

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СООТНОШЕНИЯ ПОТОКОВ

- **Базыкин Д.А.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия
- **Дахин С.В.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE CHARACTERISTICS OF A THERMOELECTRIC GENERATOR UNIT WITH CONTROL OF THE QUANTITATIVE FLOW RATIO

- **Bazykin D.A.**, Ph.D., Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia
- **Dakhin S.V.**, Ph.D., Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

В работе представлены результаты экспериментов, основной задачей которых является определение эксплуатационных параметров экспериментального образца термоэлектрической генераторной установки, предназначенной для автономной генерации электрической энергии на децентрализованных объектах нефте- и газодобывающей отраслей промышленности.

В ходе проведенных исследований определены такие характеристики, как температура, давление и объемный расход потоков рабочего тела – воздуха, а также изменение максимальной удельной мощности генерируемого электрического тока при выбранных режимах функционирования и построены графики зависимости указанных параметров от положения регулировочного винта, входящего в состав противоточной вихревой трубы, который позволяет изменять количественное соотношение холодного и горячего потоков рабочего тела.

В результате анализа полученных данных сделан вывод о наиболее эффективных режимах эксплуатации рассматриваемой установки.

Ключевые слова: вихревая труба, термоэлектрические генераторные модули, электроэнергия, экспериментальная установка, количественное соотношение потоков, эксплуатационные характеристики.

This paper presents the results of experiments aimed at determining the operating parameters of a prototype thermoelectric generator unit designed for autonomous electric power generation at decentralized oil and gas production facilities.

The study determined parameters such as temperature, pressure, and volumetric flow rate of the working fluid (air), as well as changes in the maximum specific power of the generated electric current under selected operating conditions. Graphs were constructed showing the dependence of these parameters on the position of the adjusting screw included in the counter-current vortex tube, which allows for changing the ratio of cold and hot working fluid flows.

Analysis of the obtained data allowed us to conclude on the most efficient operating modes for this unit.

Key words: vortex tube, thermoelectric generator modules, electric power, experimental setup, flow ratio, operating characteristics.

Введение

Задача автономного электрообеспечения оборудования малой мощности, систем и средств автоматики, а также катодной защиты трубопроводов в нефте- и газодобывающей отраслях промышленности может быть решена посредством применения термоэлектрических генераторных модулей [1], являющихся одними из основных составляющих термоэлектрической генераторной установки, принцип работы которой основан на термическом разделении газообразного потока в противоточной вихревой трубе за счет реализации вихревого эффекта Ранка-Хилша на холодный и горячий газообразные потоки, в последующем направляющиеся в каналы термоэлектрического генератора, который представляет собой два параллельных канала прямоугольного сечения, между которыми закреплены термоэлектрические генераторные модули. В нем за счет подачи тепла на одну сторону термоэлектрических генераторных модулей и отвода тепла с противоположной стороны выполняется генерация электроэнергии [2].

Описание экспериментальной установки

Представленная в работе экспериментальная установка изображена на рис. 1.

В составе разработанной термоэлектрической генераторной установки имеется противоточная вихревая труба NexFlow 50040H, номинальный расход газа на входе в которую составляет 1133 л/мин.

По мере подачи газообразного потока во входной патрубок вихревой трубы, тангенциально – в камеру вихревого энергоразделения, выполняется его завихрение с одновременным термическим разделением на холодный и горячий потоки, при этом холодный поток направляется по приосевой области вихревой трубы к выходному участку холодного потока, а горячий поток движется по пристеночной, периферийной зоне вихревой трубы к выходному участку горячего потока [3].

Вихревая труба NexFlow 50040H в выходном участке горячего потока содержит регулировочный винт, позволяющий изменять количественное соотношение потоков.



Рис. 1. Экспериментальная термоэлектрическая генераторная установка

Актуальность исследования

В работе [4] были проведены теоретические и экспериментальные исследования, заключающиеся в определении коэффициента энерго-разделения потоков при различных положениях указанного регулировочного винта и варьировании значений расхода входящего газа. При этом отсутствуют данные о реальных значениях давления, расхода и температуры холодного и горячего потоков.

Авторами [5] представлены эмпирические данные зависимости расхода газообразного рабочего тела на входе, температуры, расхода горячего потока и теплосодержания горячего воздуха от давления входного потока для той же вихревой трубы.

