С. 64–69

4. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / Под ред. М.О. Штейнберга.– 3-е изд.– М.: Машиностроение, 1992. – 672 с., ил.

5. **Абдулин М. З.** Струйно-нишевая технология

сжигания топлива на объектах энергетики. // Абдулин М.З., Дубовик В.С. / «Новости теплоснабжения», М., 2004. № 11, С. 19–22.

6. **Арсирій В. А.** Совершенствование оборудования тепловых и ядерных энергоустановок на основе диагностики потоков. Диссертация доктора технических наук, Одесса 2004 г. www.disslib.org/sovershenstvovanye-oborudovanyja-teplovykh-y-jadernykh.html

Отримана в редакції 09.07.2015, прийнята до друку 03.11.2015

*E. Arsiriy*¹, *V. Smyrnona*², *D. Panich*²

¹ Odessa National Polytechnic University, 1 Shevchenko av., Odessa, 65044, Ukraine

² Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, 4 Dydryhsona str., Odessa, 65029, Ukraine

BOILER OUTPUT RESTRICTIONS REMOVAL BY ADJUSTING THE AERODYNAMICS OF BLOWING TRACT ELEMENTS

Boilers KVGМ type often used in heating systems of cities. Analysis of the operating parameters of the boiler showed that most KVGМ operate with limited power, that is, the maximum boiler output by 15-30% lower than the nominal. During low-temperature district heating systems do not provide a comfortable environment in apartments because of the limitations of power boilers. One of the main reasons for the limitations of power boilers is insufficient capacity fans or smoke exhausts. The analysis of options to improve performance by increasing the fan speed of rotation of the impeller, or increase its diameter. These two options increase the performance of the fans based on the existing rules of design wind systems. Analysis of the results showed that the efficiency of the compressors in both cases keeps the predetermined high value, but significantly increases the unit cost of electric power. For KVGМ-50 boilers developed and implemented energy-saving version of the lifting of restrictions boiler output without replacing the fan, but only by adjusting the aerodynamics flow paths. Increased productivity by reducing the fan flow resistances pieces of auxiliary equipment can increase the boiler output while reducing the cost of electric power to the fans.

Keywords: Boilers; Power Limitation; Fans; Flow visualization; Flow structure design.

REFERENCES

1. Пат. PST 5.812.423 USA Method of determining for working media motion and designing flow structures for same. Maisotsenko V. S., Arsiri V. A. ¾ Publ. 22.09.1998.
2. **Mazurenko, A.S., Arsiriy, V.A. 2005.** Improving the efficiency of the turbine plant by improving the flow parts of pipes. *Bulletin of the NTU "KPI"*, iss. 6, 39-43.
3. **Arsiri, V.A. Bychkov, Yu. 1992.** Polarization-Optical imaging method streams in a flooded area. *Siberian Physico-Technical Journal*, iss.2, 64-69.
4. **Idelchik, I.E. 1992.** Handbook of hydraulic resistance. Ed. M.O. Shteynberg, third edition. M.: Engineering, 672 p.
5. **Abdulin, M.Z., Dubovik, V.S. 2004.** Jet niche technology of fuel combustion at power plants. *News of heat supply*, No. 11, 19-22.
6. **Arsiri V. A. 2004.** Improvement of equipment for thermal and nuclear power plants on the basis of flows diagnostic. Dissertation of Doctor of Technical Sciences, Odessa 2004. Accessed: www.disslib.org/sovershenstvovanye-oborudovanyja-teplovykh-y-jadernykh.html

Received 09 July 2015

Approved 03 November 2015

Available in Internet 25.12.2015