

С. А. МИНКИНА
М. И. УРЯДОВ

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГАЗОХОДОВ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ С МОНТАЖОМ ДЫМОСОСОВ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

RECONSTRUCTION OF GAS DUCTS OF WATER BOILERS
WITH INSTALLATION OF FLUE GAS PUMPS

Исследование посвящено решению задачи нехватки тяги существующей дымовой трубы при работе водогрейных котлов на полную мощность. Выполнены тепловой и аэродинамический расчеты. Тепловой расчет выполнен при разной нагрузке водогрейных котлов и количестве работающих горелок. Рассмотрены варианты работы котлов по режимной карте и протоколам испытаний. В аэродинамическом расчете по участкам определено сопротивление газоходов, выполнен расчет дымовой трубы. Для отвода продуктов сгорания от водогрейных котлов установлен дымосос. Это обеспечит параллельную работу двух водогрейных котлов во всем диапазоне нагрузок.

Ключевые слова: водогрейные котлы, горелки, топливо, тепловой расчет, продукты сгорания, потери тепла, уходящие газы, аэродинамический расчет, газоходы, дымосос

Введение

В данный момент в России реализуется социально значимый проект «Профстажировки 2.0», целью которого является взаимодействие студентов образовательных организаций и работодателей. Платформа создана при содействии АНО «Россия – страна возможностей» и Общероссийского народного фронта и направлена на осуществление практико-ориентированного подхода в обучении, с возможностью дальнейшего трудоустройства и сотрудничества. В рамках студенческого конкурса нами была решена практическая проектная задача, поставленная индустриальным партнером проекта – филиалом ПАО «Квадра» – «Орловская генерация» [1].

Исследование посвящено решению задачи нехватки тяги существующей дымовой трубы при работе водогрейных котлов на полную мощность.

Общие сведения об объекте

В настоящее время на Орловской ТЭЦ имеется водогрейная котельная (ВК). В качестве теплогенерирующих установок в котельной приняты два котла ПТВМ-100 (ВК № 1, ВК № 2).

The work is devoted to solving the problem of the lack of draft of the existing chimney when operating hot water boilers at full capacity. Thermal and aerodynamic calculations were performed. Thermal calculation was carried out with different loading of hot water boilers and the number of operating burners. The options for the operation of boilers according to the regime map and test protocols are considered. In the aerodynamic calculation for the sections, the resistance of the gas ducts was determined, the chimney was calculated. A flue gas pump is installed to remove combustion products from hot water boilers. This will ensure the parallel operation of two hot water boilers over the entire load range.

Keywords: hot water boilers, burners, fuel, thermal calculation, combustion products, heat losses, flues, aerodynamic calculation, gas ducts, flue gas pumps

Удаление и рассеивание дымовых газов от этих двух котлов, а также от трех энергетических котлов ТГМЕ-454 происходит за счет работы дымовой трубы № 2 (рис. 1, 2).

В результате работы котлоагрегатов естественной тяги для удаления продуктов сгорания становится недостаточно, топки водогрейных котлов оказываются под давлением. Следовательно, котельная не может работать на полную мощность.

Для решения данной проблемы необходимо установить тягодутьевое устройство – дымосос. Предполагаемое место установки показано на рис. 3. При этом необходимо максимально использовать существующую инфраструктуру, а именно трассы газоходов (рис. 4).

Непосредственно целью работы является расчет производительности и расчетного давления дымососа для обеспечения параллельной работы двух котлов ПТВМ-100 во всем диапазоне нагрузок в соответствии с температурным графиком и с учетом существующих сечений газоходов. На основании расчетов необходимо было подобрать дымосос и электродвигатель, предложить меро-

приятия для обеспечения работы дымососа при неполной загрузке.

Тепловой расчет котельных агрегатов

Для того чтобы рассчитать производительность дымососа, необходимо провести тепловой расчет котельных агрегатов. Специалисты компании «Квадра» предоставили нам режимные карты работы котлов, протоколы экспресс-испытаний на водогрейные котлы ВК №1 и ВК №2. Расчет был произведен согласно методикам и рекомендациям, отраженным в [2, 3].

