

УДК 628.517.2

Приведенные затраты на установку звукопоглощающих направляющих пластин на повороте газового тракта энергоблока 250 МВт

Павлов Данила Алексеевич^()*

PavlovDanA@mpei.ru

Тупов Владимир Борисович

TupovVB@mpei.ru

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено влияние установки направляющих пластин в повороте газового тракта энергоблока 250 МВт на его технико-экономические показатели. Пластины, заполненные звукопоглощающим материалом, выполняют функцию комбинированного устройства: снижают аэродинамическое сопротивление тракта и уменьшают шум дымососов. Представлены результаты численного моделирования в ANSYS, получены значения сопротивления для конфигураций с числом пластин от 1 до 7. Показано, что энергопотребления дымососов носит нелинейный характер с минимумом при трех пластинах. Выполнена оценка приведенных затрат для различного количества направляющих пластин на повороте. Установлено, что минимальные приведенные затраты будут при использовании двух направляющих пластин.

Ключевые слова: глушитель шума, направляющие пластины, аэродинамическое сопротивление, энергоблок 250 МВт, приведенные затраты

The reduced costs for the installation of sound-absorbing guide vanes at the turn of the gas duct of a 250 MW power unit

Pavlov Danila Alekseevich^()*

PavlovDanA@mpei.ru

Tupov Vladimir Borisovich

TupovVB@mpei.ru

MPEI, Moscow, Russia

Abstract. The influence of installing guide vanes in the gas duct bend of a 250 MW power unit on its technical and economic performance was studied. The vanes, filled with sound-absorbing material, function as a combined device: they reduce the aerodynamic resistance of the duct and decrease the noise of the exhaust fans. Results of numerical simulation in ANSYS are presented, and resistance values are obtained for configurations with 1 to 7 vanes. It is shown that the power consumption of the exhaust fans is non-linear, with a minimum at three vanes. An assessment of the reduced costs for different numbers of guide vanes at the bend was carried out. It was established that the minimum reduced costs are achieved when using two guide vanes.

Keywords: noise silencer, guide vanes, aerodynamic resistance, 250 MW power unit, reduced costs

Введение. На тепловых электрических станциях (ТЭС) для снижения шума, излучаемого дымососами через срезы дымовых труб, используются различные типы глушителей [1]. На энергоблоках мощностью 250 МВт применяются осевые дымососы [2], которые являются более шумными по сравнению с центробежными машинами. Поэтому актуальной задачей является снижение шума в газоздушном тракте, в том числе с помощью направляющих пластин, устанавливаемых на поворотах [3].

Установка таких пластин приводит к изменению технико-экономических характеристик энергоблока. С одной стороны, оптимизация потока снижает аэродинамическое сопротивление газового тракта, уменьшая нагрузку на дымососы и потребление электроэнергии на собственные нужды. С другой стороны, это требует дополнительных капитальных вложений на изготовление и монтаж пластин [4–6].

Целью данной работы является определение оптимального количества направляющих пластин в повороте газохода энергоблока 250 МВт, обеспечивающего минимум приведенных затрат с учетом экономии электроэнергии и капитальных расходов. Сравнение проводится по приведенным затратам для прямого поворота с установленными там от одной до трех направляющих пластин.

Материалы и методы. Объектом исследования является поворот газоздухопровода энергоблока 250 МВт. Для определения эксплуатационных затрат учитываем, что энергоблок состоит из прямоточного котла ТГМП-344 и одновальной четырехцилиндровой теплофикационной паровой турбины Т-250-23,5. Турбина выполнена на сверхкритические параметры пара с одноступенчатым промежуточным перегревом пара [2]. Основные технические характеристики расчетного режима приведены в табл. 1. В качестве топлива используется природный газ (Саратов — Москва), характеристики которого приведены в табл. 2.

Таблица 1

Характеристики расчетного режима турбины Т-250/300-23,5

Параметр	Температура наружного воздуха, 0 °С
Паропроизводительность первичного пара, кг/с	207
Паропроизводительность вторичного пара, кг/с	175
Электрическая мощность, МВт	220
Тепловая нагрузка, МВт	293
Расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$	17,2

Таблица 2

Характеристики топлива

Газопровод	Теплота сгорания топлива, $\text{МДж}/\text{м}^3$	Теоретические объемы $\text{м}^3/\text{м}^3$	
		воздуха, V^0	газа, V_0^r
Саратов-Москва	35,80	9,52	10,83

Объем газов, перекачиваемый дымососом, больше объема воздуха за счет более высокой температуры среды и больших присосов воздуха по газовому тракту.

