

УДК 005.962      DOI: 10.14451/2.198.150

# К вопросу о целесообразности осуществления перехода на газопоршневую электрогенерацию малым и средним бизнесом

© 2024 Гальцев Артем Александрович

Директор по развитию и инвестициям. ООО «РТП», Московская область, Егорьевск, Лелечи.

E-mail: Art\_rtp@mail.ru

**Ключевые слова:** когенерация, электрическая энергия, газопоршневой двигатель, декарбонизация, энергетическая эффективность, предприятия среднего и малого бизнеса.

Цель статьи – исследовать целесообразность перехода малого и среднего бизнеса на газопоршневую электрогенерацию. Показано, что существующая ситуация в сфере электрообеспечения деятельности малого и среднего бизнеса обуславливает целесообразность их шагов на пути к самогенерации. Согласно разработанной методике, установка газопоршневой электрогенерации малым и средним бизнесом является экономически целесообразной при следующих условиях: потребность в энергии мощностью от 500 кВт, средние и малые размеры предприятия, достаточно энергоемкие производства, которые работают в 3 смены для обеспечения максимально равномерной загруженности на 80% и более, доступность природного, попутного, биогаза, свалочного газа и потребность в технической горячей воде, горячем паре или CO<sub>2</sub>.

## Введение

На сегодняшний день развитие процессов автономной выработки электрической энергии приобретает все большую актуальность по сравнению с централизованной схемой электроснабжения, когда электрическая энергия поставляется из централизованных источников – тепловых электрических станций. В рамках развития российского среднего и малого бизнеса целесообразность использования газопоршневой электрогенерации связана с оптимизацией процессов энергопотребления и, как следствие, с повышением общей эффективности производственной деятельности. Помимо наличия ряда эконо-

номических, технических и эксплуатационных преимуществ автономная электрогенерация также затрагивает немаловажные экологические и социальные аспекты, а именно способствует декарбонизации энергетической отрасли и замедлению процессов глобального потепления.

С экономической точки зрения, такие негативные факторы, как высокие затраты на электроэнергию от централизованных поставщиков, нестабильность цен на электроэнергию и тенденция к их ежеквартальному повышению, введение поправочных коэффициентов, отсутствие возможности прогнозировать и оказывать су-

ществленное влияние на издержки, связанные с тарифным регулированием, препятствуют возможности среднесрочного и долгосрочного производственного планирования. С технической точки зрения, ненадежности и нестабильность качества энергоснабжения, проблемы, связанные с технологическим присоединением к электрическим сетям, а также увеличением уже присоединенной мощности в виде длительных сроков согласования, высокой стоимости и участвовавших случаев отказов выступают непреодолимыми препятствиями на пути горизонтального масштабирования производства и, следовательно, создают явные предпосылки к поиску альтернативных независимых источников электроэнергии.

Решением этой проблемы может выступить система автономного электроснабжения и генерации. Её высокая эффективность, в том числе возможность реализации принципа совместного производства тепла и электроэнергии, низкие эксплуатационные расходы, минимальная потребность в техническом обслуживании, а также повышение надежности электроснабжения и снижение финансового и технического факторов зависимости от внешних поставщиков в совокупности создают инвестиционную привлекательность для внедрения [8]. Обеспечение электроэнергией при помощи собственной генерации решает ряд экономических, технических, эксплуатационных, экологических проблем в сравнении с централизованным обеспечением.

Именно поэтому для среднего и малого бизнеса инвестиционно привлекательно и перспективно внедрение комбинированного энергоснабжения, что наряду с системами централизованного электроснабжения предоставляет преимущества за счет диверсификации и надежности снабжения электрической энергией, уменьшение нагрузки на объединенную электросеть, уменьшение неравномерности загрузки электроэнергетической системы, усиление энерго-независимости предприятий.

