



Актуальность создания отечественных энергетических комплексов на базе паровых поршневых машин

Рецензия эксперта на статью получена
15.03.2025 [The expert review of the article
was received on March 15, 2025]

Повышение энергетической эффективности оборудования, работающего в промышленности и агропромышленном комплексе, является одной из самых актуальных задач текущего времени. От решения этой задачи зависит пребывание России в ряду экономически развитых государств мира, а также повышение благосостояния граждан нашей страны.

Работы в направлении энергосбережения относятся к важнейшим стратегическим государственным задачам, при этом одновременно являясь актуальным и основным мероприятием по обеспечению энергетической безопасности различных объектов, а также одним из способов сохранения высоких доходов от экспорта углеводородного сырья.

Историческая справка

Следует начать с некоторых исторических сведений, которые так или иначе связаны с использованием человечеством энергии пара [1]. Паровая поршневая машина (ППМ) в общих чертах представляет из себя устройство, способное превращать

тепловую энергию в механическую. В качестве рабочего тела — носителя тепловой энергии — может выступать водяной пар с определёнными параметрами: температурой, давлением и расходом.

В мировой истории имеются упоминания об устройствах, использующих энергию пара для хозяйственных нужд человека. Одним из первых таких приборов является простейшая паровая турбина, состоящая из пустотелого металлического шара и двух согнутых под прямым углом трубок, выходящих из шара в двух диаметрально противоположных точках. Внутри данного пустотелого шара наливалась вода, которая нагревается от обычного костра из дров, щепок, древесной коры, соломы и т.п. Вода, нагревшись до температуры кипения, переходит в газообразное состояние, то есть в пар, который, выходя из согнутых трубок, заставляет этот шар вращаться. Данное устройство, изобретателем которого считается математик и механик Герон Александрийский (I век н.э.), является одним из первых «двигателей» на основе энергии пара.

УДК 621.17.013. Научная специальность: 2.4.5.

Актуальность создания отечественных энергетических комплексов на базе паровых поршневых машин

А. В. Разуваев, д.т.н., доцент, Почётный энергетик РФ, профессор на кафедре «Атомная энергетика», Балаковский инженерно-технологический институт (БИТИ) — филиал Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ) «МИФИ» (г. Балаково, Саратовская область); **И. Я. Редько**, д.т.н., профессор, Почётный энергетик Минэнерго России, вице-президент Национального союза энергосбережения (НСЭ)

В работе обоснована актуальность работы в направлении повышения энергоэффективности оборудования и дана краткая историческая справка с начала изобретения и последующего развития паровых поршневых машин для различного назначения. Показано становление и развитие в отечественной экономике локомотивов с паровым приводом. Приводятся их основные характеристики. Показана актуальность создания отечественных энергетических комплексов на базе паровых поршневых машин с учётом возможности их работы на возобновляемом и альтернативном топливе. Обоснована энергоэффективность их применения в эксплуатации, в том числе и для теплоснабжения объектов. Оценены основные результаты после внедрения их в экономику страны. Описана возможность создания теплоэнергетических комплексов в составе когенерационной установки для автономных объектов. Это направление соответствует требованию из списка приоритетных направлений научно-технологического развития «Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика».

Ключевые слова: паровая поршневая машина, multifunctional energy complex, возобновляемое и альтернативное топливо, экология.

UDC 621.17.013. Scientific specialty number: 2.4.5.

Relevance of creating domestic energy complexes based on steam piston machines

A. V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Honorary Power Engineer of the Russian Federation, Professor of the Department of Atomic Energy, Balakovo Institute of Engineering and Technology (BIET) — branch of the National Research Nuclear University (NRU) "MEPhI" (Balakovo city, Saratov region); **I. Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Power Engineer of the Ministry of Energy of the Russian Federation, Vice-President of the National Union of Energy Saving (NUES)

The paper substantiates the relevance of work towards improving the energy efficiency of equipment and provides a brief historical summary from the beginning of the invention and the subsequent development of steam reciprocating machines for various purposes. The formation and development of steam-powered locomotives in the domestic economy is shown. Their main characteristics are given. The relevance of creating domestic energy complexes based on steam piston engines is shown, taking into account the possibility of their operation on renewable and alternative fuels. The energy efficiency of their use in operation, including for heat supply of facilities, is substantiated. The main results after their introduction into the country's economy are evaluated. The possibility of creating thermal power complexes as part of a cogeneration plant for autonomous facilities is described. It is proved that this area meets the requirement from the list of priority areas of scientific and technological development "Highly efficient and resource-saving energy".