В представленных данных не содержится сведений об изменении упомянутых параметров при регулировании количественного соотношения холодного и горячего потоков.

В связи с вышеизложенным, исследование, заключающееся в экспериментальном определении параметров потоков, а также изменения максимальной удельной мощности электрического тока, генерируемого термоэлектрической генераторной установкой, при регулировании количественного соотношения потоков в вихревой трубе, является достаточно актуальным.

Результаты проведенных экспериментов

Из руководства по эксплуатации и [6] известно, что максимальная эффективность термического вихревого энергоразделения газа в используемой при экспериментах вихревой трубе достигается при давлении потока рабочего тела на входе в трубу, равном 6,9 бар.

В ходе исследований было принято решение о том, что значения параметров газообразных потоков воздуха и изменения максимальной удельной мощности генерируемого электрического тока при смене положения регулировочного винта будет осуществляться в условиях указанного давления.

Графические результаты проведенных экспериментов представлены на рис. 2 – рис. 6. На рис. 2 показаны графические зависимости значений температуры входного, горячего и холодного потоков при варьировании числа оборотов регулировочного винта.

На рис. 3 представлены графические зависимости давления горячего и холодного потоков от числа оборотов регулировочного винта.

На рис. 4 изображены графические зависимости значений объемного расхода холодного и горячего потоков от числа оборотов регулировочного винта.

На рис. 5 показаны графики изменения температуры холодного и горячего потоков на выходе из каналов термоэлектрической генераторной установки от числа оборотов регулировочного винта.

Экспериментальным путем было установлено, что значение максимальной удельной мощности электрического тока, генерируемого термоэлектрическими генераторными модулями, использующимися в установке, в представленных условиях составило 3,15 Вт на 1 м² поверхности каналов. Данное значение было получено при числе оборотов регулировочного винта, равном 2,5. По результатам измерений мощности был построен график изменения удельной мощности электрического тока, генерируемого термоэлектрической генераторной установкой в условиях изменения числа оборотов регулировочного винта вихревой трубы, представленный на рис. 6.