**Цель статьи** – исследовать целесообразность

осуществления перехода на газопоршневую электрогенерацию малым и средним бизнесом, оценить технические, экологические, социальные особенности применения технологии, экономическую и инвестиционную привлекательность, провести сравнение с альтернативными решениями, а также оценку рисков при внедрении данной технологии; составить свод методических рекомендаций по выбору, проектированию, интеграции установок газопоршневой электрогенерации в существующую электросеть предприятия.

#### **Материалы и методы исследования**

В качестве материалов исследования выбрана газопоршневая электрогенерация малым и средним бизнесом. Оценивалась экономия условного топлива в случае установки на базе газопоршневых установок Jenbacher. Исследовались методы анализа, обобщения и систематизации научно-практической литературы по тематике перехода на газопоршневую электрогенерацию малым и средним бизнесом. Использованы расчетные методы оценки газопоршневой электрогенерации.

#### **Результаты и их обсуждение**

Российская Федерация имеет значительный потенциал для производства электрической энергии с использованием генерации как по электрогенерирующему, так и по теплогенерирующему направлению [1; 3; 5; 9; 10]. Газопоршневая когенерация создает пространство для масштабирования производств, снижает общую нагрузку на энергосети; весомыми аргументами в пользу технологии являются её надежность, простота реализации, экологичность и энергоэффективность, что в совокупности делает внедрение газопоршневых когенерационных установок малым и средним бизнесом экономически, технически и экологически обоснованной альтернативой централизованной сети. Повышение энергоэффективности способствует декарбонизации энергетической отрасли и замедлению процессов глобального потепления [4].

В современной России принят ряд законодательных актов в направлении когенерации, которые

делают ее приоритетной и законодательно урегулированной сферой деятельности [2; 7]. Но чрезмерное регулирование рынка энергетики, внедрение субсидий и льгот на цену единицы тепловой и электрической энергии, недостаточное использование зарубежного опыта экономического стимулирования развития когенерации приводят к низкой доле тепло- и электроэнергетики, производимых на электростанциях с комбинированным циклом производства.

Ниже на рисунке 1 представлена динамика минимального, среднего и максимального тарифов на электроэнергию в России в период 2019–2023 гг.

Коэффициент использования установленной мощности характеризует эффективность работы предприятий электроэнергетики. Он равен отношению среднеарифметической мощности к установленной мощности электроустановки за определенный интервал времени. Ввиду того, что этот показатель для энергосистемы РФ в целом упал с 55% в 2011 году до 53% в 2023 году, постоянно растет конечный тариф при росте нерыночных надбавок – в 2020 году они составили 124 миллиарда рублей, в 2023 году – уже 230 миллиардов рублей. Ниже на рисунке 2 представлена статистика перехода малого и среднего бизнеса России на системы самогенерации электроэнергии в период 2020–2023 гг.

Данные рисунка 2 свидетельствуют о том, что в России как для малого бизнеса, так и среднего, в исследуемый период стратегия перехода на самогенерацию электроэнергии стала одной из наиболее актуальных.

Внедрение газопоршневых когенерационных установок малым и средним бизнесом – реальная альтернатива общей сети и дизельным электростанциям, которая будет выгодна там, где имеется возможность подключиться к натуральному газу или есть попутный биогаз. Газопоршневые мини-станции в нашей стране уже работают порядка 20 лет при общем количестве их более 1000 шт.