Key words: steam piston engine, multifunctional energy complex, renewable and alternative fuels, ecology.

Первые применения

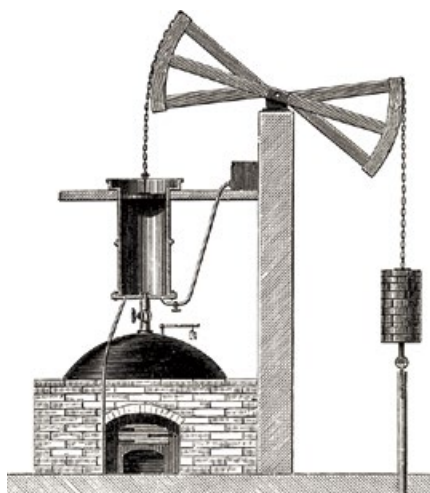
С начала нашей эры прошли столетия до той поры, когда паровая энергия стала объектом пристального внимания. Лишь с XVII века начинаются детальные исследования в области применения энергии пара. В это время было открыто давление окружающей среды и определена его величина, равная давлению ртутного столба высотой 760 мм (на уровне моря при 0°C).

В том же XVII веке начались первые масштабные разработки полезных ископаемых подземным способом. При этом самой трудоёмкой работой считалась откачка воды из глубоких шахт. Этим вопросом занимались европейские изобретатели Дени Папен (Denis Papin) и Томас Сэйвери (Thomas Savery), которые и стали создателями простой паровой машины для привода примитивного шахтного насоса.

В июле 1698 года англичанином Сэйвери был получен патент на машину для откачки воды из шахт. В нём говорилось: *«Жалуется привилегия Томасу Сэйвери за проведённое им одним испытание нового изобретения для подъёма воды, вращения любых видов мельниц путём сил огня, что будет очень важно для осушения шахт, снабжения городов водой и вращения всех видов мельниц».*

Со временем француз Дени Папен изобретает «папенов котёл» (по-современному — скороварку), в котором впервые был применён предохранительный клапан, что способствовало более быстрому приготовлению пищи при варке её в закрытой ёмкости на огне. В 1698 году тот же изобретатель создаёт паровую машину, в которой водяной пар двигает поршень. При этом сам Дени Папен являлся медиком по образованию.

Продолжая работы в этом направлении, англичанин Томас Ньюкомен (Thomas Newcomen) изучил принципы работы своих предшественников и совместно

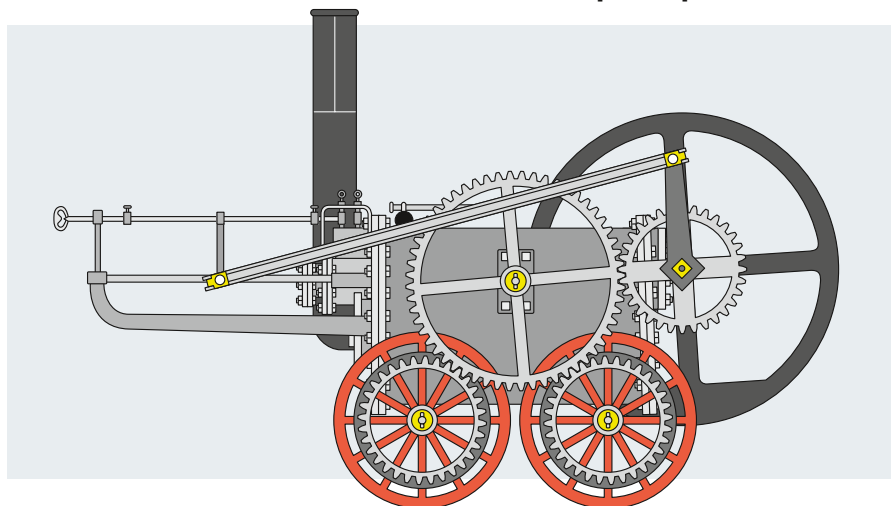


❖ Фото 1. Машина Ньюкомена

с Джоном Калли (John Calley) построил первую поршневую машину с вертикальным поршнем, что способствовало повышению её эффективности и производительности (фото 1). Эта машина выполняла ту же работу по откачиванию воды из шахты, но уже на более совершенном уровне, в частности, пар получали в отдельном устройстве.