На основании теплорасчетов были вычислены объемы уходящих газов от котла по режимной карте работы котлов (рис. 5), а также по протоколам испытаний. Численные значения объемов уходящих газов при различной загрузке котлов и разном числе газогорелочных устройств представлены в виде столбчатых диаграмм (СП 89.13330.2016. Котельные установки; СП 346.1325800.2017. Системы газоздушных

трактов котельных установок мощностью до 150 МВт. Правила проектирования).

Проанализировав результаты, представленные на рис. 5, отметим наличие отклонений в значениях объемов уходящих газов, рассчитанных по режимной карте. Предполагаем, что КПД котлоагрегата, приведенные в режимной карте, завышен. Не были учтены потери тепла от химического недожога и потери тепла в окружающую среду. Без их учета расчетные значения КПД практически совпадают с заявленными в режимной карте (при загрузке 20–40 Гкал/ч невязка не превышает 0,14 %, при 60–100 – не более 2,75 %).

Анализ данных, полученных при расчетах по протоколам экспресс-испытаний, показал следующее:

1. При параллельной работе котлов наблюдается отклонение от нормативных значений разрежения в топке, топка оказывается под давлением.

2. Отклонение от нормативных нагрузок, представленных в режимной карте; невозмож-



Рис. 1. Фрагмент плана Орловской ТЭЦ