Современные газопоршневые электростанции

мощностью 0,5 – 4 МВт выполняют роль автономного электроснабжения. Эти мини-электростанции успешно применяют в рамках энергообеспечения крупных, средних и малых промышленных предприятий, агрохолдингов, комбинатов угледобывающей и нефтегазовой промышленности, предприятий легкой и пищевой промышленности, а также компаний жилищно-коммунального сектора, офисных центров, объектов социальной инфраструктуры [6]. Если централизованное технологическое присоединение недоступно или крайне нестабильно, распределенная генерация на базе автономных источников является уникальным решением вопроса функционирования производственной системы [4]. Применяемые газопоршневые установки работают помимо натурального газа на любом другом, включая не только метан, но и биогаз, мусорный газ, а по принципу работы напоминают автомобильный двигатель. В 2010–2023 гг. в Россию, помимо новых агрегатов, были ввезены в том числе газопоршневые установки, бывшие в использовании. В 2023 г. в объеме импорта наибольшую долю занимали газопоршневые установки мощностью 501–1000 кВт. По импорту газопоршневых установок в 2023 г. в Россию в этой категории мощности лидировал GE JENbacher. Доли брендов газопоршневых установок в объеме импорта в 2023 г., % от стоимостного всего объема в 2023 г. в России показаны на рисунке 3.

Общеизвестно, что газопоршневые установки обеспечивают более высокую степень энергоэффективности по сравнению с газотурбинными и микротурбинными аппаратами. КПД газопоршневых установок составляет 40–45%, в то время как КПД газотурбинных установок – 33–39%, микротурбинных аппаратов – 35%. При этом газопоршневые установки позволяют преобразовывать до 90–95% газа в тепло- и электроэнергию, что за срок эксплуатации в 20–25 лет представляет значительно большую энергоэффективность.

Использование газопоршневых установок обеспечивает моментальный запуск и остановку,



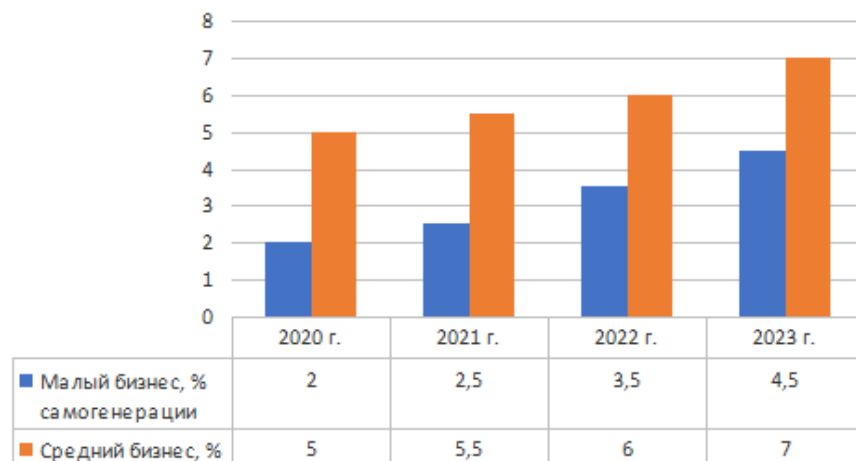
**Рис. 1.** Динамика минимального среднего и максимального тарифа на электроэнергию в России в период 2019–2023 гг., цена в руб/кВт·ч.

сверхбыстрый, с нулевым уровнем выбросов, холодный резерв и готовность к любым нештатным ситуациям в производственной энергосистеме, выполняя пуск локальной энергосистемы из холодного состояния. Для начала выдачи в систему электрической мощности газопоршневым электростанциям требуется лишь несколько минут с момента пуска до выхода в режим полной нагрузки. Они рассчитаны на выполнение многократных пусков и остановок практически одним нажатием кнопки и при этом не требуется дополнительного технического обслуживания.

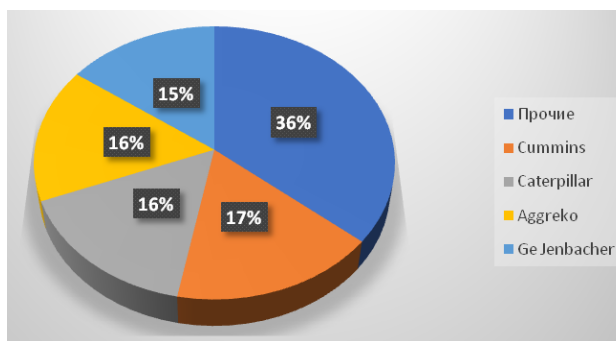
В условиях сильных морозов возможна установка системы подогрева цилиндров большей мощности и индивидуальной системы подогрева масла в поддоне картера. Многоблочная конфигурация станций обеспечивает показатели готовности и надежности, близкие к 100%, а также максимально возможную гарантированную мощность. Станции также позволяют оперативно отслеживать нагрузку и обеспечивать пиковую нагрузку с быстрой регулировкой частоты. Благодаря компактным размерам, низким уровням выбросов и шуму, газопоршневые станции можно без проблем размещать в непосредственной близости от объектов инфраструктуры, например, в городах, что позволяет значительно

