

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ВОДОПЕРЕПУСКНЫХ ПАТРУБКОВ-СОПЕЛ ЭКРАННЫХ ТРУБ КОТЛОВ ИКЗ

МОШКАРИН А.В., д-р техн. наук, ШЕЛЫГИН Б.Л., канд. техн. наук, ЗАЙЧИКОВ В.Н., инж.

Объясняется необходимость изменения геометрических характеристик патрубков-сопел водотрубных котлов ИКЗ для обеспечения спиралеобразного характера потока по всей длине экранных труб. Представлены особенности получения зависимости длины спиралеобразного участка потока от расхода воды через котел и ширины патрубков-сопел. Даны рекомендации по выбору размеров патрубков-сопел для конкретных модификаций котлов.

Ключевые слова: водотрубные котлы, вихревое движение потока, теплопроизводительность котла.

CHOOSING OPTIMUM SIZES OF WATER CIRCULATOR NIPPLES OF BOILERS WATER-WALL TUBES

A.V. MOSHKARIN, Ph.D., B.L. SHELYGIN, Ph.D., V.N. ZAJCHIKOV, engineer

This paper is devoted to the explanation of the necessity of changing geometric characteristics of water-tube boilers nipples of IBP production in order to supply flow spiral motion along the whole length of water-wall tubes. The authors present the peculiarities of getting spiral flow length dependence from supply rate water through the boiler and nipples width. The paper includes some recommendations on choosing nipple sizes for boilers particular modifications.

Key words: water-tube boilers, flow vortex motion, boiler heating efficiency.

Ижевский котельный завод (ИКЗ) специализируется на производстве водогрейных котлов водотрубного типа теплопроизводительностью 0,63÷2,03 МВт (0,54÷1,75 Гкал/ч). Все модификации котлов собираются из унифицированных секций экранов [1]. В зависимости от мощности энергоустановок каждый экран выполняется из определенного числа труб различной длины с диаметром 159 x 4,5 мм, размещенных с шагом 200 мм.

В пределах каждого экрана вода движется последовательно от трубы к трубе при спиралеобразном характере потока [2], что интенсифицирует теплообмен и исключает накипеобразование в случаях низкокачественной рабочей среды. Предлагается возможным нагревать воду с общей жесткостью до 12 мг-экв/кг без ее предварительной химической подготовки. Спиралеобразное вращение потока воды создается за счет установки в концах каждой трубы тангенциально присоединенных патрубков-сопел (рис. 1).

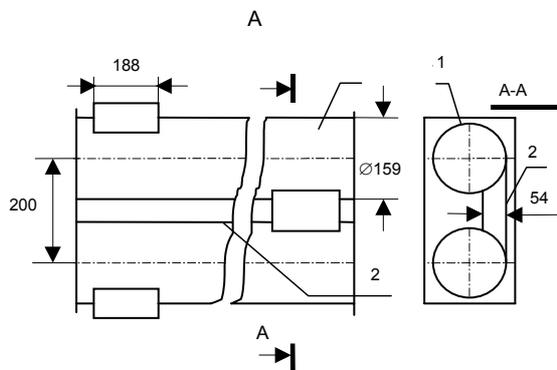


Рис. 1. Фрагмент экрана водогрейного котла ИКЗ: 1 – труба; 2 – патрубок-сопел

Для всех модификаций котлов, независимо от тепловой мощности (0,63–2,03 МВт), используются одинаковые водопропускные патрубки-сопла с постоянными поперечными размерами (54×188 мм).

При нагреве воды от 70 до 95 °С номинальный расход воды через котел (через трубу с внутренним поперечным сечением 0,0177 м²) зависит от проектной теплопроизводительности конкретной модификации котла (рис. 2).

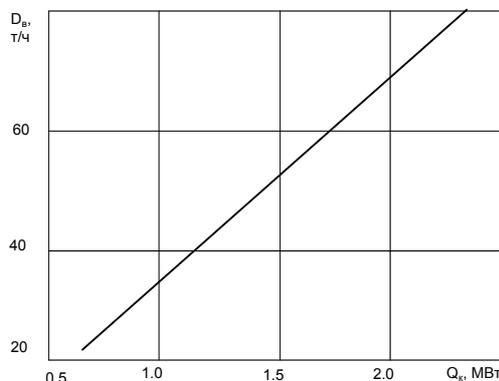


Рис. 2. Изменение расхода воды через котел в зависимости от теплопроизводительности энергоустановки

Скорость воды в отдельных участках экранной трубы определяется по формуле, м/с,

$$W_B = \frac{D_B}{3600 \cdot f \cdot \rho_B} = 0,29 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{D_B}{f},$$

где D_B – расход воды через котёл (через одну трубу), т/ч; f – площадь поперечного сечения участка, м²; $\rho_B = 960 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды при температурах 80–95°C и давлении 0,3–0,8 МПа [3].

