

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА РАНКА-ХИЛША

Базыкин Д.А., Ильичев В.А.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

Аннотация

Актуальность проведенных исследований заключается в разработке автономного источника электропитания на базе замкнутого органического цикла Ренкина с одновременным применением вихревого эффекта Ранка-Хилша, который может быть использован для эффективной генерации электрической энергии на объектах добычи, транспортировки, подготовки и переработки различных газов, в том числе на промышленных площадках, располагающихся в труднодоступных районах, значительно удаленных от централизованного электроснабжения, а также в районах с суровыми климатическими условиями. В статье рассмотрены основные положительные характеристики и недостатки уже существующих автономных энергоустановок, используемых в данной отрасли промышленности, а также устройство и принцип действия разработанного автономного источника электропитания, применение которого позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды ввиду отсутствия применения продуктов сгорания в технологическом цикле, тем самым повысить экологичность процесса выработки электрической энергии, свести к минимуму экономические затраты на топливо и обслуживание, а также повысить пожаро- и взрывобезопасность упомянутых объектов, также рассмотрен вариант конструкции автономного источника электропитания, включающего термоэлектрический генераторный модуль

Ключевые слова: источник электропитания, органический цикл Ренкина, вихревая труба, вихревой эффект, газ, термоэлектрический генераторный модуль, электрическая энергия, поток

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS POWER SUPPLY USING THE RANQUE-HILSCH VORTEX EFFECT

Denis Bazykin, Vitaliy Ilyichev

Voronezh State Technical University, Voronezh

Abstract

The relevance of the research is to develop an autonomous power source based on a closed organic Rankine cycle with the simultaneous use of the Ranque-Hilsch vortex effect, which can be used for the efficient generation of electrical energy at mining, transportation, preparation and processing facilities various gases, including at industrial sites located in hard-to-reach areas, significantly removed from the centralized power supply, as well as in areas with harsh climatic conditions. The article discusses the main positive characteristics and disadvantages of existing autonomous power plants used in this industry, as well as the design and operating principle of the developed autonomous power supply, the use of which will significantly reduce environmental pollution due to the lack of use of combustion products in the technological cycle, thereby increasing the environmental friendliness of the process of generating electrical energy, minimizing the economic costs of fuel and maintenance, as well as increasing the fire and explosion safety of the mentioned objects, a design option for an autonomous power supply, including a thermoelectric generator module, has also been considered

Keywords: power supply, organic Rankine cycle, vortex tube, vortex effect, gas, thermoelectric generator module, electrical energy, flow



Введение

В настоящее время на объектах добычи, транспортировки, подготовки и переработки различных газов, большое число которых располагаются в районах, значительно удаленных от централизованного энергоснабжения, существует значительная потребность в автономных энергетических установках. С целью обеспечения электрической энергией маломощного оборудования, контрольно-измерительных приборов, средств автоматики, применяющихся при добыче нефти и газа в труднодоступных районах, объектов электрохимической защиты трубопроводов используются автономные источники электропитания малой мощности.

Известно множество вариантов конструктивного исполнения таких энергоустановок. По принципу действия и используемым для обеспечения их работоспособности энергоносителям можно выделить несколько групп установок:

- энергетические установки, в которых в качестве рабочего тела, либо с целью нагрева рабочего тела используются продукты сгорания твердого, жидкого или газообразного топлива, например, газотурбинные, паротурбинные установки, дизельные генераторы, мини-ТЭЦ и др. [1-3]. Основным преимуществом таких установок является более высокий коэффициент полезного действия, по сравнению с остальными группами. К основным недостаткам установок данной группы относятся увеличение экономических затрат на используемое топливо, повышение пожаро- и взрывоопасности объекта, а также различного рода загрязнения окружающей среды продуктами сгорания;

- энергосистемы, работа которых основана на использовании возобновляемых природных источников энергии, например, ветряные, солнечные электростанции, тепловые насосные установки и т.д. [4, 5]. К преимуществам таких энергосистем относятся экологичность, отсутствие эксплуатационных затрат, простота конструкции. Основным недостатком является непосредственная зависимость эффективности данных установок от климатических условий, которая приводит к невозможности их применения в районах с суровым климатом;

- источники электрического питания, преобразующие потенциальную энергию потока газообразных или жидких сред в механическую, а затем в электрическую энергию, например, детандер-генераторные агрегаты, мини-ГЭС [6, 7]. Преимуществами данных источников являются экологичность и отсутствие эксплуатационных затрат. К недостаткам относятся сложность создания высокооборотных установок, длительный срок окупаемости, а также отсутствие стойкости лопаточных турбин к эрозионной активности рабочего тела;

- термоэлектрические источники электропитания на основе эффекта Зеебека [8]. К основным положительным особенностям термоэлектрических источников электропитания относятся простота конструкции и надежность эксплуатации, в связи с тем, что в конструкции отсутствуют движущиеся части, а также практически неограниченный ресурс. Недостатками являются низкая эффективность и малое количество вырабатываемой мощности при оптимальных размерах установки.