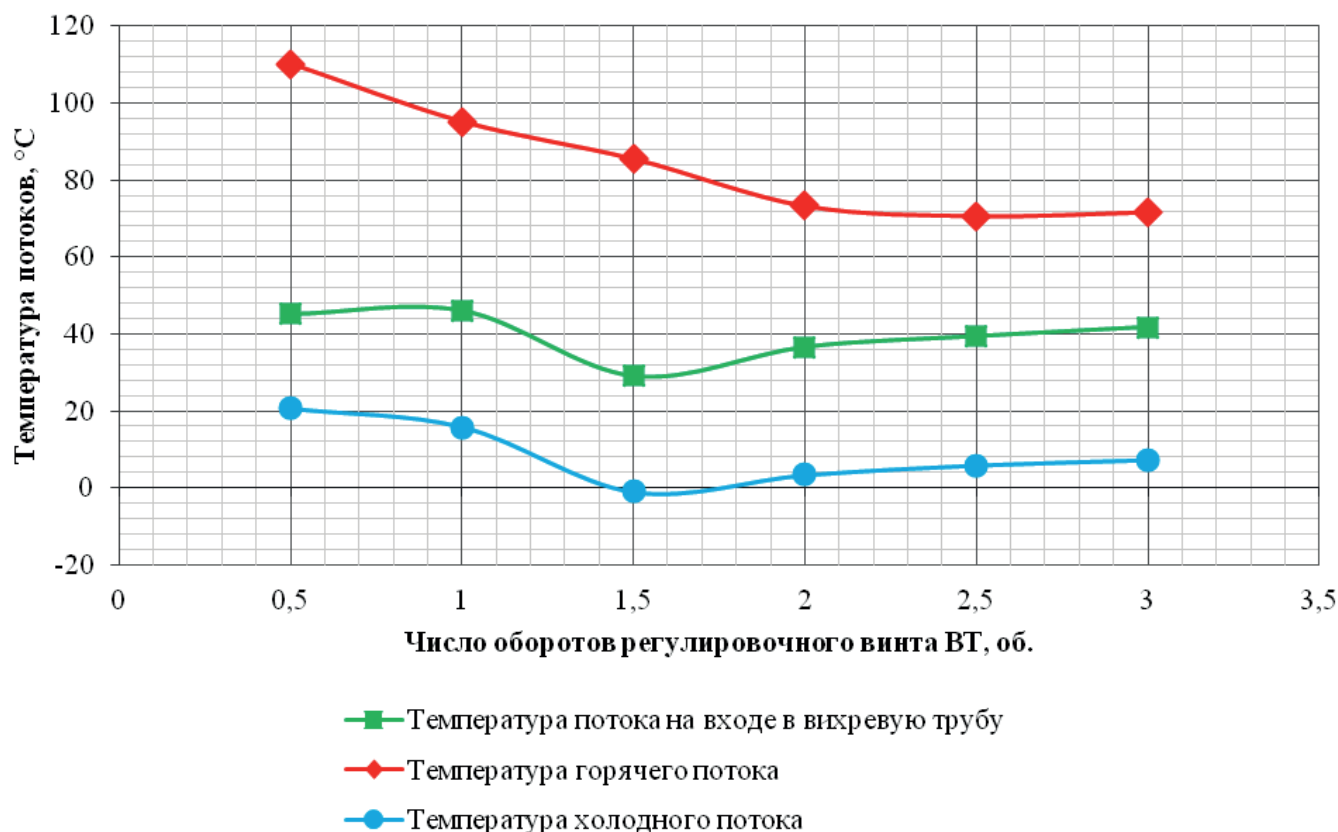


Рис. 2. Зависимость температур потоков от числа оборотов регулировочного винта вихревой трубы

