



ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОГО АППАРАТА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВ

Abdumalik Axmatov [0000-0002-0150-0838]

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Avtomatlashtirish va boshqaruv kafedrasи
dotsenti, PhD., E-mail: a.a.axmatov@gmail.com

Annotatsiya. Ushbu maqolada ishlab chiqarish gazlarini sovitishda ichi bo'sh apparatidan samarali foydalanish masalalari o'rganildi. Tajribalar havo-sovuq suv tizimida o'tkazildi va turli gidrodinamik sharoitlarda issiqlik almashinuvi va gidravlik qarshilik ko'rsatkichlari aniqlandi. Empirik tenglamalar orqali sovitish samaradorligi va unga ta'sir etuvchi omillar o'tasidagi bog'lilik baholandi. Hisoblash natijalari ichi bo'sh apparatda optimal rejimlarni tanlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: apparat, gaz sovitish, issiqlik almashinuvi, gidravlik qarshilik, samaradorlik koeffisiyenti.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности охлаждения технологических газов с использованием полого аппарата (ПА). Эксперименты проведены на модельной установке «воздух-вода», охватывающей широкий диапазон скоростей газа и удельных расходов жидкости. Получены эмпирические уравнения, описывающие зависимость коэффициентов теплопередачи и гидравлического сопротивления от ключевых параметров процесса. Представленные результаты позволяют выбирать оптимальные условия эксплуатации ПА для энергоэффективного охлаждения газов.

Ключевые слова: аппарат, охлаждение газов, теплопередача, гидравлическое сопротивление, эффективность.

Abstract. This study examines the efficiency of gas cooling using a hollow apparatus (HA) in industrial settings. Experiments were carried out using an air-water system, assessing heat transfer and hydraulic resistance under varying flow conditions. Empirical formulas were derived to quantify the relationship between cooling performance and process variables. The findings support the selection of optimal operating regimes for energy-efficient gas cooling with the HA.

Keywords: apparatus, gas cooling, heat transfer, hydraulic resistance, efficiency coefficient.

Ведения

Современные технологические процессы, особенно в химической и металлургической промышленности, сопровождаются выделением большого количества горячих газов, требующих эффективного охлаждения перед последующей переработкой или выбросом в атмосферу. В условиях растущих требований к энергоэффективности и экологичности промышленных систем возрастает потребность в надежных, простых и экономичных решениях для теплообмена. Одним из таких решений является использование полых вихревых аппаратов (ПА), которые сочетают компактность конструкции с высокой интенсивностью теплообмена между газовой и жидкой фазами [1-5].

Несмотря на практическую востребованность ПА, их тепловые и гидравлические характеристики описаны в научной литературе недостаточно полно. Имеющиеся исследования, как правило, ограничиваются узкими диапазонами параметров и редко включают количественные зависимости, пригодные для инженерных расчетов. В частности, отсутствуют универсальные эмпирические уравнения, позволяющие рассчитывать коэффициенты теплопередачи и гидравлические потери при охлаждении газов с помощью полого аппарата в зависимости от условий эксплуатации.

Актуальность настоящей работы заключается в необходимости экспериментального изучения и математического описания процессов охлаждения



газов в полом аппарате с целью повышения эффективности теплообмена и минимизации энергетических потерь. В ходе исследования были получены данные о влиянии скорости газа, удельного расхода воды и других параметров на эффективность охлаждения и гидравлическое сопротивление системы. Также были построены и проверены эмпирические зависимости, отражающие основные закономерности процесса [5-7].

Результаты проведённого анализа позволяют не только глубже понять физику теплообмена в ПА, но и рекомендовать практические методы оптимизации его работы, что особенно важно для внедрения энергоэффективных решений в промышленное производство.