снизить капитальные затраты на строительство энергосети.

Следует также отметить немаловажное преимущество газопоршневой электрогенерации в социальном аспекте, а именно реализацию принципа комбинированного производства тепла и электроэнергии, наличие в ходе работы газопоршневых установок побочного продукта – горячей воды, дальнейшее использование которой может также играть важную роль – обеспечение горячим теплоносителем систем местных котельных. Таким образом, в зимний период можно самостоятельно отапливать собственные производственные и складские помещения с наименьшими затратами, что дополнительно улучшает финансовую модель перехода на газопоршневую электрогенерацию. Кроме того, горячая вода, получаемая при работе газопоршневой установки, может быть использована в отоплении жилых и общественных зданий, социокультурных и спортивных объектов, например, для заполнения бассейнов и отопления физкультурно-спортивных комплексов, затраты на отопление которых с учетом их размеров составляют значительную статью расходов в осенне-зимний период. Все это становится осуществимым, благодаря компактным разме-



**Рис. 2.** Статистика перехода малого и среднего бизнеса России на системы самогенерации электроэнергии в период 2020–2023 гг., % самогенерации электроэнергии.



**Рис. 3.** Доли брендов газопоршневых установок в объеме импорта в 2023 г., % от стоимостного объема в 2023 г. в России.

рам установки газопоршневой электрогенерации, её экологической чистоте и минимальному шумовому загрязнению.

Несмотря на перечисленные преимущества, для полноты исследования при выборе технологии энергоснабжения необходимо сравнить газопоршневую электрогенерацию с альтернативными решениями, такими как:

1. Использование электроэнергии от централизованных поставщиков;
2. Установка солнечных батарей;
3. Применение ветрогенераторов;
4. Использование дизельных генераторов.

Сравнительный анализ должен учитывать факторы, такие как стоимость, надежность, экологическая чистота, технические возможности и прочие критерии.

Вышеприведенная таблица наглядно показывает преимущества газопоршневой электрогенерации в сравнении с солнечными батареями, ветрогенераторами и дизельными генераторами. Также стоит отметить, что угольные, атомные и гидроэлектростанции не рассматривались в качестве предлагаемых альтернативных решений, исходя из высокой стоимости проекта, большой мощности и, соответственно, невозможности их строительства малым и средним бизнесом.

Частичное или полное обеспечение собственных потребностей в электроэнергии предприятий малого и среднего бизнеса может осуществляться на базе когенерационных установок Jenbacher (табл. 1), работающих на природном газе с выбросами  $\text{NO}_x = 250 \text{ мг/м}^3$ .

Для определения целесообразности и эффективности внедрения самогенерации на основе

**Таблица 1.** Сравнительный анализ газопоршневой электрогенерации с альтернативными решениями.

Технология	Стоимость	Надежность	Экологичность	Негативные факторы
Газопоршневая электрогенерация	Средняя	Высокая	Средняя	Необходимость наличия устойчивого газоснабжения в необходимом объеме
Солнечные батареи	Высокая	Средняя	Высокая	Невозможность работы ночью, зависимость от погодных условий, громоздкий размер конструкции
Ветрогенераторы	Очень высокая	Средняя	Высокая	Трудности при согласовании проекта, нестабильность производства энергии, зависимость от погодных условий
Дизельные генераторы	Низкая	Низкая	Низкая	Необходимость наличия резервуаров с запасами топлива, крайне низкая экологичность, дополнительные расходы в виде платежей за негативное воздействие на окружающую среду