В связи с вышеизложенным, актуальность исследований заключается в разработке высокоэффективного автономного источника электрического питания для объектов добычи, транспортировки, подготовки и переработки различных газов, который позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды за счет отсутствия в технологическом цикле продуктов сгорания, тем самым повысив экологичность процесса, свести к минимальным значениям эксплуатационные экономические затраты, повысить пожаро- и взрывобезопасность объектов, а также обеспечить возможность производства электрической энергии в труднодоступных районах, в том числе с суровыми климатическими условиями.



Материалы и методы

В результате проведенных исследований по поиску оптимальной конструкции автономного источника электрического питания были разработаны несколько его принципиальных схем. При разработке особое внимание уделялось замкнутому органическому циклу Ренкина, хорошо известному и широко используемому в промышленности с целью утилизации низкопотенциального тепла, имеющему высокую эффективность. К основным преимуществам органического цикла Ренкина также относят отсутствие сложности обслуживания, полное автоматическое управление, использование в качестве рабочего тела в цикле органического вещества с более низкой, чем у воды, температурой кипения, возможность его эксплуатации в суровых климатических условиях, при значительно низких температурах наружного воздуха [9]. Более низкая температура кипения органического рабочего тела, используемого в цикле, способствует испарению рабочего тела при относительно низкой температуре, что в конечном итоге позволяет утилизировать низкопотенциальную энергию. При этом органический цикл Ренкина универсален и позволяет использовать различные источники тепловой энергии [10]. Также еще одной немаловажной особенностью установок на основе органического цикла Ренкина является длительный срок службы оборудования за счет относительно низкой частоты вращения турбины, а также низкой величины давления и температуры рабочего тела [11]. Принципиальная схема органического цикла Ренкина представлена на рис. 1.

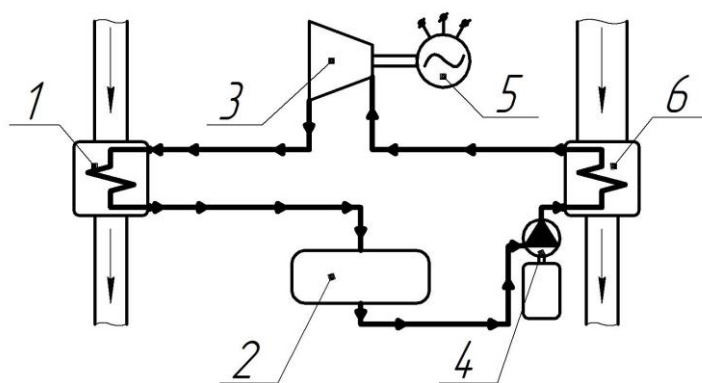


Рис. 1. Принципиальная схема органического цикла Ренкина:

1 – конденсатор; 2 – ресивер; 3 – турбина; 4 – насос; 5 – электрогенератор; 6 – испаритель

Несомненно важной является задача правильного выбора рабочего тела для органического цикла Ренкина. При выборе рабочего тела необходимо руководствоваться не только параметрами источника низкопотенциальной энергии, но и конечными габаритными, техническими характеристиками оборудования, входящего в состав органического цикла, а также экономическими соображениями [12-14].

Известно, что для обеспечения работоспособности замкнутого органического цикла Ренкина, а именно – для нагрева и газификации, а затем для охлаждения и конденсации рабочего тела, соответственно, в испарителе и конденсаторе, необходимы «горячий» и «холодный» потоки жидкого или газообразного вещества. Поэтому при проведении исследований немаловажной задачей являлся поиск оптимальных решений по получению данных потоков. Одним из решений поставленной задачи стало применение вихревой трубы, принцип действия которой основан на вихревом эффекте Ранка-Хилша, заключающемся в температурном разделении газа при его закручивании в цилиндрической или конической камере вихревой трубы. В настоящее время точная методика расчета вихревого энергоразделения, происходящего в вихревых трубах, в



зависимости от характеристик их проточных частей, еще не получена, поэтому основными методами изучения физических процессов, протекающих в вихревых трубах, являются экспериментальные исследования, а также численное моделирование [15]. Конструкция противоточной вихревой трубы представлена на рис. 2.