Методология

Полого аппарата (ПА) широко применяется для охлаждения производственных газов. Однако этот процесс не описан даже эмпирическими уравнениями, имеется лишь опытные данные. Целью настоящих исследований явилась дальнейшее изучение вопросов теплообмена в ПА при охлаждении в нем производственных газов. Опыты проводились на системе воздух-вода. Начальная температура воздуха была 600, я воды 9-17 °C. Основные размеры самодельного ПА в мм: диаметр входа и выхода 50, диаметр горловины 20, длина горловины 4. Углы раскрытия конфузора и диффузора соответственно 25 и 7 °C. подавалось в конфузор ПА через форсунки параллельно потоку воздуха. скорость воздуха в горловине изменялась от 40 до 120 м/сек. Удельный расход воды от 1 до 8 кг/м³.

Опыты показали, что коэффициенты теплопередачи, рассчитанные по суммарному количеству переданного тепла и отнесенные к площади поперечного сечения горловины, зависят не только от скорости газа в горловине, как утверждается в работе [1], но и от удельного расхода орошающей жидкости. Для указанных условий эта зависимость может быть представлено уравнением:

$$K=85 \cdot w_r^{1.6} \cdot q^{0.3} \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{град} \quad (1)$$

где w_r -скорость газа в горловине ПА, м/сек; q -удельный расход воды, кг/м³.

Такая зависимость коэффициентов теплопередачи от скорости газа может быть объяснена высокой турбулизацией газо-жидкостных потоков, в результате которой образуется большая суммарная поверхность соприкосновения теплоносителей, способствующая эффективному тепломассообменному.

Работа ПА то как теплообменного аппарата оценивалась коэффициентов эффективности теплообмена E_0 , который характеризует отношение конечной психрометрической разности температур газа, достигнутой в условиях охлаждения, я начальной психрометрической разности:

$$E_0=1-(t_2-t'_{вл})/(t_1-t'_{вл}) \quad (2)$$

где t_1 , t_2 - где соответственно начальная и конечная температура газа по сухому температуре, °C; $t'_{вл}$, $t''_{вл}$ - соответственно начальная и конечная температура газа по влажному температуре, °C.

Установлено, что наиболее интенсивное охлаждение газа в ПА осуществляется при значениях E_0 не более 0,98-0,99, что соответствует конечной температуре газа, превышающий на 2-3° температуру его по влажному термометру. В зависимости от удельного расхода воды и скорости газа $w_r \leq 100$ м/сек коэффициент эффективности теплообмена может быть рассчитан по уравнению:

$$E_0=[0,8 \cdot q^{0,1}]^{(1-0,01 \cdot w_r)} \quad (3)$$

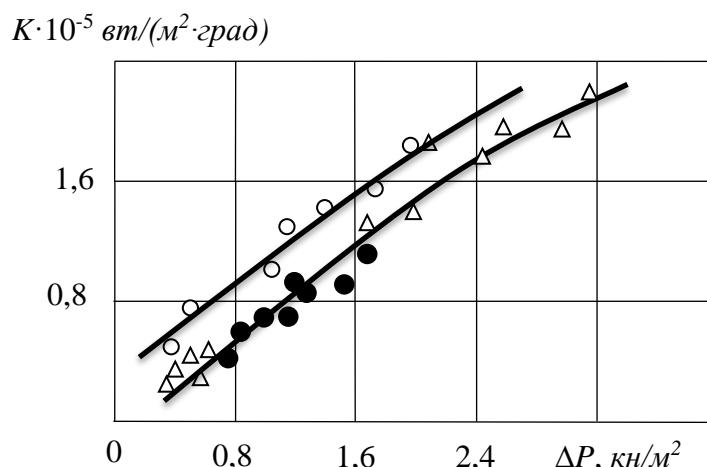


Рис.1. Взаимосвязь коэффициентов теплопередачи и гидравлического сопротивления СВ при удельном расходе воды, кг/м³: □-1; ▲-2÷3; ■-4÷8.