**Таблица 2.** Технические характеристики когенерационных установок на базе двигателей Jenbacher [5].

Марка	Jenbacher J208	Jenbacher J312	Jenbacher J412	Jenbacher J320	Jenbacher J416
Электрическая мощность, кВт	294	635	851	1067	1141
Электрический КПД, %	37,6	39,5	40,3	39,9	41,2
Тепловая мощность, кВт	410	766	979	1293	1362
Тепловой КПД, %	52,4	47,6	48,1	48,4	47,4

газопоршневых установок для малого и среднего бизнеса необходимо алгоритмически правильно подойти к оценке данного проекта.

В качестве главного критерия перехода на собственную генерацию электроэнергии при внедрении газопоршневой установки следует исходить из уровня рентабельности инвестиционного проекта. В этом аспекте следует принимать во внимание, что, во-первых, строительство подобных установок (с единичной электрической мощностью от 0,5 до 4,5 МВт, а в комбинации может достигать значительно больших показателей) не требует огромных капиталовложений. По сравнению с затратами на строительство новых электростанций, которые обходятся в \$3000 – \$5000 на 1 кВт мощности, удельная стоимость 1 кВт мощности предлагаемых газопоршневых когенерационных установок составляет \$500 – \$1000.

Во-вторых, учитывая разницу в себестоимости

электроэнергии и тепловой энергии, и тарифов монопольных поставщиков энергоносителей, действующих на энергорынке, использование газопоршневых когенерационных установок экономически эффективно, что делает их экономически привлекательными для промышленного потребителя. Расходы на проектирование, закупку, ввод в эксплуатацию и амортизацию подобных установок окупаются уже на 2–4 году, а в некоторых случаях и на первом году, эксплуатации при расчетном сроке службы оборудования 25–30 лет (180–192 тысяч часов работы).

Для оценки целесообразности осуществления перехода на газопоршневую электрогенерацию малым и средним бизнесом предлагается трехступенчатая методика.

Разработанная методика исходит из следующих параметров, при которых установка газопоршневой электрогенерации малым и средним бизнесом является экономически целесообразной:

- средние и малые размеры предприятий;
- потребность в энергии мощностью от 500 кВт;
- достаточно энергоемкие производства, которые работают в 3 смены для обеспечения максимально равномерной загруженности на 80% и выше;
- доступность природного, попутного, биогаза, свалочного газа;
- потребность в технической горячей воде и паре и/или холоде.

Методика оценки целесообразности осуществления перехода на газопоршневую электрогенерацию малого и среднего бизнеса:

#### 1. Оценка начальных инвестиций.

- Одним из ключевых компонентов расчета является начальная стоимость установки, включающая в себя затраты на покупку, транспортировку и установку оборудования.
- При оценке начальных инвестиций необходимо учитывать не только цену установки, но и дополнительные затраты на обучение, аттестацию, зарплату персонала, разработку системы безопасности, возможные последующие модернизации, страхование и налоги.
- Начальные инвестиции могут значительно варьироваться в зависимости от типа, мощности и параметров установки, а также от производителя, ввозных таможенных пошлин.
- Рекомендуется изучить государственные программы поддержки, субсидирования и льготного кредитования покупки экологичного оборудования. Использование этих программ может значительно снизить затраты на реализацию проекта и повысить его экономическую привлекательность.

#### 2. Оценка операционных расходов.

К операционным расходам относятся все затраты, связанные с эксплуатацией установки: расходы на топливо (газ), зарплата персонала, переаттестация, техническое обслуживание оборудования, система планово-предупредительного ремонта, амортизация,

страхование, расходы на систему безопасности. Эффективное управление ими позволяет минимизировать издержки и уменьшить срок окупаемости установки.