Машина Ньюкомена была по принципу своего действия пароатмосферной, то есть поршень совершал полезную работу, опускаясь под действием атмосферного давления, а пар использовался только для того, чтобы при его конденсации в цилиндре создавалось разрежение. Подобная установка «съедала» много угля и потребляла много воды, которой дополнительно охлаждали цилиндр для скорейшей конденсации пара, однако приносила много практической пользы.

Совершенствование паровых поршневых машин шло в ногу с экономическим ростом и индустриализацией стран Европы. ППМ как приводы использовались во всё больших областях промышленности и даже на судном транспорте



❖ Фото 2. Самый первый «паровой локомотив» Puffing Devil Ричарда Тревитика 1801 года

Далее машины, использующие энергию пара для практической работы, в частности, для облегчения ручного труда человека, длительное время совершенствовались. Так, инженер и изобретатель Джеймс Уатт (James Watt) вместе с промышленником Мэтью Болтоном (Matthew Boulton) успешно модернизировали существующие паровые машины и строили новые, что оказалось широко востребовано в связи с назревающей в Англии промышленной революцией конца XVIII века. Например, для английской лёгкой промышленности потребовалось множество механических приводов для ткацких станков, и здесь укрощённая изобретателями энергия пара оказалась незаменимой.



❖ Фото 3. Паровоз 1890-х годов

Таким образом, вместе с экономическим ростом и индустриализацией в Европе шло и совершенствование паровых поршневых машин. Например, Уаттом была разработана машина на базе ППМ для привода прокатного стана. Далее энергетические установки на базе ППМ изготавливаются и ставятся уже на суда.

ППМ в качестве привода нашли применение в различных производствах и получили всё новое и новое предназначение (фото 2, 3). В 1804 году появляется первый в истории запатентованный рельсовый паровоз Pen-y-Darren, построенный британцем Ричардом Тревитиком (Richard Trevithick) на металлургическом заводе «Пенидаррен», — одноцилиндровый, с одной дымогарной трубой. Давление пара в котле достигало 0,28 МПа (2,8 бар), средняя скорость состава была 3,9 км/ч, а сцепной вес этого первого в мире поезда на локомотивной тяге составлял 6 тонн.

Отдельным этапом эволюции ППМ отмечается результат создания «паровой телеги», а точнее автомобиля с паровой машиной в качестве двигателя, созданного французом Никола-Жозефом Кюньо (Nicolas-Joseph Cugnot) в 1769 году.



❖ Локомотив Dorothy — восстановленный паровой каток 1914 года Clayton & Shuttleworth

Начало использования

Так шло время, и XVIII–XIX века прошли в работах по модернизации и совершенствованию ППМ в качестве привода для различных устройств и оборудования самого разного назначения.

Конечно, паровые машины не прошли мимо России. Следует отметить проект парового двигателя мощностью 1,8 л.с. изобретателя Ивана Ползунова, разработанный им в 1763 году и оценённый лично Екатериной II. Это устройство было первым в мире двухцилиндровым пароатмосферным двигателем с работой цилиндров на один общий вал. В 1764 году Ползунов создал второй проект — пароатмосферный паровой двигатель рекордной мощностью (32 л.с.) для надува плавильных печей, который был построен и использовался на Барнаульском сереброплавильном заводе. А 1830 год считается рождением первого парового автомобиля «Быстроход» Казимира Янкевича. Скорость «паромобиля» составляла 30 вёрст в час (около 32 км/ч). Продолжил эту работу крестьянин с инженерным даром — россиянин Фёдор Блинов, который в 1897 году получил патент «на особое устройство — вагон с бесконечными рельсами для перевозки грузов по шоссейным и просёлочным дорогам». Позднее это изобретение стало называться «гусеничным трактором с паровым приводом». Московский завод «Дукс», выпускавший велосипеды, перешёл на производство паромобилей и уже в 1902 году в городе Санкт-Петербурге стал призёром в номинации «по удобству и по управляемости» этого устройства.