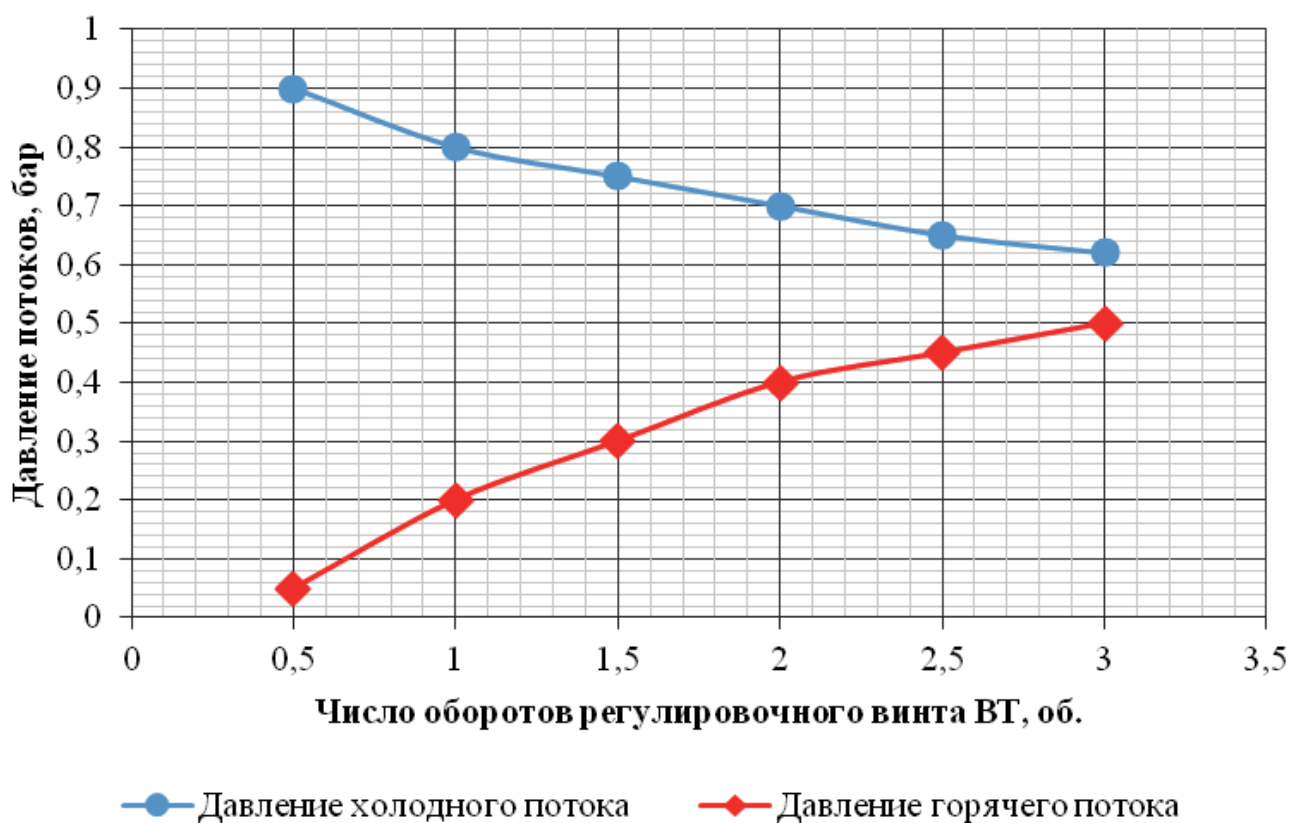


Рис. 3. Зависимость давления холодного и горячего потоков от числа оборотов регулировочного винта вихревой трубы

Выводы

Анализируя полученные графические зависимости, можно сделать вывод о том, что при достаточно слабом открытии проходного сечения горячего выходного участка вихревой трубы, соответствующего 0,5 оборотам регулировочного винта, имеются наивысшие значения разности температур, давления и объемного расхода между холодным и горячим потоками, а численные значения разности температур ΔT , давлений Δp , объемных расходов ΔQ при этом составляют $\Delta T=81,6$ °С, $\Delta p=0,85$ бар, $\Delta Q=50,9$ м³/ч. При дальнейшем открытии проходного сечения (повороте регулировочного винта в сторону раскручивания) происходит постепенное снижение разности указанных параметров до значений $\Delta T=56,4$ °С, $\Delta p=0,2$ бар, $\Delta Q=30,5$ м³/ч, что соответствует трем полным оборотам винта. При этом удельная мощность электрического тока, генерируемого термоэлектрическими генераторными модулями, возрастает до определенного максимума, соответствующего 2,5 оборотам винта. Также при открытии проходного сечения выходного участка горячего потока – от 0,5 до 2,5 оборотов регулировочного винта, выполня-

ется увеличение объемного расхода упомянутого потока на 13,4 м³/ч, причем его температура снижается на 39,5 °С, в следствие чего сокращается температурный перепад между холодным и горячим потоками рабочего тела.

Данный факт указывает на то, что в представленных условиях наибольшее влияние на эффективность генерации электроэнергии оказывают объемные расходы потоков. Однако в случае увеличения разности температур между ними и общем увеличении рабочего температурного диапазона эффективность будет значительно выше в связи с тем, что максимальный КПД генерации электрической энергии используемыми в установке термоэлектрическими генераторными модулями достигается в диапазоне температур +50/+150 °С.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенных экспериментальных работ удалось определить такие эксплуатационные параметры термоэлектрической генераторной установки, как температура, давление и объемный расход потоков рабочего тела, а также изменение максимальной удельной