Объем уходящих газов:

$$V_{\Gamma}^{yx} = V_{\Gamma}^0 + 1,0161(\alpha_{yx} - 1)V^0, \quad (1)$$

где V_{Γ}^0 , V^0 — теоретические объемы газов и воздуха, $\text{нм}^3/\text{нм}^3$; α_{yx} — коэффициент избытка воздуха в уходящих газах

С учетом температуры газов перед дымососами, объемная производительность машины:

$$V_{\text{д.с.}} = B_{\Gamma} V_{\Gamma}^{yx} \frac{t_{yx} + 273}{273}, \quad (2)$$

где B_{Γ} — расход топлива на котел, $\text{нм}^3/\text{с}$.

У турбоустановки Т-250-23,5 устанавливается два дымососа ДОД-31.5, поэтому полученный объем делится пополам. Для дымососа ДОД-31.5 по его аэродинамической характеристике (рис. 1) определены параметры: расход газов 577,8 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ (по формулам (1), (2)), полный напор 1171 Па.

Для снижения аэродинамического сопротивления газоздушного тракта котельного агрегата, в прямой скругленный поворот канала квадратного сечения со сторонами 4 м устанавливаются от 1 до 3 концентрических направляющих пластин толщиной 200 мм (рис. 2), заполненные базальтовой ватой плотностью $80 \text{ кг}/\text{м}^3$ [3, 5, 6].

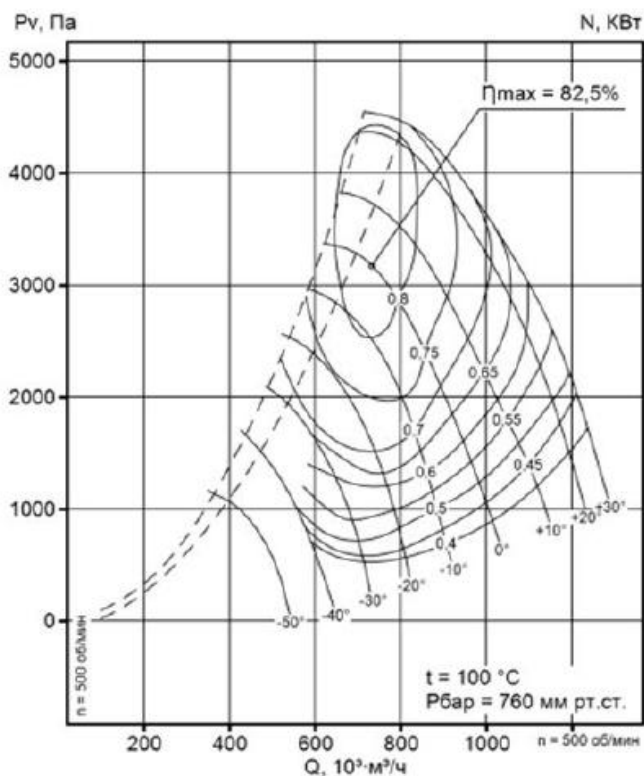


Рис. 1. Аэродинамическая характеристика ДОД-31,5

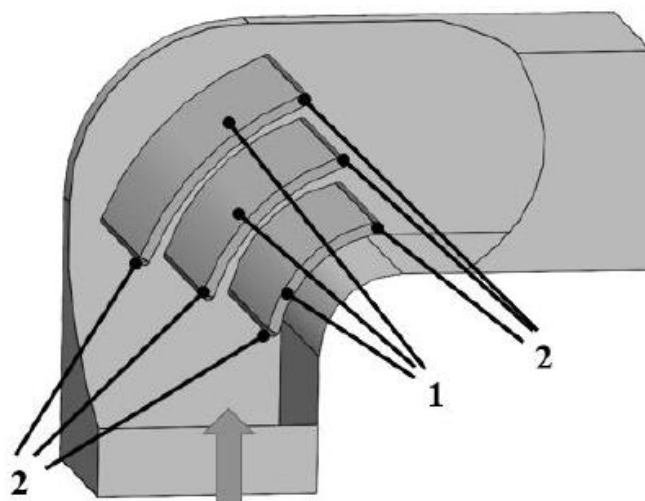


Рис. 2. Модель глушителя шума в повороте с направляющими пластинами:
1 — пластины постоянной толщины; 2 — цилиндрические обтекатели

Расчет аэродинамического сопротивления выполнен методом численного моделирования в программе ANSYS Fluent с использованием модели турбулентности $k-\varepsilon$ [7]. Граничные условия: скорость потока на входе — 15 м/с, шероховатость стенок — 5 мкм.