#### 3. Оценка экономии от использования установки.

Одно из главных преимуществ установки – это экономия, которую она обеспечивает благодаря эффективной генерации энергии. Это особенно актуально в условиях роста цен на электроэнергию и углеводородное топливо.

Для проведения детального анализа рекомендуется использовать финансовое моделирование, которое позволит оценить рентабельность и сроки окупаемости проекта за весь срок эксплуатации.

Для максимально эффективной реализации проекта по внедрению газопоршневой электрогенерации предлагается использовать разработанный практический алгоритм, приведенный ниже.

1. Провести тщательный анализ потребностей предприятия в электроэнергии и тепле, мощность газопоршневой электростанции должна соответствовать его потребностям в электроэнергии. При этом необходимо учесть следующие факторы: среднее и пиковое потребление электроэнергии, возможность использования электростанции для резервного электроснабжения, планы развития и масштабирования предприятия и, следовательно, потенциального увеличения потребности в электроэнергии.
2. На основе предыдущих параметров с привлечением технической комиссии определить оптимальный тип и мощность газопоршневой установки.
3. Разработать проект системы газоснабжения и интеграции газопоршневой установки в существующую электросеть предприятия, порядок монтажа и подключения ГПУ к электрической сети, требования к их эксплуатации и техническому обслуживанию. Получить все необходимые согласования и разрешения от соответствующих государственных органов.
4. Разработать систему безопасности эксплу-

атации газопоршневой установки, включая системы автоматического управления и аварийной сигнализации, систему планово-предупредительного ремонта. Определить требования к безопасности, надежности и экологичности.

5. Провести обучение и аттестацию персонала по эксплуатации газопоршневых установок и технике безопасности.
6. Разработать план мероприятий по управлению рисками, которые могут возникнуть при использовании газопоршневой электростанции. К основным рискам относятся: риск нестабильности цен на газ, риск поломки оборудования и необходимости его ремонта, риск изменения законодательства и регламентирования в области энергетики, несоответствие проектной мощности газопоршневой установки реальным потребностям, отсутствие достаточного опыта и квалификации персонала по эксплуатации. Для минимизации рисков рекомендуется использовать страхование оборудования, заключать долгосрочные контракты на поставку газа, обеспечить предприятие резервными источниками питания на случай поломки, своевременно проводить мероприятия по планово-предупредительному ремонту и аттестации персонала.
7. Изучить и использовать государственные программы поддержки и стимулирования. Эти программы могут предусматривать финансовые субсидии на покупку оборудования, налоговые льготы для предприятий, использующих газопоршневую электрогенерацию, предоставление льготных кредитов для финансирования проектов, разработку и внедрение стандартов и нормативных актов, стимулирующих использование газопоршневых установок. Изучение и использование этих программ может значительно снизить затраты на реализацию проекта и повысить его экономическую привлекательность.

Соблюдение вышеприведенных практических рекомендаций позволит максимально эффективно использовать газопоршневую электрогенера-

цию для снижения затрат на электроэнергию, повышения надежности энергоснабжения, а также достижения экологических и социальных целей.

### **Выводы**

Данная статья посвящена анализу целесообразности перехода малого и среднего бизнеса на газопоршневую электрогенерацию. В ней были рассмотрены технические, экологические, социальные преимущества, экономическая привлекательность, сравнение с альтернативными решениями, а также инвестиционное планирование и оценка рисков при внедрении данной технологии. Одновременно статья является методическим пособием, рассматривающим технические аспекты всех этапов выбора, проектирования, разработки системы безопасности и интеграции установки газопоршневой электрогенерации в существующую электросеть предприятия. Кроме того, представлен ряд практических рекомендаций по управлению рисками при внедрении технологии, по оценке начальных инвестиций, снижению затрат на реализацию проекта и повышению его экономической привлекательности, а также в статье приводится обзор государственных программ поддержки, стимулирования и льготного кредитования.