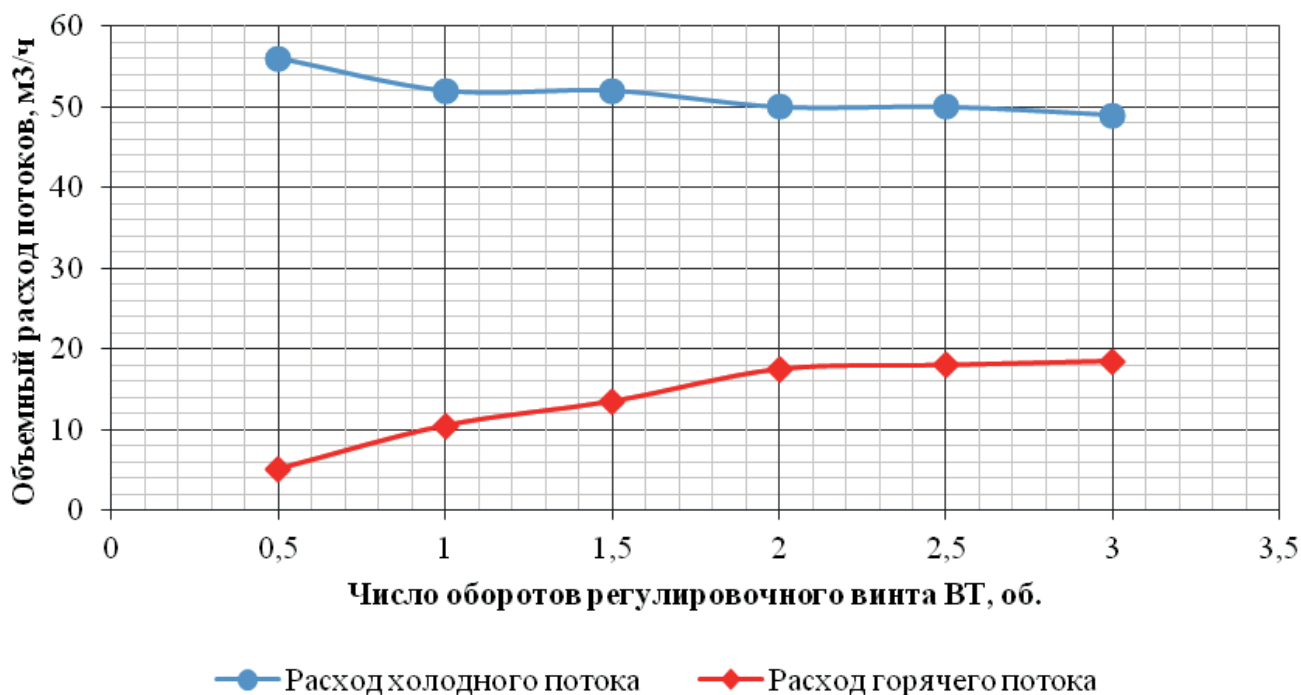


Рис. 4. Зависимость объемного расхода холодного и горячего потоков от числа оборотов регулировочного винта вихревой трубы

мощности генерируемого электрического тока в зависимости от положения регулировочного винта, позволяющего регулировать количественное соотношение холодного и горячего потоков, выходящих из вихревой трубы.

Список литературы

1. Научные положения и принципы проектирования, эксплуатации и вывода из эксплуатации источников генерации энергии для автономных потребителей малой мощности