На протяжении многих десятков лет велись работы в различных областях, в том числе по изобретению более совершенных источников движения для транспортных средств, и таким образом появились двигатели внутреннего сгорания (ДВС) — дизельные и бензиновые.

Наступило их время, и на автомобилях повсеместно стали применять ДВС, как более совершенные по многим параметрам устройства. Тем не менее, после Второй мировой войны, в связи с ограниченной возможностью производства жидкого топлива для ДВС, советские инженеры Юрий Шебалин и Николай Коротоношко вернулись к реализации проекта автомобиля с паровым двигателем [2]. Были разработаны грузовики моделей НАМИ-012 и НАМИ-018, на которых в качестве топлива применялись дрова или торф. Для этих автомобилей специально создали устройство подачи дров в горелку, и запаса такого «твёрдого топлива» хватало на 100 км хода. С учётом специфики машины данной модификации в основном применялись на лесозаготовках. Со временем этот проект был свёрнут в связи с развитием производства ДВС.

Отечественные разработки

В истории СССР были и локомотивы — это передвижная или стационарная машина, использующая в качестве энергетической установки паровой двигатель, преобразующий тепловую энергию топлива в механическую. Они были распространены в серийном производстве мощностью 20, 25 и 75 л.с. [3]. А в 1951 году в Советском Союзе крупносерийно производились передвижные локомотивы мощностью 25 л.с. марки П-25 (4ЛПП-20). В них

Паровые поршневые машины достойно выполняли свою роль при их эксплуатации на самых разных объектах. Но время всё-таки отдавало первенство ДВС, которые имели определённые преимущества перед ППМ, в частности, по удобству использования углеводородного топлива

использовались паровые котлы паровозного типа. Паровые двигатели — одноцилиндровые, с однократным расширением, с выбросом пара в атмосферу.

Вот некоторые основные характеристики того локомотива: число оборотов в минуту двигателя паровой машины — 300, удельный расход топлива [кг/(л.с.·ч)]: угля (с теплотворной способностью 7000 ккал/кг) — 1,4, дров (3000 ккал/кг) — 3,5, соломы (3500 ккал/кг) — 4–6; давление пара составляло 0,13 МПа (1,3 бар); паровой двигатель имел диаметр цилиндра 140 мм, ход поршня — 230 мм, вес без воды — 3250 кг.

Локомотивы такого типа в основном использовались в сельском хозяйстве для молотбы, а в стационарном исполнении — в качестве привода оборудования в мастерских и на мельницах, а также в насосных и маслобойных установках, для привода электрогенераторов и обеспечения электроэнергией. Основное достоинство применения этих паровых машин по сравнению с двигателями внутреннего сгорания — это возможность применения местных сортов топлива (угля, торфа, дров, соломы и ряда других).

Как показывает вышеописанный опыт применения паровых поршневых машин, они достойно выполняли свою роль при эксплуатации на различных объектах. Однако время всё-таки отдавало первенство ДВС, которые имели достаточно серьёзные и определённые преимущества перед ППМ, в частности, по удобству использования углеводородного топлива.

Учитывая современные реалии использования невозобновляемого ископаемого топлива и ограниченность его запасов на всём земном шаре, становится актуальной задача по разработке эффективных моделей и вариантов энергетических установок — и на их базе энергетических комплексов, работающих на альтернативном и возобновляемом топливе. Это позволяет сберечь углеводородное топливо и одновременно даёт возможность повысить энергетическую безопасность островных и автономных объектов при эксплуатации этих комплексов.

Учитывая исторический опыт эксплуатации паровых поршневых машин на различном оборудовании и транспортных средствах в самых разных странах, можно рекомендовать и рассматривать ППМ в качестве основы энергетических систем и комплексов в настоящее время. На сегодняшний день нет отечественного серийного производства ППМ, но это даёт возможность организации дополнительного расширения производства на любом машиностроительном заводе.