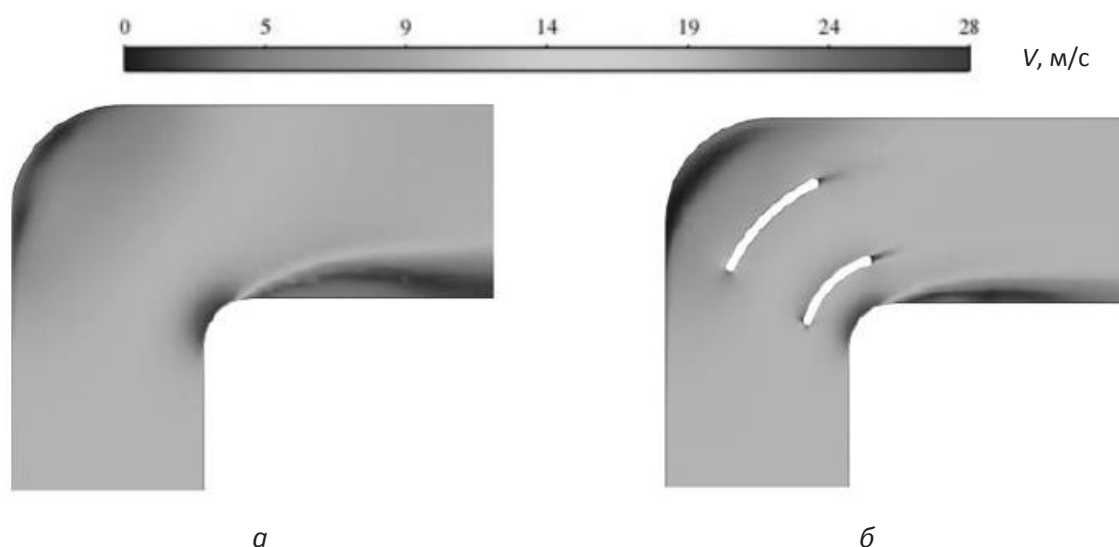


Рис. 3. Поле скоростей в повороте до установки пластины (а) и после установки двух пластин (б)

Результаты. В результате моделирования получены поля скоростей в повороте и определены потери давления для различного количества пластин (от 0 до 7). На рис. 3 показаны изменения структуры потока: установка пластин устраняет крупные вихревые зоны, характерные для поворота без пластин.

На основе полученных данных рассчитано полное давление, которое должны создавать дымососы для преодоления сопротивления тракта с учетом влияния пластин.

$$p_{д.с.1} = p_v + p_T \quad (3)$$

где p_T — потери давления в тракте из-за установки глушителя.

Сводные результаты расчета аэродинамического сопротивления представлены в табл. 3.

Таблица 3

Аэродинамическое сопротивление поворота с направляющими пластинами

к, %	Аэродинамическое сопротивление, Па	Изменение аэродинамического сопротивления, Па	Полное давление, Па
100 (0 пластин)	43,2	0	1171,0
96 (1 пластина)	40,2	–3	1168,0
91 (2 пластины)	28	–15,2	1155,8
87 (3 пластины)	25,5	–17,7	1153,3
83 (4 пластины)	28,5	–14,7	1156,3
78 (5 пластины)	32,5	–10,7	1160,3
74 (6 пластины)	40,1	–3,1	1167,9
70 (7 пластины)	55	11,8	1182,8

Потребление электроэнергии дымососом определено по формуле

$$N_{д.с.1} = \frac{V_{д.с.1} \cdot p_{д.с.1}}{3,6 \cdot \eta_{д.с.1}} \quad (4)$$

Годовые эксплуатационные затраты на электроэнергию рассчитаны для условий работы блока с коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ) 80% и стоимостью электроэнергии 1,8 руб./(кВт · ч):

$$C_{ээ} = N_{д.с.1} T_{ч.и} C_{ээ}. \quad (5)$$

Капитальные затраты на изготовление пластин включают стоимость звукопоглощающего материала (базальтовое волокно, 500 руб./кг) и металла (сталь, 20 руб./кг) для каркаса, перфорированных листов и обтекателей. Расчет массы и стоимости глушителя выполнен по зависимостям (6)–(14), результаты сведены в табл. 4.