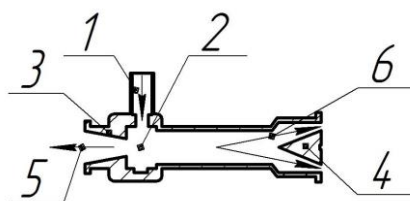


Рис. 2. Конструкция вихревой трубы:

1 – входной сопловой аппарат; 2 – камера терморазделения; 3 – отвод «холодного» потока; 4 – дроссельное устройство; 5 – «холодный» поток; 6 – «горячий» поток

Газ, имеющий высокое давление, поступает тангенциально во входной сопловой аппарат вихревой трубы, что способствует увеличению угловой скорости потока и приводит к созданию эффекта вихря, при этом поток газа разделяется на два закрученных потока с низким давлением, после чего поток газа, имеющий низкую температуру и располагающийся ближе к оси, направляется к «холодному» выходу, а поток газа, имеющий высокую температуру и располагающийся на периферии трубы, направляется к «горячему» выходу. Такая конструкция вихревой трубы носит название противоточной.

Положительными особенностями вихревой трубы являются конструктивная простота, отсутствие движущихся частей, малые габаритные характеристики, долговечность, отсутствие необходимости обслуживания.

При исследовании замкнутого органического цикла Ренкина было выяснено, что для обеспечения его оптимальной работоспособности требуется перепад температур между «горячим» и «холодным» потоками, не менее 70 °С. Промышленно используемые в настоящий момент вихревые трубы способны обеспечить указанный перепад при относительно небольших габаритных размерах. В работе [16] приведены сведения о достижении разности температур «горячего» и «холодного» потоков, равной 120 °С, при работе вихревой трубы на природном газе.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 приведена принципиальная схема разработанного автономного источника электропитания.

В состав разработанного автономного источника электропитания входят следующие элементы: 1 – вихревая труба; 2 – трубопровод «горячего» газа; 3 – трубопровод «холодного» газа; 4 – испаритель; 5 – конденсатор; 6 – ресивер, служащий для сбора и хранения органического рабочего тела; 7 – насос; 8 – турбина; 9 – электрогенератор. С целью дополнительного охлаждения органического рабочего тела, отработавшего в турбине, используются вентилятор 11 и радиатор 12, который закреплен перпендикулярно потоку воздуха, нагнетаемого вентилятором.

Принцип работы разработанного автономного источника электропитания состоит в следующем.

Поток газа, имеющего высокое давление, подается во входную камеру вихревой трубы 1, где поток закручивается и под действием вихревого эффекта происходит его температурное разделение на «горячий» и «холодный» отдельные потоки.