Рис. 2. Фрагмент карты со спутника



Рис. 3. Площадка для установки дымососа



Рис. 4. Трасса газоходов

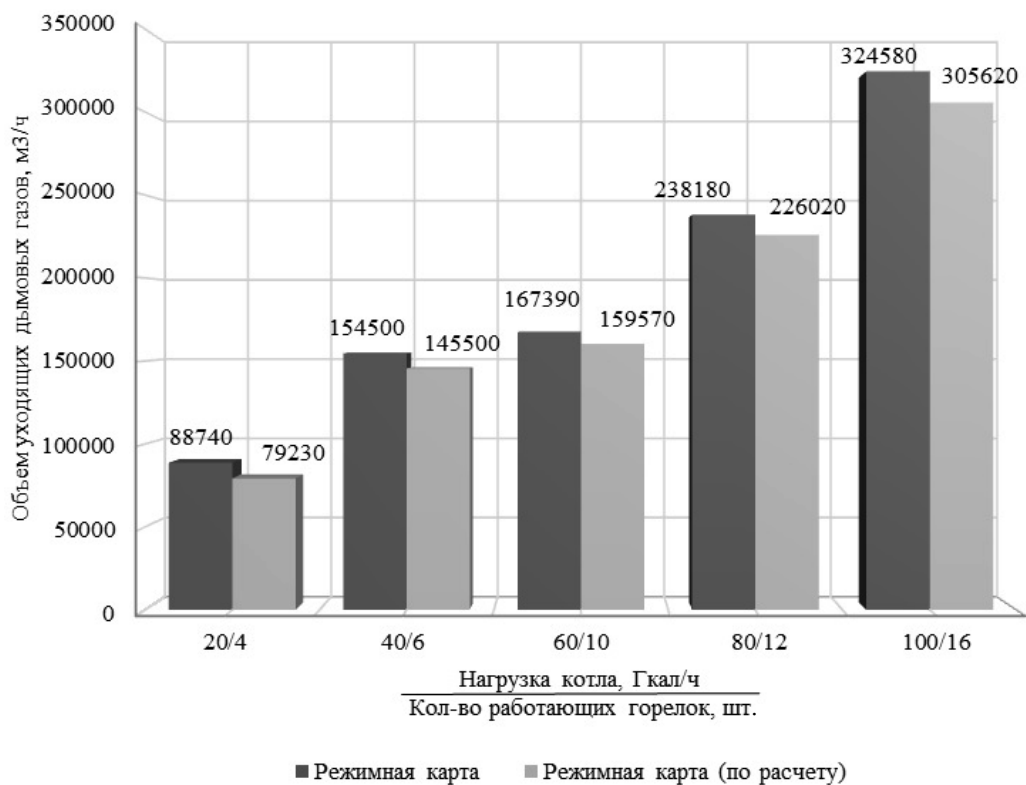


Рис. 5. Результаты расчета объемов уходящих газов по режимной карте

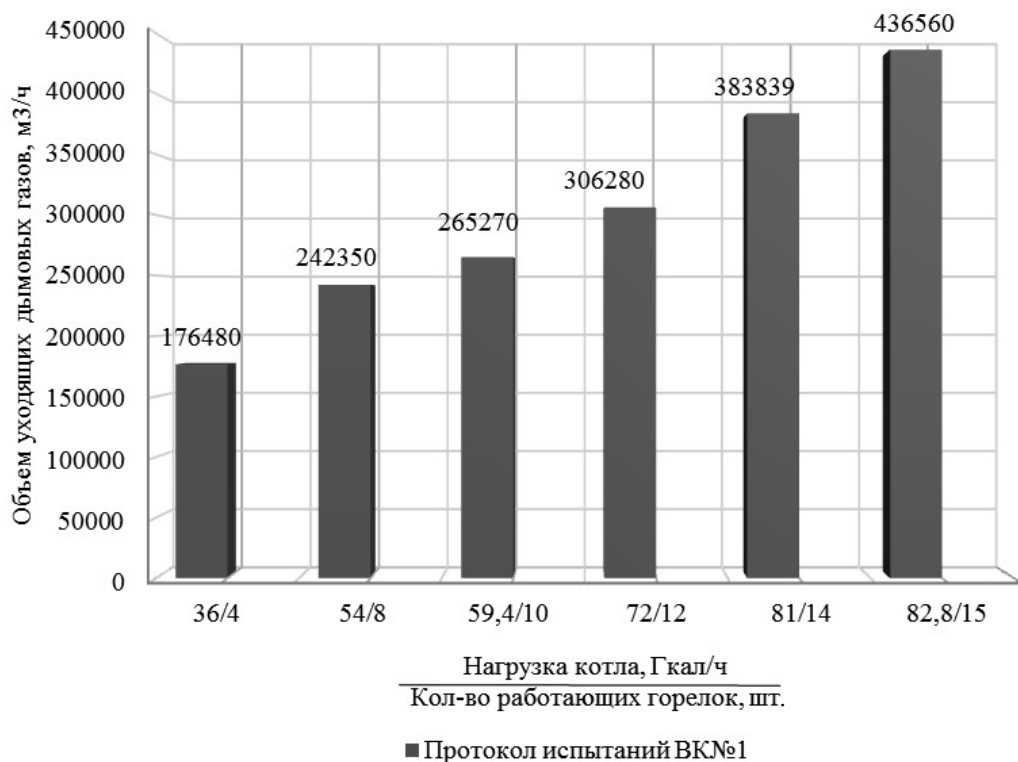


Рис. 6. Результаты расчета объемов уходящих газов по протоколу испытаний ВК №1

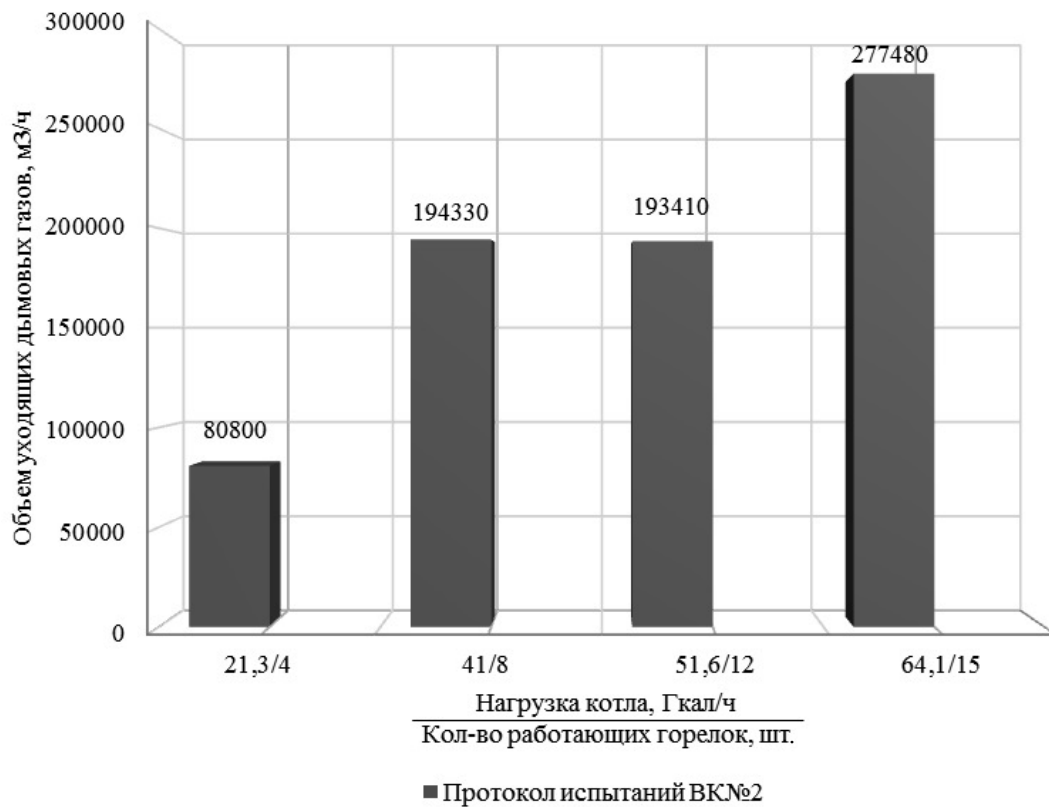


Рис. 7. Результаты расчета объемов уходящих газов по протоколу испытаний ВК №2

ность выхода котельной на номинальную нагрузку.

3. Завышенные значения объемов уходящих газов.

За расчетный объем уходящих газов принято значение $V_{тр} = 324580 \text{ м}^3/\text{ч}$, соответствующее номинальной нагрузке котла при максимальном числе работающих горелочных устройств. Это значение также соответствует оптимальной работе котла по КПД и расходу топлива.

Аэродинамический расчет котельных установок

Как было сказано выше, для подбора дымососа необходимо вычислить расчетное давление. Следует провести аэродинамический расчет [3], рассчитать перепад давлений газового тракта по формуле

$$\Delta H_{гг} = h_{гг}'' + \Delta H_{гг} - h_{гг}, \quad (1)$$

где $h_{гг}'' = 2 \text{ мм вод. ст.}$ – разрежение дымовых газов на выходе из топки (принято согласно режимной карте работы котла ПТВМ-100); $\Delta H_{гг} = \Delta h_{гг} + \Delta h_{кг} + \sum \Delta h_{гг\text{АЗ}} + \Delta h_{шг} + \Delta h_{д.гг}$, мм вод. ст. – сопротивление газового тракта; $h_{гг} + \text{мм вод. ст.}$ – самотяга газового тракта.

Так как сопротивление газоходов складывается из потерь на трение и местные сопротивления, на основании принципиальной схемы и фотоматериалов была составлена схема газоходов (рис. 8). Результаты расчета газохода, на котором предполагается установка дымососа, представлены в табл. 1, характеристики местных сопротивлений – в табл. 2.

Кроме этого, необходимо учесть влияние на аэродинамику рассматриваемых участков газового тракта энергетического котла ТГМЕ-454. Горелочное устройство данного котельного агрегата работает под наддувом за счет дутьевого вентилятора ВДН-25х2. Следовательно, вентилятор должен преодолевать сопротивление котла и участков, подключающих котел к дымовой трубе. Используя типовые энергетические характеристики [5, 6] на котлы данного типа, был рассчитан объем уходящих газов от одного котла ТГМЕ-454. По аэродинамическим характеристикам на вентилятор ВДН-25х2, представленным в [4], было определено сопротивление от одного парового энергетического котла.

Далее был произведен расчет дымовой трубы котельной. Учтены также продукты сгорания, удаляемые от трех паровых энергетических котлов. Результаты расчета представлены в табл. 3.