Значения скоростей потока в отдельных элементах при площадях поперечного сечения патрубка-сопла 0,01 м² и трубы 0,0177 м² представлены в таблице.

Значения скоростей воды в отдельных участках экранной трубы

Наименование характеристик	Номинальный расход воды через трубу D_B , т/ч						
	21,7	32	40	50	60	70	80
Скорость воды в патрубке – сопле $W_{пат}$, м/с	0,64	0,93	1,16	1,45	1,74	2,04	2,3
Условная скорость воды в середине трубы $W_{ср}$, м/с	0,5	0,73	0,91	1,14	1,36	1,59	1,8
Скорость воды, приведенная к поперечному сечению трубы (в конце трубы), $W_{вых}$, м/с	0,36	0,53	0,66	0,83	0,98	1,15	1,3

С увеличением теплопроизводительности котла и расхода воды значения скоростей потока во всех участках трубы возрастают (рис. 3).

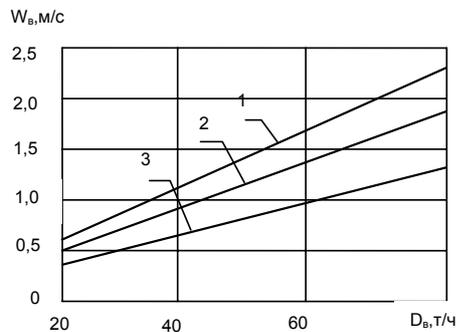


Рис. 3. Зависимости значений скорости потока от расхода воды через экранную трубу: 1 – скорость в водопропускном патрубке; 2 – условная скорость внутри вихревого потока (в середине трубы); 3 – приведенная скорость в поперечном сечении трубы

С увеличением мощности котла от 0,63 до 2,32 МВт и при изменении расхода воды в пределах 21,7–80 т/ч скорость воды $W_{вых}$, приведенная к поперечному сечению трубы, возрастает от 0,36 до 1,3 м/с. При этом рекомендуемые для водотрубных котлов значения скорости воды выше 1 м/с [4] в котлах ИКЗ обеспечиваются лишь для модификации с номинальной мощностью выше 1,74 МВт. Скорость воды внутри патрубков-сопел составляет 0,64–2,3 м/с. Для расходов воды 21,7–40 т/ч минимальные значения скоростей воды в поперечном сечении трубы находятся в пределах 0,36–0,66 м/с. В этих случаях при скоростях в патрубках $W_{пат} = 0,64–1,16$ м/с трудно ожидать интенсивное вихревое движение воды с обеспечением спиралеобразного характера потока по всей длине трубы до выходного патрубка.

При пониженных единичных нагрузках котлов (менее 1,44 МВт) и низких значениях скоростей воды $W_{пат}$ необходимый спиралеобразный характер потока возможен лишь в начале трубы. Для обеспечения интенсивного вихревого движения потока по всей длине трубы необходимо создание высоких скоростей воды в патрубках-соплах в соответствии с мощностью котла и длиной труб в экранных секциях.

Определим оптимальные размеры водоперепускных патрубков-сопел экранных труб ИКЗ, обеспечивающие интенсивный спиралеобразный характер потока по всей длине трубы независимо от номинальной мощности котла.

Решение поставленной задачи проводилось с использованием модели спиралеобразного потока внутри отдельной экранной трубы, снабженной двумя (входным и выходным) патрубками-соплами (рис. 4).

В основу расчетного исследования положено уравнение расхода динамического напора потока, поступающего в патрубок-сопло, на преодоление сопротивления трения потока о стенки трубы в условиях спиралеобразного движения среды, Па,

$$\frac{W_{вх}^2}{2} \rho_B - \frac{W_{вых}^2}{2} \rho_B = \lambda_0 \frac{W_{ср}^2}{2} \rho_B l_{спир} \quad (1)$$

где $W_{вх}$ – скорость воды на входе в трубу (внутри патрубка), м/с; $W_{ср}$ – средняя скорость потока внутри витка, м/с; $W_{вых}$ – скорость воды в последнем витке потока при условии равенства поперечного сечения внутри витка и поперечного сечения трубы (условие завершения спиралеобразного характера потока), м/с; ρ_B – плотность воды, кг/м³; λ_0 – приведенный коэффициент трения, 1/м; $l_{спир}$ – длина спиралеобразного потока внутри трубы до прекращаения вихревого движения воды, м.