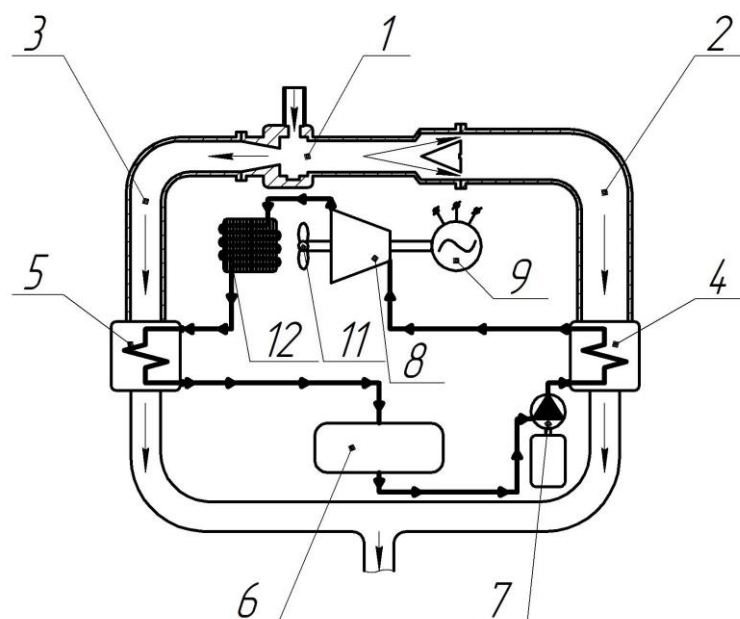


Рис. 3. Принципиальная схема автономного источника электропитания

«Горячий» поток газа по трубопроводу 2 поступает в испаритель 4 для нагрева и газификации органического рабочего тела, при этом «холодный» поток подается по трубопроводу 3 в конденсатор 5 с целью организации процессов охлаждения и конденсации рабочего тела органического цикла Ренкина, в котором органическое рабочее тело движется по замкнутому контуру. После выхода «горячего» и «холодного» потоков из, соответственно, испарителя и конденсатора, потоки газа объединяются и подаются в газопровод для прохождения дальнейшей технологической цепочки.

Работа замкнутого органического цикла Ренкина в разработанном автономном источнике электропитания осуществляется следующим образом. Рабочее тело из ресивера 6 посредством насоса 7 поступает в испаритель 4, где происходит его нагрев и газификация. Рабочее тело, имеющее газообразное состояние, из испарителя 4 подается на турбину 8, где происходит его расширение и, как следствие, преобразование внутренней энергии газообразного рабочего тела в кинетическую энергию вращающегося вала (механическую работу). Крутящий момент с турбины 8 передается ротору электрогенератора 9 и вентилятору 11, которые связаны с турбиной кинематически. Отработавшее на турбине рабочее тело подается в радиатор 12, где предварительно охлаждается воздушным потоком, поступающим от вентилятора 11. После прохождения радиатора 12 рабочее тело подается в конденсатор 5, где организуется процесс его окончательного охлаждения и конденсации. Вышедшее из конденсатора жидкое рабочее тело вновь поступает в ресивер 6. Далее все процессы происходят аналогично, по замкнутому циклу.

С целью увеличения коэффициента полезного действия установки, дополнительной генерации электрической энергии, было предложено применение в разработанном автономном источнике электропитания термоэлектрических генераторных модулей, принцип работы которых основан на термоэлектрическом эффекте Зеебека, заключающемся в образовании термо-ЭДС в местах соединения двух разнородных проводников в следствие поддержания разности температур контактов между ними [17]. Создаваемые вихревой трубой «горячий» и «холодный» потоки предлагается использовать с целью получения электрической энергии в термоэлектрическом генераторе. Полученное значение разности температур потоков газа позволит использовать термоэлек-

трические генераторные модули, выполненные из наиболее эффективных, с точки зрения получения термо-ЭДС, материалов, которые освоены в промышленности и имеют невысокую стоимость. Относительно невысокий коэффициент полезного действия термоэлектродгенератора компенсируется существенными техническими и экономическими положительными особенностями, такими как отсутствие эксплуатационных экономических затрат на топливо, а также длительным сроком службы и отсутствием необходимости периодического обслуживания.

Принципиальная схема разработанного автономного источника электропитания, дополнительно оснащенного термоэлектрическими генераторными модулями изображена на рис. 4.