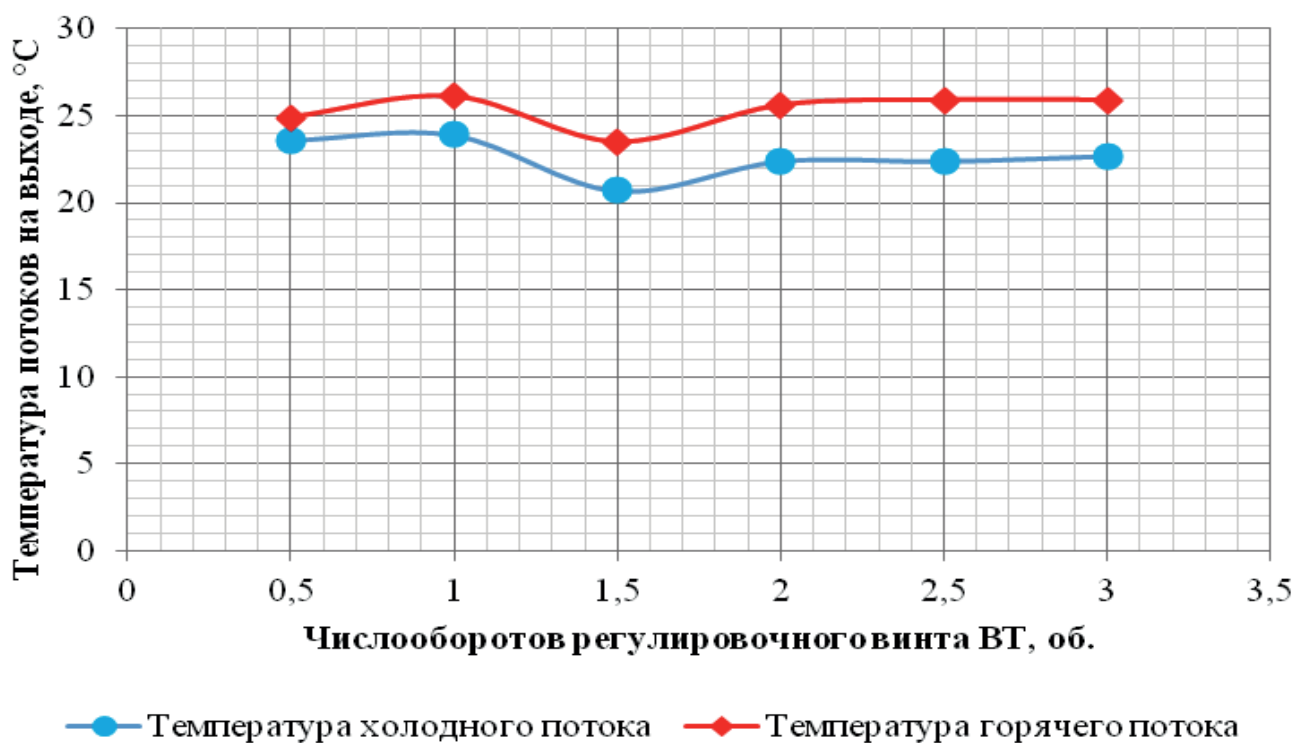


Рис. 5. Зависимость температуры потоков на выходе от числа оборотов регулировочного винта

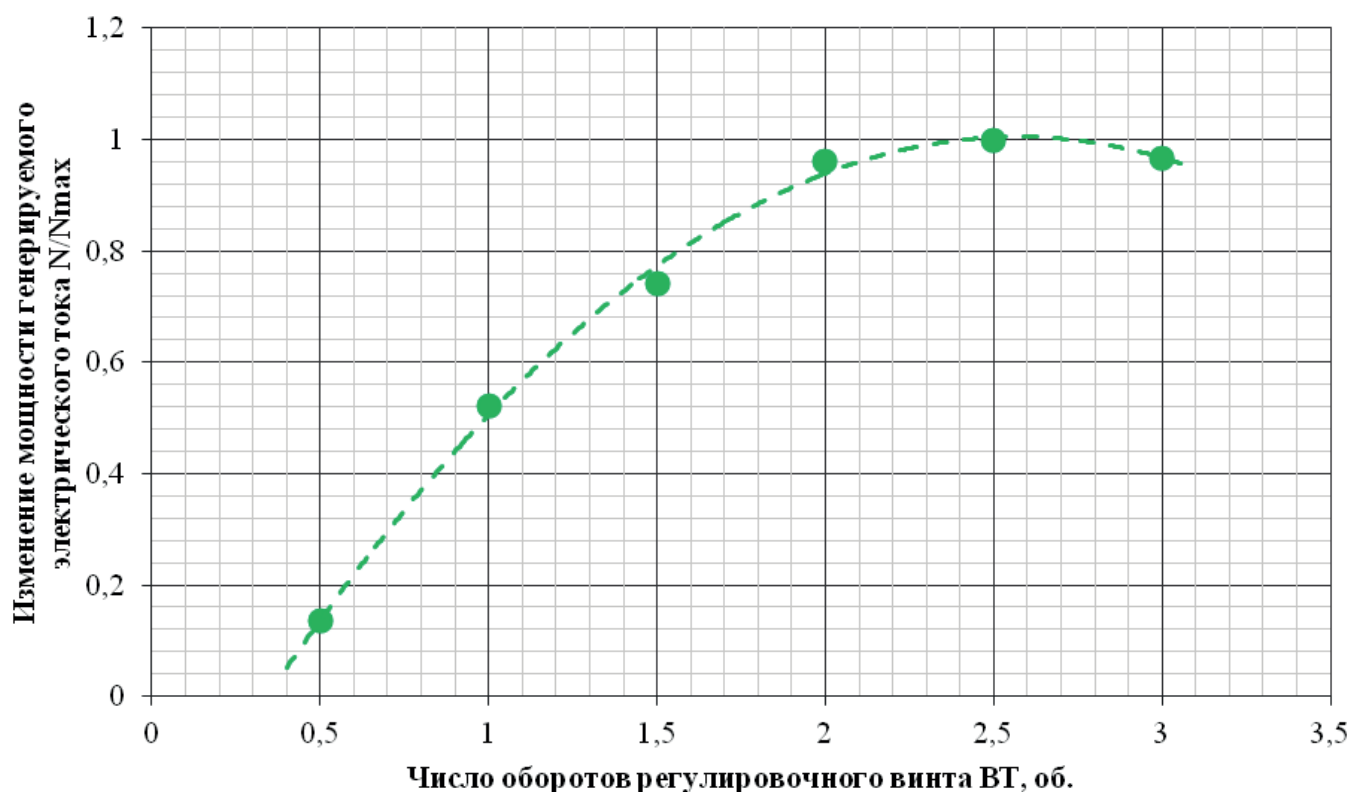


Рис. 6. Изменение удельной мощности генерируемого электрического тока в зависимости от числа оборотов регулировочного винта вихревой трубы

/ А. С. Григорьев, В. А. Карасевич, А. О. Пименов [и др.] // Наука и техника в газовой промышленности. – 2019. – № 2(78). – С. 92-103.