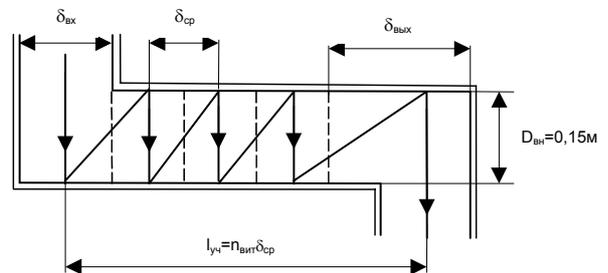


Рис. 4. Модель спиралеобразного потока воды внутри экранной трубы

При внутреннем диаметре трубы $d_{вн} = 0,15$ м, принимая толщину одного витка потока $0,5 \cdot d_{вн} = 0,075$ м, уравнение (1) примет вид

$$\frac{1 - 17,9 \delta_{вх}^2}{\delta_{вх}^2} = \frac{\lambda_0}{\delta_{ср}^2} l_{спир} \quad (2)$$

где $\delta_{вх}$, $\delta_{ср}$ – ширина входного патрубка-сопла и средняя ширина витка, соответственно, м;

$$l_{спир} = n_{вит} \cdot l_{вит},$$

где $l_{вит} = (\delta_{ср}^2 + 0,221)^{0,5}$ – средняя длина одного витка потока при наружном диаметре витка 0,15 м.

Принимая минимальную скорость потока воды 1,1 м/с [4], максимальное значение средней ширины витка равно, м,

$$\delta_{ср} = 3,54 \cdot 10^{-3} D_B,$$

где D_B – расход воды через трубу, т/ч.

В результате преобразований уравнение (2) принимает вид

$$\frac{1 - 17,9 \delta_{вх}^2}{\delta_{вх}^2} = \lambda_0 \frac{(12,53 \cdot 10^{-6} D_B^2 + 0,221)^{0,5}}{12,53 \cdot 10^{-6} D_B^2} n_{вит}$$

Число витков по длине участка $l_{уч}$ до прекращаения турбулизации потока может быть оценено уравнением

$$n_{вит} = 2 \cdot l_{уч} / (\delta_{вх} + 0,236),$$

где 0,236 – ширина вихря в конце участка, где поперечное сечение витка равно поперечному сечению трубы, м.

В результате преобразований, принимая приведенный коэффициент трения для трубы с диаметром $d_{вн} = 0,12–0,18$ м равным $\lambda_0 = 0,09$

[5, 6], длина участка трубы до прекращения вихревого движения потока определяется выражением, м:

$$l_{уч} = k_{пат} \frac{0,139 \cdot 10^{-3} D_B^2}{(12,53 \cdot 10^{-6} D_B^2 + 0,221)^{0,5}} \quad (4)$$

Коэффициент, характеризующий влияние размера входного патрубка на длину участка стабилизации потока, равен

$$k_{пат} = \frac{(0,5 - 8,69 \delta_{вх}^2)(\delta_{вх} + 0,236)}{\delta_{вх}^2}$$

При уменьшении ширины входного патрубка сопла $\delta_{вх}$ от 0,2 до 0,1 м коэффициент $k_{пат}$ возрастает почти в 9 раз (рис. 5) согласно зависимости

$$k_{пат} = 13,8 - 44,4(\delta_{вх} - 0,1)^{0,55}$$

Поэтому даже незначительное снижение ширины патрубка-сопла существенно повышает интенсивность вихревого движения потока внутри трубы и заметно повышает длину участка до момента стабилизации потока. Для модификации котлов с низкой теплопроизводительностью (0,63–1,16 МВт) при пониженных расходах воды (21,7–40 т/ч) за счет снижения заводского значения $\delta_{вх} = 0,188$ м до 0,1–0,15 м можно увеличить длину участка с вихревым движением потока в 2–5 раз.

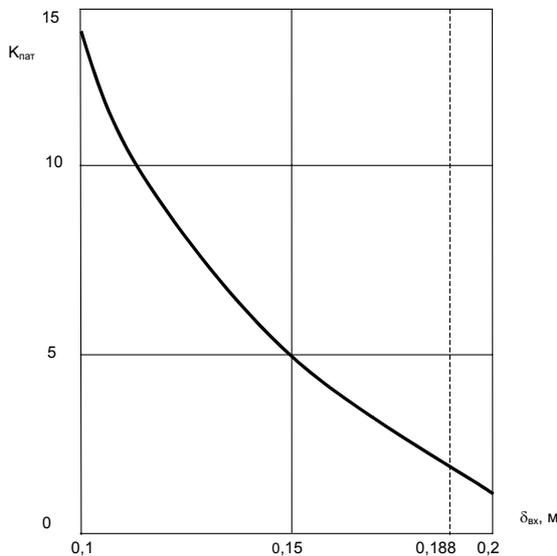


Рис. 5. График влияния ширины патрубка-сопла на кратность изменения длины участка стабилизации потока