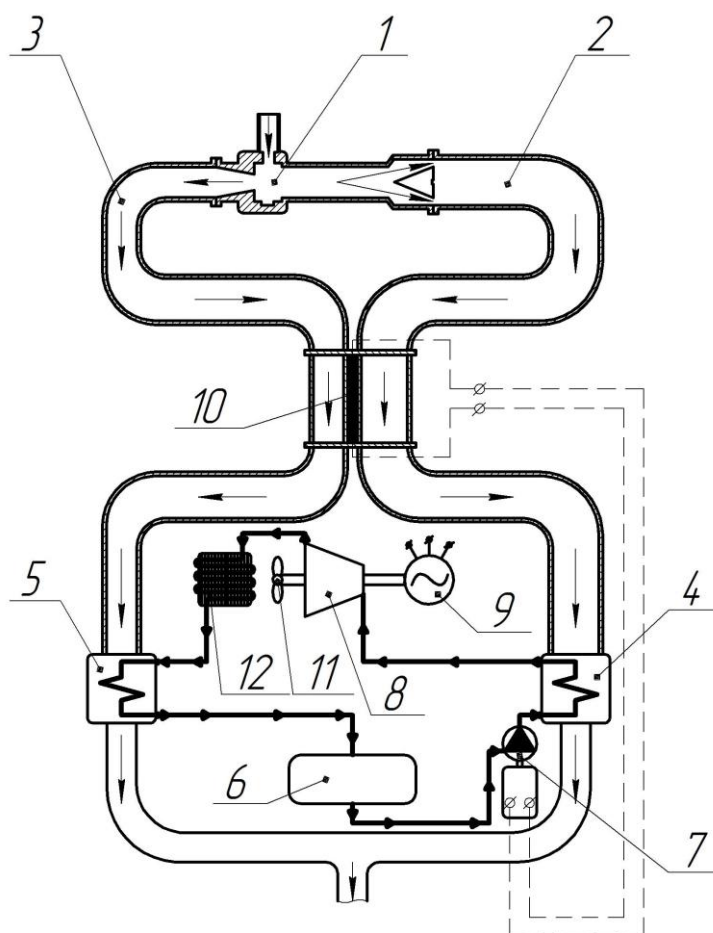


Рис. 4. Принципиальная схема автономного источника электропитания, оснащенного термоэлектрическими генераторными модулями

В представленном варианте исполнения разработанного автономного источника электропитания принцип действия отличается от описанного выше тем, что «горячий» и «холодный» потоки газа, вышедшие из вихревой трубы 1, поступают в соответствующие рабочие полости термоэлектрического генератора 10, который представляет собой два канала прямоугольной формы, между которыми установлены термоэлектрические генераторные модули, при этом «горячая» сторона термоэлектрических генераторных модулей обращена к каналу, в который поступает «горячий» поток газа от вихревой трубы, а «холодная» сторона – к каналу, в который поступает «холодный» поток газа от вихревой трубы.

Вырабатываемую в термоэлектрическом генераторе электроэнергию также можно использовать, как показано на рисунке 4, для обеспечения работоспособности насоса, входящего в состав замкнутого органического цикла Ренкина.



Выводы

В результате проведенных исследований разработан автономный источник электропитания на основе органического цикла Ренкина с применением вихревого эффекта Ранка-Хилша и термоэлектрического эффекта Зеебека. Разработанный автономный источник электропитания может быть использован для генерации электрической энергии на объектах добычи, транспортировки, подготовки и переработки различных газов, в том числе на объектах, располагающихся в труднодоступных районах, значительно удаленных от централизованного электроснабжения, а также в районах с суровыми климатическими условиями. Применение разработанного источника электропитания позволит значительно снизить загрязнение окружающей среды ввиду отсутствия продуктов сгорания в технологическом цикле, тем самым повысить экологичность процесса выработки электрической энергии, свести к минимуму экономические затраты на топливо и обслуживание, а также повысить пожаро- и взрывобезопасность объектов. Также в результате проведенных исследований подана заявка в Федеральную службу по интеллектуальной собственности на получение патента на изобретение.

Библиографический список

1. Zornek T., Monz T., Aigner M. Performance analysis of the micro gas turbine Turbec T100 with a new FLOX-combustion system for low calorific fuels // Applied Energy. 2015. – Vol. 159. – P. 276-284. DOI: [10.1016/j.apenergy.2015.08.075](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.075).
2. Bazykin D.A., Barakov A.V. Development of an autonomous power supply for oil and gas fields based on a gas turbine unit driven by an active-reactive turbine // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2021. – Vol. 1035. – P. 12003. EDN: [EYPLFD](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1035/1/012003), DOI: [10.1088/1757-899X/1035/1/012003](https://doi.org/10.1088/1757-899X/1035/1/012003).
3. Alford A., Nichol P., Frisby B. The Development of a Small High Speed Steam Microturbine Generator System // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2015. – Vol. 90. – P. 012067. DOI: [10.1088/1757-899X/90/1/012067](https://doi.org/10.1088/1757-899X/90/1/012067)
4. Чижма С.Н., Захаров А.И. Исследование имитационной модели автономной энергоустановки на возобновляемых источниках энергии // Промышленная энергетика. – 2020. – № 11. – С. 54-60. EDN: [NBQSYB](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007), DOI: <https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007>.
5. Автономная ветро-солнечная электростанция / П.Н. Кузнецов, Б.А. Якимович, М.Ю. Сперанский и др. // Advances in Science and Technology: Сб. ст. XXV межд. научно-практ. конф., Москва, 15 декабря 2019 года. – М.: Актуальность.РФ, 2019. – С. 117-119. EDN: [PIQSRP](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007)
6. Оценка энергетической эффективности применения детандер-генераторных агрегатов в системах с комбинированным производством тепла и электрической энергии / В.Я. Губарев, А.Г. Арзамасцев, А.И. Шарапов, А.Ю. Картель // Проблемы региональной энергетики. – 2018. – № 3(38). – С. 93-101. EDN: [CJSGLP](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007)
7. Конструкции мини-ГЭС / Д.В. Кадигроб, Д.В. Куплевацкий, М.В. Горт [и др.] // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: Тр. XI Всерос. научно-техн. конф.. – Оренбург: ОГУ, 2020. С. 32-39. EDN: [DBYWYT](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007)
8. Иброгимов Р.И. Термоэлектрические установки для электроснабжения потребителей малой мощности // Инновационные тенденции развития российской науки: мат-лы X Межд. научно-практ. конф. мол. ученых, посв. Году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ. – Красноярск: КГАУ, 2017. – С. 114-119. EDN: [YPGZEP](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007)
9. Карабарин Д.И., Михайленко С.А. Повышение энергоэффективности производства энергии в районах децентрализованной энергетики // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 10. – С. 81-86. EDN: [ZWHCYT](https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007)