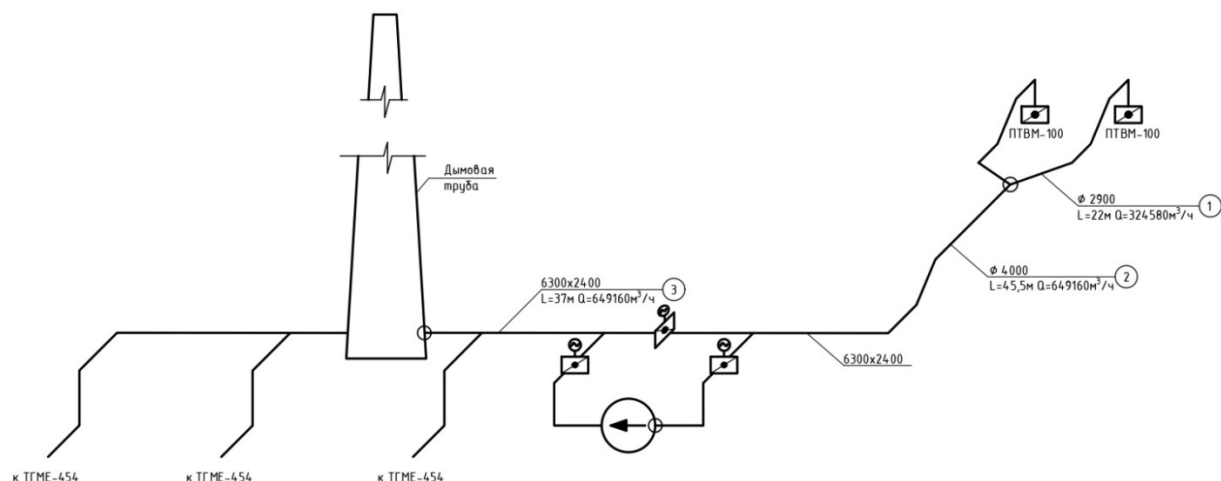


Рис. 8. Схема газоходов

Таблица 1

Сопротивления газоходов

Участок	Ведомость	Режим 5	Ø, (а×b), м	Fd, м²	W _{d'} , м/с	Δh _{мс'} , мм вод.ст.	Δh _{тр'} , мм вод.ст.	ΣΔh _{газ'} , мм вод.ст.
1	Режимная карта	324580	2,9	6,60	12,4	3,13	L=22м D _{экрб} =2,9 λ=0,02 0,45	7,16
2	Режимная карта	649160	4	12,56	13	1,96	L=45,5м D _{экрб} =3,47 λ=0,03	7,14
			6,3×2,4	15,12	10,8	4,29	0,89	
3	Режимная карта	649160	6,3×2,4	15,12	10,8	2,94	L=37м D _{экрб} =3,47 λ=0,03	3,66
							0,72	
								17,96

Таблица 2

Коэффициенты местных сопротивлений

Номер участка	Характеристика местного сопротивления ζ
1	Клапан на выходе из котла ζ = 0,1 (п.16, табл.VII-3 [4])
	Поворот на 90° с закругленными кромками ζ = 0,3 (r/b = 0,9 п.2-31,[4])
	Три плавных поворота на 45° ζ = 0,3·(45/90) = 0,15
	Тройник симметричный на слияние потоков ζ = 0,2 (w _г /w _с = 12,4/13 = 0,95, F _г /F _с = 6,6/12,56 = 0,53 п.1.41, рис.VII-24,[4])
2	Два плавных поворота на 45° ζ = 0,3·(45/90) = 0,15
	Поворот на 90° с закругленными кромками ζ = 0,3 (r/b = 0,9 п.2-31,[4])
	Тройник несимметричный на ответвление ζ = 1 (W _г /W _с = 13/10,8 = 1,2 п.1.38, рис.VII-20а,[4])
	Клапан ζ = 0,1 (п.16, табл.VII-3 [3])
	Два поворота на 90° с закругленными кромками ζ = 0,3 (r/b = 0,9 п.2-31,[3])
3	Клапан ζ = 0,1 (п.16, табл.VII-3 [3])
	Два поворота на 90° с закругленными кромками ζ = 0,3 (r/b = 0,9 п.2-31,[3])
	Тройник несимметричный, собирающий на проход ζ = 0,6 (Q _г /Q _с = 1,3 п.1.38, рис.VII-21 б,[3])

Таблица 3

Расчет дымовой трубы котельной

Ведомость	$V_{\text{тр режим 5}}$, М ³ /ч	$n_{\text{к.а.}}$, шт.	ϑ , °С	$d'_{\text{вн}}$, М	$\Delta h_{\text{тр}}$, ММ ВОД.СТ.	$\Delta h_{\text{вых}}$, ММ ВОД.СТ.	$\Delta h_{\text{д.тр}}$, ММ ВОД.СТ.	$h_{\text{с}}$, ММ ВОД.СТ.	$\Delta H_{\text{д.тр}}$, ММ ВОД.СТ.
Водогрейные котлы ПТВМ-100 (Режимная карта)	324580	2	242,89	8,40	4,20	5,76	9,96	125,52	135,49
Паровые котлы (Энергетическая характеристика ТГМЕ-454)	711510	3	120,98						

Расчитанные перепад давлений по газовому тракту и сопротивление газового тракта представлены на рис. 9 и 10 соответственно.