Значение длины участка стабилизации потока в зависимости от расхода воды через трубу D_B (через котел) и ширины патрубка-сопла $\delta_{вх}$ (рис. 6) может быть определено по формуле, м,

$$l_{уч} = A + B (D_B - 21,7)^2$$

Коэффициенты, зависящие от ширины патрубка-сопла, рассчитываются по следующим формулам:

$$A = 1,95 - 5,53(\delta_{вх} - 0,1)^{0,5};$$

$$B = 0,0075 - 0,0215(\delta_{вх} - 0,1)^{0,5}$$

Согласно [7], для газовых котлов с многопоточной схемой движения теплоносителя и высокой единичной мощностью установки (2,03–2,32 МВт) при расходах воды 70–80 т/ч максимальная длина труб для изготовления экранов составляет 2,6–2,8 м. При этом для эффективного вихревого движения воды в пределах всей трубы допустимо заводское значение ширины патрубка-сопла (0,188 м).

Для котлов с пониженной номинальной мощностью значения $\delta_{вх}$ должны быть меньше.

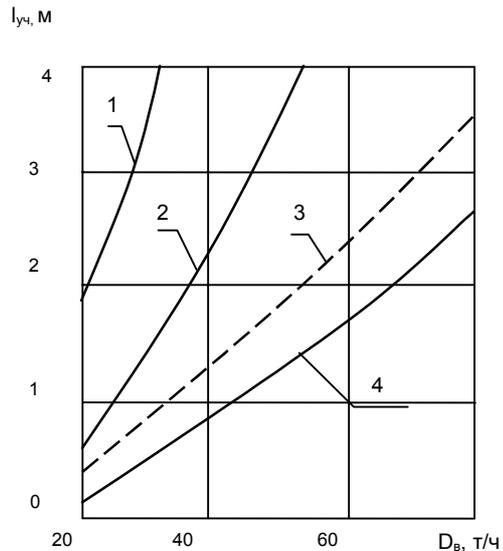


Рис. 6. Зависимости изменения длины участка стабилизации потока от расхода воды через трубу (через котел) и ширины патрубка-сопла: 1 – 0,1 м; 2 – 0,15 м; 3 – 0,188 м; 4 – 0,2 м

Так, для котла теплопроизводительностью 0,63 МВт даже при использовании более коротких труб (менее 2 м) в целях обеспечения спиралеобразного характера потока по всей длине трубы ширина патрубка-сопла должна приниматься равной 0,1 м.

Полученные уравнения и графический материал позволяют относительно легко и быстро в зависимости от номинальной мощности котлоагрегата и расхода воды через него определить оптимальные значения длины участка стабилизации потока и ширины патрубка-сопла для обеспечения эффективности спиралеобразного характера потока по всей длине трубы в целях предотвращения накипеобразования.

Список литературы

1. **Зайчиков В.Н.** Совершенствование конструкций водогрейных котлов Ижевского котельного завода / Повышение эффективности теплоэнергетического оборудования: Мат-лы IV Рос. науч.-практ. конф. 18–19 нояб. 2005 г.; Под ред. А.В. Мошкарин / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005. – С. 89–93.
2. **Рогачев Р.И.** Способ очистки внутренней поверхности трубных полостей. Патент РФ на изобретение № 2228805. Бюлл. №14, 2004 г.
3. **Тепловой** расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова, В.В. Митора, И.Е. Дубовского, Э.С. Карасиной. – М.: Энергия, 1973.
4. **Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньт Э.Я.** Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергия, 1974.
5. **Гидравлический** расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. В.А. Локшина, Д.Ф. Петерсона, А.Л. Шварца. – М.: Энергия, 1978.
6. **Бузников Е.Ф., Сидоров В.Н.** Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных. – М.: Энергия, 1965.
7. **Мошкарин А.В., Шельгин Б.Л., Зайчиков В.Н.** Методика расчета газовых котлов ИКЗ с многопоточной схемой движения теплоносителя // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 4. – С. 14–19.

Мошкарин Андрей Васильевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Шельгин Борис Леонидович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru

Зайчиков Виктор Николаевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
инженер кафедры тепловых электрических станций,
телефон (4932) 41-60-56,
e-mail: admin@tes.ispu.ru