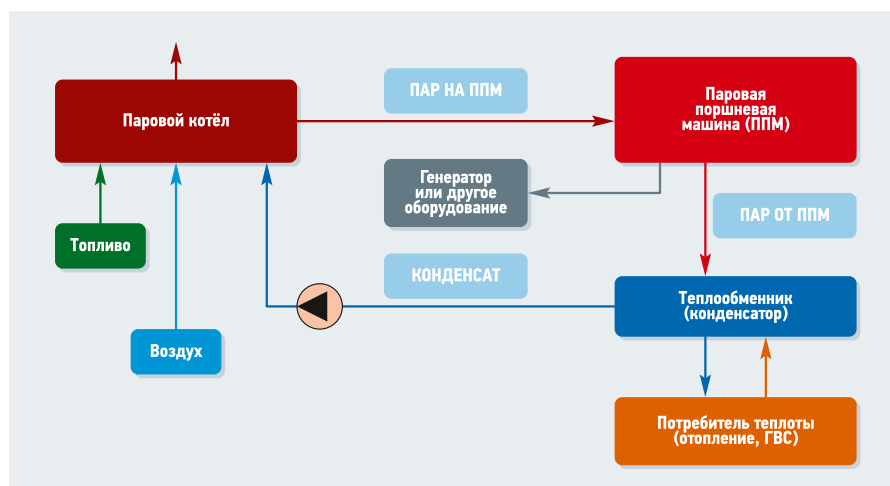


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема когенерационной энергоустановки на базе ППМ

Это позволит не только расширить номенклатуру производимых изделий в виде энергоэффективных энергокомплексов, но и при этом повысить занятость населения, поспособствует получению отчислений в бюджеты различных уровней.

Топливом для этих энергетических установок может быть биотопливо, производимое из различных растений, дрова, пеллеты, твёрдые бытовые отходы и другие вещества, способные к сгоранию. Это обстоятельство даёт возможность применить газогенераторную технологию, благодаря которой получается газогенераторный газ для использования его в качестве топлива в паровом котле.

Создание эффективных энергокомплексов

Все эти обстоятельства обосновывают актуальность и своевременность создания производства ППМ, что расширит номенклатуру машиностроительного производства и увеличит выпуск возобновляемого топлива, в том числе стимулирует увеличение объёмов работ в агропромышленном комплексе по производству биокультур, используемых для получения энергии.

Таким образом, все эти и другие работы по созданию ППМ и обеспечение их возобновляемым биотопливом расширит многие отрасли отечественной экономики и будет способствовать получению дополнительного дохода государством в виде налогов, а также повысит занятость населения. Одним из главных показателей эффективности этих мероприятий является возможность экономить невозобновляемое углеводородное топливо с одновременным решением экологических вопросов на территориях эксплуатации подобных энергетических комплексов.

На основании изложенного выше имеется ряд публикаций по этому направлению, которые позволяют детализировать

ряд вопросов, не представленные в данной работе. Так, анализ эффективности применения паропоршневой энергетической установки проведён в работе [4], работа газогенератора на твёрдых бытовых отходах описана в [5], актуальность применения паровых машин обоснована в работе [6], актуальность создания многофункциональных энерготехнологических комплексов на базе паропоршневых машин — в [7], обоснование актуальности применения возобновляемых топлив (в том числе биотоплива) в энергетических комплексах выполнено в работе [8], а вопросы создания многофункциональных энерготехнологических комплексов с проведением базового расчёта характеристик и параметров энергоустановок на базе ППМ рассмотрены в работах [9–11].

Кроме этого, учитывая изложенное выше в виде некоторого «задела» по реализации этого направления, сегодня проводятся работы по повышению энергоэффективности применения энергетических комплексов на базе ППМ в реальных условиях эксплуатации. Эти мероприятия предусматривают разработку и расчётные модели когенерационной установки и комплектующего оборудования энергетического комплекса на базе ППМ (рис. 1).