10. Белов Г.В., Дорохова М.А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – № 2. – С. 99-124. EDN: [SGSLVP](#)
11. Янчошек Л., Кунц П. Органический цикл Ренкина: использование в когенерации // Турбины и дизели. – 2012. № 2. – С. 50-53. URL: <http://www.turbine-diesel.ru/node/4078>
12. On the role of working fluid properties in Organic Rankine Cycle performance / M.Z. Stijepovic, P. Linke, A.I. Papadopoulos, A.S. Grujic // Applied Thermal Engineering. – 2012. – Vol. 36. – P. 406-413. DOI: [10.1016/j.applthermaleng.2011.10.057](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.10.057)
13. Fluid selection and parametric optimization of organic Rankine cycle using low temperature waste heat / Z.Q. Wang, N.J. Zhou, J. Guo, X.Y. Wang // Energy. – 2012. – Vol. 40, Is. 1. – P. 107-115. DOI: [10.1016/j.energy.2012.02.022](https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.022).
14. Roy J.P., Mishra M.K., Misra A. Performance analysis of an Organic Rankine Cycle with superheating under different heat source temperature conditions // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88, Is. 9. – P. 2995-3004. DOI: [10.1016/j.apenergy.2011.02.042](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.042)
15. Белоусов А.М., Исрафилов И.Х., Харчук С.И. Исследование возможностей повышения энергоэффективности вихревой трубы Ранка – Хилша // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2015. – № 7-2. – С. 112-121. EDN: [VCQCHB](#)
16. Экспериментальное исследование термодинамической эффективности регулируемой вихревой трубы на природном газе / В. Бетлинский, М. Жидков, В. Овчинников, Д. Жидков // Нефтегазовые технологии. – 2008. – № 2. – С. 2-6. EDN: [IJOMFL](#)
17. Шостаковский П. Альтернативные источники электрической энергии промышленного применения на основе термоэлектрических генераторов // Компоненты и технологии. – 2013. – № 5(142). – С. 133-138. EDN: [PZFXJR](#)

References

1. Zornek, T., Monz, T., & Aigner, M. (2015). Performance analysis of the micro gas turbine Turbec T100 with a new FLOX-combustion system for low calorific fuels. *Applied Energy*, 159, 276-284. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.075>
2. Bazykin, D. A., & Barakov, A. V. (2021). Development of an autonomous power supply for oil and gas fields based on a gas turbine unit driven by an active-reactive turbine. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 1035, 12003. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1035/1/012003>
3. Alford, A., Nichol, P., & Frisby, B. (2015). The Development of a Small High Speed Steam Micro-turbine Generator System. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 90, 012067. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/90/1/012067>
4. Chizhma, S. N., & Zaharov, A. I. (2020). Issledovanie imitacionnoj modeli avtonomnoj energoustanovki na vozobnovlyaemyh istochnikah energii [Study of a simulation model of an autonomous power plant using renewable energy sources]. *Promyshlennaya energetika*, 11, 54-60. <https://doi.org/10.34831/EP.2020.94.76.007> [In Russian]
5. Kuznecov, P. N., Yakimovich, B. A., Speranskij, M. Yu, Smoktal, N. N., & Lavrenchuk, A. A. (2019). Autonomous wind-solar power station. In *Proc. of Advances in Science and Technology* (pp. 117-119). Aktual'nost'.RF. [In Russian]
6. Gubarev, V. Ya., Arzamascev, A. G., Sharapov, A., I., & Kartel, A. Yu. (2018). Ocenka energeticheskoj effektivnosti primeneniya detander-generatornyh agregatov v sistemah s kombinirovannym proizvodstvom tepla i elektricheskoy energii [Assessment of the energy efficiency of using expander-generator units in systems with combined heat and electricity production]. *Problemy regional'noj energetiki*, 3(38), 93-101. [In Russian]
7. Kadigrob, D. V., Kuplevackij, D. V., Gort, M. V., Fomichev, I. A., & Shaburov, P. O. (2020). Konstrukcii mini-GES [Mini-hydroelectric power station structures]. In *Proc of Energetika: sostoyanie, problema, perspektivy, Orenburg* (pp. 32-39). Orenburg State University. [In Russian]
8. Ibrogimov, R. I. (2017). Termoelektricheskie ustanovki dlya elektrosnabzheniya potrebitelej maloj moshchnosti [Thermoelectric installations for power supply to low-power consumers]. In *Proc.*