На основании теплового и аэродинамического расчетов был подобран дымосос центробежный двухстороннего всасывания ДН-25х2 (ООО «БЗЭМ»). Методика подбо-

ра тягодутьевого устройства представлена в [3]. Аэродинамическая характеристика дымососа показана на рис. 11. Основные параметры дымососа отражены в табл. 4. Дымосос комплектуется электродвигателем 2АОДС-800/400-8/10 (800/400 кВт, 750/600 об/мин, 6000 В).

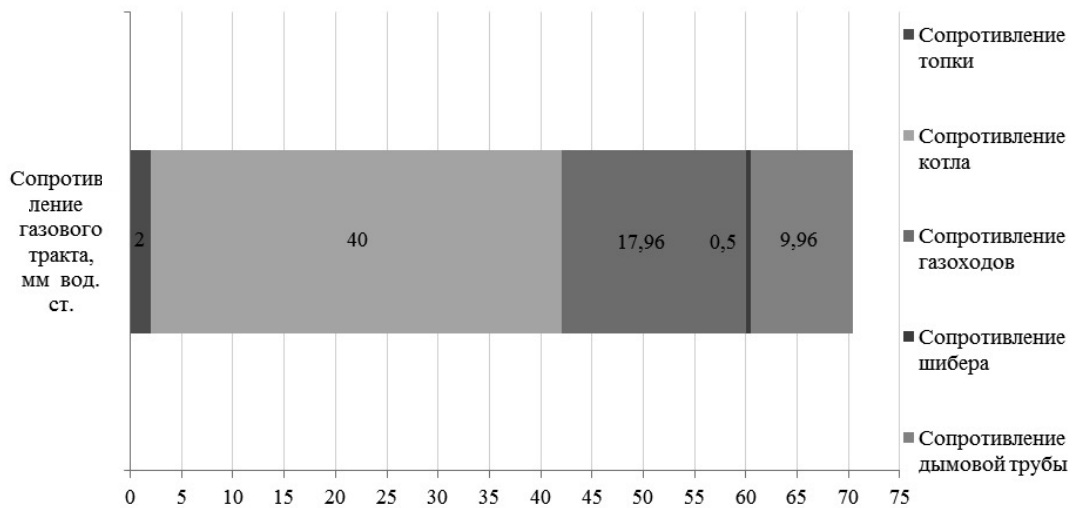


Рис. 9. Сопротивление газового тракта

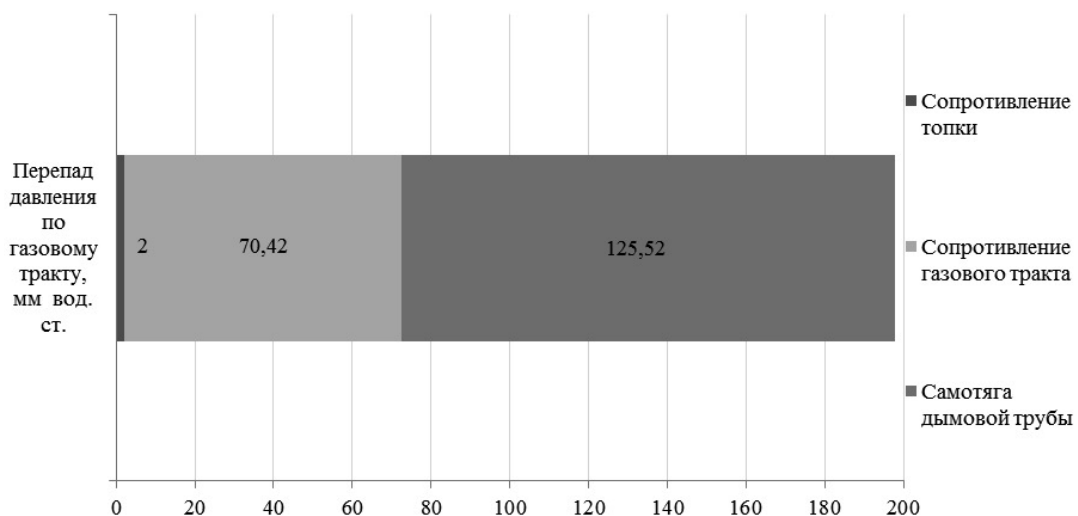


Рис. 10. Перепад давления по газовому тракту

Таблица 4

Основные параметры дымососа

Показатели назначения	Параметры	
Производительность (при максимальном КПД), м ³ /ч	665 000 (при 750 об/мин)	530 000 (при 600 об/мин)
Полное давление (при 147 °С) (при максимальном КПД), Па	3 190 (при 750 об/мин)	2 030 (при 600 об/мин)