Эффективная энергоустановка

Применение такого энергокомплекса в режиме когенерации повышает его энергоэффективность и обладает рядом преимуществ: вырабатываемое вторичное тепло при производстве электрической энергии (или какой-либо механической энергии) не выбрасывается в атмосферу, а расходуется на нужды потребителя, повышая надёжность его тепло- и энергоснабжения, что снижает транспортные затраты на передачу тепловой энергии, обеспечивая возможность работы на возобновляемом или местном топливе.

Когенерационная установка состоит из основного оборудования: первичного двигателя в виде паровой поршневой машины для привода электрогенератора (или другого оборудования), системы утилизации и системы контроля, защиты и управления этой установкой.

Следует отметить ещё одно достоинство энергокомплекса на базе ППМ — это его возможность применения в качестве привода оборудования, например, компрессора для получения сжатого воздуха, насоса для обеспечения необходимого расхода жидкости или вместо электродвигателя, обеспечивающего вращение дисковой пилы на пилораме или движение конвейера в производственной линии и ряд другого оборудования.

Выводы

На основании вышеизложенного можно констатировать, что проводимые работы по проработке и последующей реализации этого проекта в полной мере соответствует требованию из списка приоритетных направлений научно-технологического развития «Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика» [12].

- History of the steam engine {История парового двигателя} [Электр. текст]. Wikipedia. Режим доступа: en.wikipedia.org. Дата обрац.: 28.01.2025.
- Мирошкин А. В топку! Самые интересные паровые машины всех времён [Электр. текст]. Motor от 06.08.2013. Режим доступа: motor.ru. Дата обрац.: 24.01.2025.
- Локомотив [Электр. текст]. «Библиотека по агрономии». Режим доступа: agrolib.ru. Дата обрац.: 25.01.2025.
- Разуваев А.В. Анализ эффективности паропоршневой энергетической установки // Вестник КРСУ, 2016. Т. 16. №9. С. 56–59.
- Попов С.С., Белобородов А.С., Разуваев А.В. Газогенератор на твёрдых бытовых отходах / Богатство России: Мат. Всерос. форума научной молодёжи (06–08.12.2017, г. Москва). — М.: Изд-во МГТУ, 2018. С. 272–273.
- Редько И.Я., Разуваев А.В. Актуальность применения паровых машин // Энергетик, 2019. №1. С. 27–30.
- Разуваев А.В., Редько И.Я. Актуальность создания многофункциональных энерготехнологических комплексов на базе паропоршневой машины // Журнал СОК. 2022. №2. С. 60–63.
- Разуваев А.В., Редько И.Я., Краснотудский Н.В., Костин Д.А. Актуальность применения возобновляемых топлив в энергетических комплексах // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2022. Т. 23. №3. С. 191–197.
- Редько И.Я., Разуваев А.В. К вопросу создания многофункциональных энерготехнологических комплексов // Энергия единой сети, 2023. №5–6. С. 80–85.
- Разуваев А.В., Толоконников М.А., Устинов Н.А. [и др.] Влияние различных коэффициентов полезного действия на расход пара и топлива в паровой машине // Вестник КРСУ, 2023. Т. 23. №12. С. 51–59.
- Редько И.Я., Разуваев А.В. Алгоритм разработки тематической модели многофункциональных энергетических комплексов на базе паропоршневых электростанций // Журнал СОК. 2024. №3. С. 64–67.
- Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоёмких технологий: Указ Президента РФ от 18.06.2024 №529.

References — see page 80.

Relevance of creating domestic energy complexes based on steam piston machines. Pp. 52–55.