Innovacionnye tendencii razvitiya rossijskoj nauki (pp. 114-119). Krasnoyarsk State Agrarian University. [In Russian]

9. Karabarin, D. I., & Mihajlenko, S. A. (2017). Povyshenie energoeffektivnosti proizvodstva energii v rajonah decentralizovannoj energetiki [Increasing the energy efficiency of energy production in areas of decentralized energy]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 328(10), 81-86. [In Russian]
10. Belov, G. V., & Dorokhova, M. A. Organicheskiy cikl Renkina i ego primenenie v al'ternativnoj energetike [Organic Rankine cycle and its application in alternative energy]. (2014). *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*, 2, 99-124. [In Russian]
11. Yanchoshek, L., & Kunc, P. (2012). Organicheskiy cikl Renkina: ispol'zovanie v kogeneracii [Organic Rankine cycle: use in cogeneration]. *Turbiny i dizeli*, 2, 50-53. <http://www.turbine-diesel.ru/node/4078> [In Russian]
12. Stijepovic, M. Z., Linke, P., Papadopoulos, A. I., & Grujic, A. S. (2012). On the role of working fluid properties in Organic Rankine Cycle performance. *Applied Thermal Engineering*, 36, 406-413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.10.057>
13. Wang, Z. Q., Zhou, N. J., Guo, J., & Wang, X. Y. (2012). Fluid selection and parametric optimization of organic Rankine cycle using low temperature waste heat. *Energy*, 40(1), 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.022>.
14. Roy, J. P., Mishra, M. K. & Misra, A. (2011). Performance analysis of an Organic Rankine Cycle with superheat-ing under different heat source temperature conditions. *Applied Energy*, 88, 2995-3004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.02.042>
15. Belousov, A. M., Israfilov, I. H., & Harchuk, S. I. (2015). Issledovanie vozmozhnostej povysheniya energoeffektivnosti vihrevoj trubyy Ranka – Hilsha [Research on the possibilities of increasing the energy efficiency of the Ranque–Hilsch vortex tube]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 7-2, 112-121. [In Russian]
16. Betlinskij, V., Zhidkov, M., Ovchinnikov, V., & Zhidkov, D. (2008). Eksperimental'noe issledovanie termodinamicheskoy effektivnosti reguliruemoy vihrevoj trubyy na prirodnom gaze [Experimental study of the thermodynamic efficiency of a controlled vortex tube using natural gas]. *Nefte-gazovye tekhnologii*, 2, 2-6. [In Russian]
17. Shostakovskij, P. (2013). Al'ternativnye istochniki elektricheskoy energii promyshlennogo primeneniya na osnove termoelektricheskikh generatorov [Alternative sources of electrical energy for industrial use based on thermoelectric generators]. *Komponenty i tekhnologii*, 5(142), 133-138. [In Russian]

Сведения об авторах

Базыкин Денис Александрович, аспирант, , кафедра теоретической и промышленной теплоэнергетики, Воронежский государственный технический университет.

Ильичев Виталий Александрович, канд. техн. наук, доцент, кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела, Воронежский государственный технический университет»

Authors about

Denis Aleksandrovich Bazykin, graduate student, Voronezh State Technical University, Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering.

Vitaliy Aleksandrovich Ilyichev, Cand. of Tech. Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Business.