Объем звукопоглощающего материала одной пластины, m^3 :

$$V_1 = x l_{\text{глуш}} a, \quad (6)$$

где x — толщина пластины, м; $l_{\text{глуш}}$ — длина пластины глушителя, м; a — ширина канала, м.

Общий объем звукопоглощающего материала для глушителя, m^3 :

$$V_2 = n V_1, \quad (7)$$

где n — количество пластин.

Масса звукопоглощающего материала, кг:

$$M_1 = \rho_1 V_2, \quad (8)$$

где ρ_1 — плотность звукопоглощающего материала, кг/м³

Площадь поверхности одной пластины, м²:

$$S_1 = 2l_{\text{глуш}} a. \quad (9)$$

Масса перфорированных листов, кг:

$$M_2 = \rho_2 S_1 t k n, \quad (10)$$

где ρ_2 — плотность металла, кг/м³; t — толщина металла, м; k — коэффициент, учитывающий, что поверхность металла перфорирована;

Площадь одного обтекателя, м²:

$$S_2 = \pi \frac{x^2}{2}. \quad (11)$$

Масса обтекателей всех пластин, кг:

$$M_3 = 2\rho_2 S_2 a t_3 n, \quad (12)$$

где t_3 — толщина металла обтекателей, м

Оценка массы каркаса глушителя в зависимости от массы металла глушителя, кг:

$$M_4 = 0,7(M_2 + M_3). \quad (13)$$

Общая масса глушителя, кг:

$$M_{\Sigma} = M_1 + M_2 + M_3 + M_4. \quad (14)$$

Итоговые приведенные затраты рассчитаны как сумма годовых эксплуатационных расходов и капитальных вложений, приведенных к годовой размерности через нормативный коэффициент эффективности $p_n = 0,12$:

$$Z = C_{\text{эк}} + K_3 p_n. \quad (15)$$

Таблица 4

Затраты при установке направляющих пластин

к, %	Эксплуатационные затраты, руб.	Капитальные затраты, руб.	Приведенные затраты, руб.
100 (0 пластин)	3 952 734	0	3 952 734
96 (1 пластина)	3 942 607	79 177	3 952 109
91 (2 пластины)	3 901 426	158 502	3 920 446
87 (3 пластины)	3 892 987	237 764	3 921 519
83 (4 пластины)	3 903 114	317 174	3 941 175
78 (5 пластины)	3 916 616	395 599	3 964 088
74 (6 пластины)	3 942 270	475 430	3 999 321
70 (7 пластины)	3 992 565	556 390	4 059 332