Мощность, потребляемая вентилятором (при максимальном КПД), кВт	600 (при 750 об/мин)	340 (при 600 об/мин)
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	750	600
Диаметр рабочего колеса (по лопаткам), м	2,55	
Максимальный КПД, %	87	
Способ регулирования производительности и давления	Шибберный направляющий аппарат	

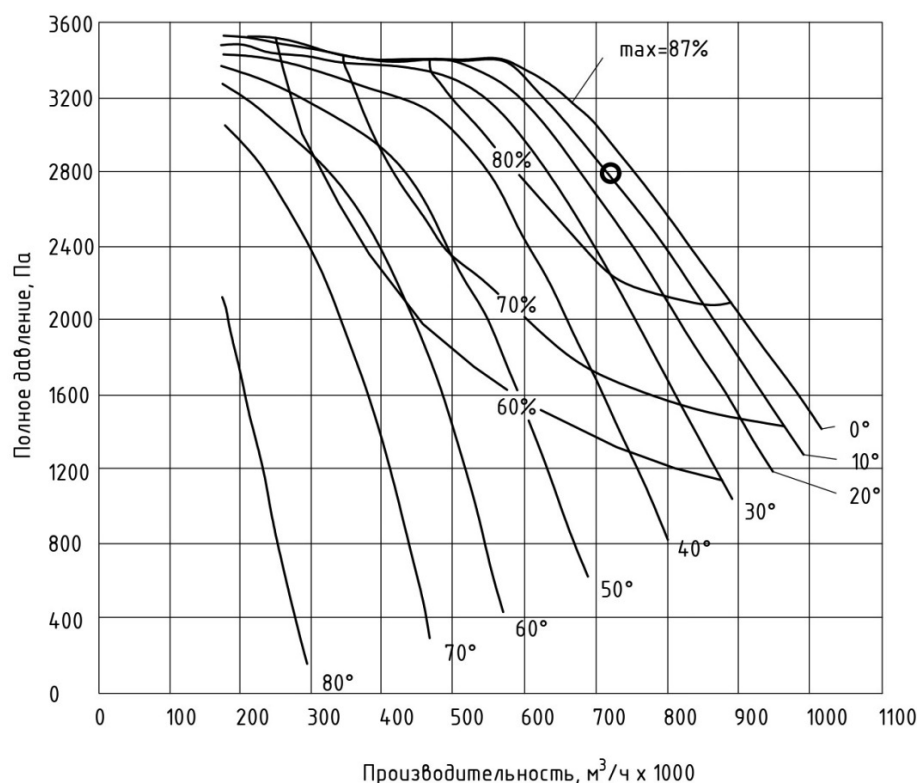


Рис. 11. Аэродинамическая характеристика дымососа ДН-25х2

Выводы. 1. По величине сопротивления газового тракта и объема дымовых газов подобран дымосос, обеспечивающий нормальную работу котлов во всем диапазоне нагрузок. Задача, инициированная заказчиком проекта, была решена в полном объеме.

2. Тип регулирующих клапанов будет подобран при установке дымососа на газоходах тракта.

3. Сопротивление котлов ТГМЕ-454, равное 270 мм вод. ст., выше перепада давления в ды-

мовой трубе, что обеспечит работу котлов под наддувом.