Используя уравнения (1) и (2), можно определить конечную температуру охлаждаемого в ПА газа в зависимости от начальных температурных и гидродинамических условий процесса. Следует при этом иметь в виду, что с увеличением скорости газа и удельного расхода воды увеличиваются не только коэффициенты теплопередачи и эффективность теплообмена, но и гидравлическое сопротивление ПА:

$$\Delta P = 0,143 \cdot \dot{m}^2 \cdot q^{0,5} \text{ Н/м}^2 \quad (4)$$

Причем как видно из сравнения уравнения (1) и (4), гидравлическое сопротивление ПА возрастает быстрее, чем коэффициенты теплопередачи. В связи с этим охлаждение газов в ПА с целью уменьшением энергозатрат целесообразно вести при пониженных (40-60 м/сек) скоростях газа, достигая требуемой конечной температуры и его увеличением удельного расхода воды.

Взаимосвязь коэффициентов теплопередачи и гидравлического сопротивления ПА показано на рисунке. Эта зависимость может быть представлена уравнением:

$$K = 403 \cdot \Delta P^{0,8} \cdot q^{0,1} \quad (5)$$

На основании, которого возможно на сопоставление интенсивности теплообмена (коэффициента теплопередачи) и затраты энергии (гидравлическое сопротивление ПА) на создание требуемого гидравлического режима для охлаждения газов.

Заключения

Проведённые экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность использования полого аппарата (ПА) для охлаждения производственных газов в системах воздух–вода. В результате анализа полученных данных установлены количественные зависимости между основными технологическими параметрами процесса (скорость газа, удельный расход воды) и ключевыми характеристиками ПА коэффициентом теплопередачи, эффективностью охлаждения и гидравлическим сопротивлением.

Выявлено, что увеличение скорости газа и расхода воды приводит к росту коэффициента теплопередачи и эффективности охлаждения, однако одновременно вызывает более быстрое увеличение гидравлического сопротивления. Это указывает



на необходимость поиска компромисса между теплообменной производительностью и энергетическими затратами.

Полученные эмпирические уравнения позволяют прогнозировать параметры работы полого аппарата при различных режимах эксплуатации и могут быть использованы для инженерного расчета и оптимизации охлаждающих устройств в промышленной практике. В частности, для достижения максимальной энергоэффективности рекомендуется использовать умеренные скорости газа (в пределах 40–60 м/с) при увеличенном удельном расходе воды.

Таким образом, проведённое исследование расширяет теоретическую базу по полым аппаратам и представляет практический интерес для разработки эффективных и экономически оправданных решений в области промышленного охлаждения газов.

Литература

- [1]. H., Xiao, Q., & Xu, J. (2017). Direct-Contact Heat Exchanger. Heat Exchangers - Design, Experiment and Simulation. doi:10.5772/66630.
- [2]. Бахронов Х.Ш., Санакулов К.С., Ахматов А.А. Вихревой скруббер для очистки и охлаждения газов. Патент на полезную модель. № FAP 01755.
- [3]. Bakhrongov Kh.Sh., Akhmatov A.A., Kadirov Y.B. Developing highly efficient industrial contact heat exchanger. Chemical Technology, Control and Management 2020, №3 (93) pp. 35-39.
- [4]. Kakas S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat exchangers. 4th ed. - CRC Press, 2020. - 547 p. - ISBN 978-1-138-60186-4.
- [5]. Москалев Л.Н. Тепломассообменный процесс при контактным конденсации в вихревом аппарате: дисс. канд. техн. наук: 05.17.08 / Москалев Леонид Николаевич - Казан, 2016. - 174 с.
- [6]. Климов А.М., Мартынов А.А. Контактные теплообменники, их классификация // European Student Scientific Journal. Москва, Россия 2015, № 2. - С. 1-7.
- [7]. Y. Fei, Q.-T. Xiao, J.-X. Xu, J.-X. Pan, S.-B. Wang, H. Wang, J.-W. Huang, A novel approach for measuring bubbles uniformity and mixing efficiency in a direct contact heat exchanger // Energy 2015, pp. 2313-2320. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.126>