A. V. Razuvaev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Honorary Power Engineer of the Russian Federation, Professor of the Department of Atomic Energy, Balakovo Institute of Engineering and Technology (BIET) — branch of the National Research Nuclear University (NRU) “MEPhI” (Balakovo city, Saratov region); **I. Ya. Redko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Power Engineer of the Ministry of Energy of the Russian Federation, Vice-President of the National Union of Energy Saving (NUES)

1. History of the steam engine. Wikipedia. Web-source: en.wikipedia.org. Access date: January 28, 2025. [In Russian]
2. A. Miroshkin. *V topku! Samye interesnye parovye mashiny vseh vremen* [Into the furnace! The most interesting steam engines of all time]. “Motor” of August 6, 2013. Web-source: motor.ru. Access date: January 24, 2025. [In Russian]
3. *Lokomobil* [Locomobile]. “Biblioteka po agronomii” [“Library of Agronomy”]. Web-source: agrolib.ru. Access date: January 25, 2025. [In Russian]
4. A. V. Razuvaev. *Analiz jeffektivnosti paroporshevoj jenergeticheskoy ustanovki* [Analysis of the efficiency of a steam piston power plant]. *Vestnik KRSU* [Bulletin of the Kyrgyz-Russian University]. 2016. Vol. 16. No. 9. Pp. 56–59. [In Russian]
5. S.S. Popov, A.S. Beloborodov, A.V. Razuvaev. *Gazogenerator na tverdykh bytovykh othodakh* [Gas generator on solid municipal waste]. *Bogatstvo Rossii: Mat. Vseross. foruma nauchnoj molodezhi (06–08.12.2017, g. Moskva)* [Proc. of the All-Russian Forum of Scientific Youth “The Wealth of Russia” (December 6–8, 2017, Moscow)]. Moscow. *Izd-vo MGUTU* [Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University]. 2018. Pp. 272–273. [In Russian]
6. I. Ja. Redko, A. V. Razuvaev. *Aktual’nost’ primenenija parovykh mashin* [Relevance of the use of steam engines]. *Jenergetik* [“Power Engineer” Magazine]. 2019. No. 1. Pp. 27–30. [In Russian]
7. A. V. Razuvaev, I. Ja. Redko. Aktual’nost’ sozdaniya mnogofunktsional’nykh jenergotekhnologicheskikh kompleksov na baze paroporshevoj mashiny [Relevance of the creation of multifunctional energy technology complexes based on a steam piston machine]. *Zhurnal Santechnika, Otoplenie, Konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2022. No. 2. Pp. 60–63. [In Russian]
8. A. V. Razuvaev, I. Ja. Redko, N. V. Krasnoludskiy, D. A. Kostin. *Aktual’nost’ primenenija vozobnovljajemykh topliv v jenergeticheskikh kompleksakh* [Relevance of using renewable fuels in energy complexes]. *Vestnik RUDN. Serija: Inzhenernye issledovaniya* [Bulletin of Peoples’ Friendship University of Russia. Series: Engineering Research]. 2022. Vol. 23. No. 3. Pp. 191–197. [In Russian]
9. I. Ja. Red’ko, A. V. Razuvaev. *K voprosu sozdaniya mnogofunktsional’nykh jenergotekhnologicheskikh kompleksov* [On the issue of creating multifunctional energy technology complexes]. *Jenergija edinoj seti* [“Energy of a Union Grid” Magazine]. 2023. No. 5–6. Pp. 80–85. [In Russian]
10. A. V. Razuvaev, M. A. Tolokonnikov, N. A. Ustinov et al. *Vlijanie razlichnykh koefitsientov poleznogo dejstviya na rashod para i topliva v parovoj mashine* [Influence of different efficiency factors on steam and fuel consumption in a steam engine]. *Vestnik KRSU* [Bulletin of the Kyrgyz-Russian University]. 2023. Vol. 23. No. 12. Pp. 51–59. [In Russian]
11. I. Ja. Redko, A. V. Razuvaev. Algoritm razrabotki matematicheskoy modeli mnogofunktsional’nykh jenergeticheskikh kompleksov na baze paroporshevykh jelektrostantsij [Algorithm for developing a mathematical model of multifunctional energy complexes based on steam piston power plants]. *Zhurnal Santechnika, Otoplenie, Konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2024. No. 3. Pp. 64–67. [In Russian]
12. *Ob utverzhdenii prioritnykh napravlenij nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya i perechnja vazhnejshikh naukoemkikh tekhnologij* [On approval of priority areas of scientific and technological development and a list of the most important science-intensive technologies]. *Ukaz Prezidenta RF ot 18.06.2024 No. 529* [Decree of the President of the Russian Federation No. 529 of June 18, 2024]. [In Russian]