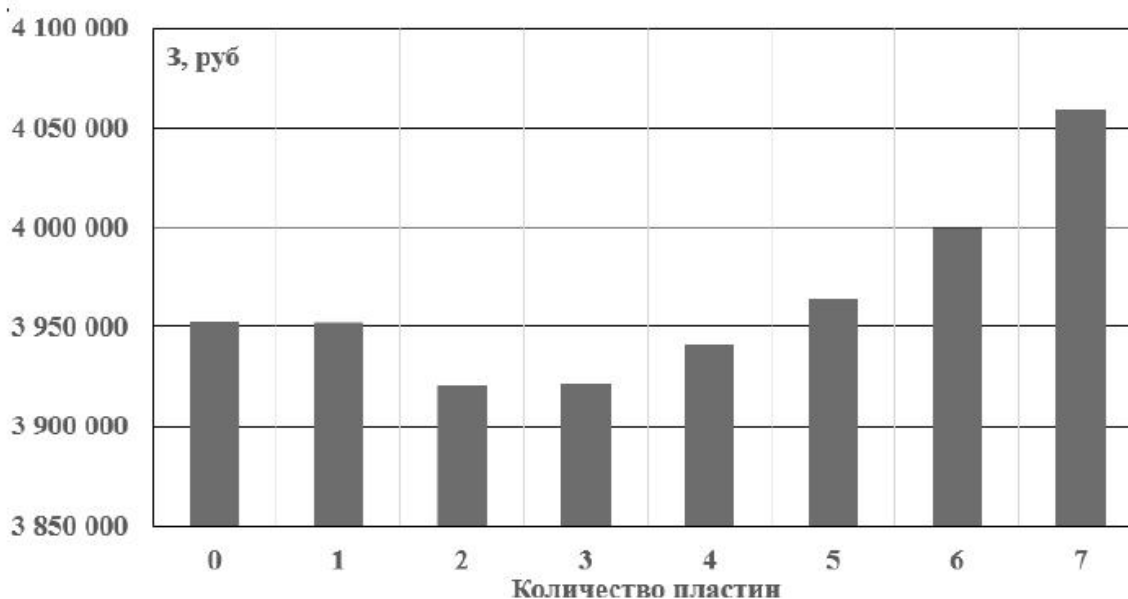


Рис. 4. Изменение приведенных затрат от количества направляющих пластин

Результаты расчета приведенных затрат представлены на рис. 4.

Обсуждение. Анализ полученных данных показывает, что зависимость аэродинамического сопротивления от количества пластин имеет ярко выраженный минимум. Установка первых трех пластин снижает потери давления с 43,2 до 25,5 Па (на 41 %), что хорошо согласуется с классическими представлениями о гидравлике поворотов [4]. Дальнейшее увеличение числа пластин (более трех) приводит к росту сопротивления по сравнению с тремя пластинами из-за сужения проходного сечения канала и увеличения поверхности трения. При семи пластинах сопротивление превышает исходное значение на 27 %.

Экономический эффект от установки пластин определяется двумя разнонаправленными факторами: экономией электроэнергии (максимум при трех пластинах) и ростом капитальных затрат (линейная зависимость). Введение третьей пластины дает прирост годовой экономии всего 8,4 тыс. руб. (с 51,3 до 59,7 тыс. руб.) по сравнению с двумя пластинами, но увеличивает капитальные затраты на 79 тыс. руб.

Итоговый график приведенных затрат (рисунок 5) демонстрирует, что минимальных значений показатель достигает при установке двух пластин. Использование одной пластины дает недостаточный экономический эффект. Три пластины, несмотря на лучшую аэродинамику, требуют больших первоначальных вложений по сравнению с двумя пластинами на 1 тыс. руб.

Заключение. В результате проведенного исследования подтверждена эффективность использования направляющих пластин в поворотах газового тракта энергоблоков не только как средств шумоглушения, но и как элементов снижения аэродинамического сопротивления газового тракта. Выполненные расчеты показывают, что данное техническое решение позволяет сократить потребление электроэнергии на собственные нужды.

Экономический анализ, основанный на сравнении приведенных затрат, позволил количественно оценить компромисс между снижением эксплуатационных расходов и ростом капитальных вложений. Установлено, что минимальные приведенные затраты на повороте газового тракта энергоблока 250 МВт будут при установке двух пластин. Установка другого количества пластин требует больших приведенных затрат.

Список источников

- [1] Тупов В.Б. *Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду*. Москва, Издательский дом МЭИ, 2012, 284 с.
- [2] Трухний А.Д. *Стационарные паровые турбины*. 2-е изд. Москва, Энергоатомиздат, 1990, 640 с.
- [3] Тупов В.Б., Павлов Д.А. Снижение аэродинамического сопротивления и шума на повороте с помощью направляющих пластин. *Электрические станции*, 2026, № 1, с. 34–39.
- [4] Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*. Под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд. Москва, Машиностроение, 1992, 672 с.
- [5] Тупов В.Б., Павлов Д.А. Устройство для снижения шума на повороте. Патент РФ № 238640 U1, 2025, бюл. № 31.
- [6] Григорян Ф.Е., Перцовский Е.А. *Расчет и проектирование глушителей шума энергоустановок*. Ленинград, Энергия, 1980, 120 с.
- [7] Matsson J.E. *An introduction to ANSYS Fluent 2022*. Sdc Publications, 2022, 688 p.