2. Создание экспериментальной электрогенерирующей установки с применением вихревого эффекта Ранка-Хилша / Д. А. Базыкин, В. А. Ильичев, В. В. Курасов, А. В. Бараков // Физико-технические проблемы энергетики, экологии и энергоресурсосбережения: труды 24-й научно-технической конференции, Воронеж, 16 июня 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. – С. 3-10.

3. Белоусов, А.М. Исследование возможностей повышения энергоэффективности вихревой трубы Ранка-Хилша / А.М. Белоусов, И.Х. Исрафилов, С.И. Харчук // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.7: в 2-х ч. Ч.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С.112-121

4. Chatterjee M., Mukhopadhyay S., Vijayan P.K. 1-D model for mass transfer calculation in vortex tube using heat and mass transfer analogy // American Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – Т. 4. – №. 1. – С. 1-24.

5. Орлов, А. Ю. Влияние конструктивных особенностей вихревых труб на параметры процесса термосепарации / А. Ю. Орлов, Н. В.

Орлова, М. В. Савушкин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19, № 3. – С. 619-624.

6. Chatterjee M., Mukhopadhyay S., Vijayan P.K. Experimental study of heat and mass transfer in Ranque-Hilsch Vortex tube // Int J Adv Res. – 2016. – Т. 4. – №. 7. – С. 667-674.

References

1. Scientific Provisions and Principles of Design, Operation, and Decommissioning of Energy Sources for Autonomous Low-Power Consumers / A. S. Grigoriev, V. A. Karasevich, A. O. Pimenov [et al.] // Science and Technology in the Gas Industry. - 2019. - No. 2 (78). - Pp. 92-103.

2. Development of an Experimental Electric Generating Plant Using the Ranque-Hilsch Vortex Effect / D. A. Bazykin, V. A. Ilyichev, V. V. Kurasov, A. V. Barakov // Physical and Technical Problems of Power Engineering, Ecology, and Energy Resource Conservation: Proceedings of the 24th Scientific and Technical Conference, Voronezh, June 16, 2022. - Voronezh: Voronezh State Technical University, 2022. - Pp. 3-10.

3. Belousov, A.M. Study of Possibilities of Improving the Energy Efficiency of a Rank-Hilsch

Vortex Tube / A.M. Beloussov, I.Kh. Israfilov, S.I. Kharchuk // Bulletin of Tula State University. Technical Sciences. Issue 7: in 2 parts. Part 2. Tula: Tula State University Publishing House, 2015. - Pp. 112-121

4. Chatterjee M., Mukhopadhyay S., Vijayan P.K. 1-D Model for Mass Transfer Calculation in a Vortex Tube Using Heat and Mass Transfer Analogies // American Journal of Heat and Mass Transfer. - 2017. - Vol. 4. - No. 1. - Pp. 1-24.

5. Orlov, A. Yu. Influence of design features of vortex tubes on the parameters of the thermal separation process / A. Yu. Orlov, N. V. Orlova, M. V. Savushkin // Bulletin of Tambov State Technical University. - 2013. - Vol. 19, No. 3. - P. 619-624.

6. Chatterjee M., Mukhopadhyay S., Vijayan P.K. Experimental study of heat and mass transfer in RanqueHilsch Vortex tube // Int J Adv Res. - 2016. - Vol. 4. - No. 7. - P. 667-674.

Сведения об авторе

Базыкин Денис Александрович – кандидат технических наук, ассистент кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, bazykin.denis@yandex.ru.

Дахин Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Россия, svdakhin@ya.ru.

About the author

Bazykin Denis Aleksandrovich – Ph.D, Assistant Professor, Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, bazykin.denis@yandex.ru

Dakhin Sergey Viktorovich – Ph.D, Associate Professor, Associate Professor, Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, svdakhin@ya.ru.

Дата поступления рукописи: 07.04.2026

Дата принятия рукописи: 05.06.2026