4. Согласно (СП 89.13330.2016, СП 346.1325800.2017) для котлов, работающих под наддувом, необходимо использовать индивидуальные дымовые трубы. Применительно к описанному выше случаю, рекомендуем устройство отдельных дымовых труб для котлов водогрейной котельной и паровых энергетических котлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Портал проекта «Профстажировки 2.0» [Электронный ресурс] URL: <https://профстажировки.рф> (дата обращения: 17.09.2020).
2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Изд.3-е перераб. и до-полн. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998.
3. Минкина С.А. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных агрегатов / СГАСУ. Самара, 2012. 74 с.
4. Аэродинамический расчет котельных установок: нормативный метод. Л.: Энергия, 1977.
5. РД 34.26.702. Типовая энергетическая характеристика котла ТГМЕ-206 при сжигании природного газа под наддувом и мазута с включенным дымососом.
6. РД 34.26.705. Типовая энергетическая характеристика котла ТГМЕ-464, работающего под наддувом при сжигании мазута.

REFERENCES

1. Portal proekta «Profstazhirovki 2.0» (Internet portal of the project “Professional Internship 2.0”). Available at: <https://профстажировки.рф> (Accessed 17 September 2020).
2. *Teplovooy raschet kotlov (Normativnyy metod)* [Thermal calculation of boilers (Regulatory method)]. Saint Petersburg, Nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie po issledovaniyu i proektirovaniyu energeticheskogo oborudovaniya Publ., 1998.
3. Minkina S.A. *Teplovooy i aerodinamicheskiy raschety kotel'nykh agregatov: uchebnoye posobie dlya vypolneniya*

Об авторах:

МИНКИНА Светлана Абрамовна

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

УРЯДОВ Максим Игоревич

магистрант
Национальный исследовательский московский государственный строительный университет
Институт инженерно-экологического строительства и механизации
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: uryadovmaxim@yandex.ru

kursovogo proekta po distsipline “Teplogeneriruyushchie ustanovki” [Thermal and aerodynamic calculations of boiler units: a training manual for completing a course project for the discipline “Heat-generating installations”]. Samara, Samarskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitel'nyy universitet Publ. Samara, 2012. 74 p.

4. *Aerodinamicheskiy raschet kotel'nykh ustanovok: normativnyy metod* [Aerodynamic calculation of boiler installations: regulatory method]. Leningrad, Energiya Publ., 1977.

5. RD 34.26.702 *Tipovaya energeticheskaya kharakteristika kotla TGME-206 pri szhiganii prirodnogo gaza pod nadduvom i mazuta s vklyuchennym dymososom* [Standard Output Characteristic of Boiler TGME-206 When Burning Natural Gas with Supercharging and Fuel Oil with Smoke Pump Connected]. (in Russian)

6. RD 34.26.705 *Tipovaya energeticheskaya kharakteristika kotla TGME-464, rabotayushchego pod nadduvom pri szhiganii mazuta* [Standard Output Characteristic of Boiler TGME-464 Supercharged When Burning Fuel Oil]. (in Russian)

7. SP 89.13330.2016 *Kotel'nye ustanovki* [Boiler installations]. Updated version of building code II-35-76. Moscow, Minstroy Publ., 2016. 78 p. (in Russian)

8. SP 346.1325800.2017 *Sistemy gazovozdushnykh traktov kotel'nykh ustanovok moshchnost'yu do 150 MVt. Pravila proektirovaniya* [Systems of gas-air paths of boiler installations with a capacity of up to 150 MW. Design rules]. Moscow, Minstroy Publ., 2017. 42 p. (in Russian)

MINKINA Svetlana A.

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

URYADOV Maxim I.

Master's Degree Student
Moscow State University of Civil Engineering
Institute of Environmental Engineering and Mechanization
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye av., 26
E-mail: uryadovmaxim@yandex.ru

Для цитирования: Минкина С.А., Урядов М.И. Реконструкция газоходов водогрейных котлов с монтажом дымососов уходящих газов // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 4. С. 42–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.6.

For citation: Minkina S.A., Uryadov M.I. Reconstruction of Gas Ducts of Water Boilers with Installation of Flue Gas Pumps. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 4, Pp. 42–49. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.6.