В целом, показано, что существующая ситуация в сфере электрообеспечения деятельности малого и среднего бизнеса обуславливает целесообразность шагов на пути к самогенерации. Из представленных возможных альтернатив газопоршневая электрогенерация представляет собой наиболее оптимальный вариант: с экономической точки зрения проект представляется инвестиционно привлекательным, учитывая разумный объем капитальных вложений, низкие операционные затраты и короткий срок окупаемости; технически газопоршневая установка надежна, автономна, не имеет сложностей в интеграции в существующую электросеть предприятия, равно как в техническом обслуживании и подборе персонала. Следует также отметить экологическую и социальную значимость выбранной технологии, которая способствует декарбонизации энергетической отрасли и замедлению процессов глобального потепления, а также реализует



принцип комбинированного производства тепла и электроэнергии: в ходе работы газопоршневых установок образуется побочный продукт – горячая вода, которая может быть использована в качестве горячего теплоносителя для нужд предприятия и близлежащей инфраструктуры, в том числе социально значимых объектов.

Согласно разработанной методике, условия, при которых установка газопоршневой электрогенерации малым и средним бизнесом является экономически целесообразной, следующие: потребность в энергии мощностью от 500 кВт, средние и малые размеры предприятий, достаточно энергоемкие производства, которые ра-

ботают в 3 смены для обеспечения максимально равномерной загрузки на 80% и более.

Помимо вышеупомянутого, газопоршневая электрогенерация создает пространство для горизонтального масштабирования производства и потенциального увеличения потребности в электроэнергии, весомыми аргументами в пользу технологии являются её надежность, простота реализации, экологичность и энергоэффективность, что в совокупности представляет внедрение газопоршневых когенерационных установок малым и средним бизнесом экономически, технически и экологически обоснованной альтернативой централизованной сети.

### Библиографический список

1. Губанов М., Киушкина В., Широков А. О создании фонда развития локальных энергосистем // ЭП. – 2023. – 9 (188). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-sozdanii-fonda-razvitiya-lokalnyh-energосistem> (дата обр. 19.06.2024).
2. Золотов В. П., Будкин А. В., Плисс А. А. Комбинированное производство тепловой и электрической энергии: состояние, перспективы // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2008. – 2 (22). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannoe-proizvodstvo-teplovoy-i-elektricheskoy-energii-sostoyanie-perspektivy> (дата обр. 19.06.2024).
3. Кромин Ю. В. Попутный газ топливо для газопоршневых ТЭЦ // Турбины и дизели. – 2007. – № 5.
4. Налбандян Г. Г., Жолнерчик С. С. Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности // CPPM. – 2018. – 1 (106). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klyuchevye-faktory-effektivnogo-primeneniya-tehnologiy-raspredelennoy-generatsii-v-promyshlennosti> (дата обр. 19.06.2024).
5. Новые российские разработки для оптимизации энергоперехода / В. Бушуев [и др.] // ЭП. – 2023. – 4 (182). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/novye-rossiyskie-razrabotki-dlya-optimizatsii-energoperehoda> (дата обр. 19.06.2024).
6. Потенциал применения газопоршневых двигателей зарубежных производителей на территории РФ / В. Д. Буров [и др.] // Турбины и дизели. – 2009. – № 3. – С. 28–33.
7. Томаров Г. В., Рабенко В. С., Буданов В. А. Мини-ТЭЦ на основе когенерационных технологий // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 2. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mini-tets-na-osnove-kogeneratsionnyh-tehnologiy> (дата обр. 19.06.2024).
8. Ховалова Т. В. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию // CPPM. – 2017. – 3 (102). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-effektivnosti-perehoda-na-sobstvennuyu-generatsiyu> (дата обр. 19.06.2024).
9. International Energy Agency (IEA), Energy Efficiency. – URL: <https://www.iea.org/reports/energyefficiency> (visited on 06/19/2024).
10. Roubaud A., Favrat D. Improving performances of a lean burn cogeneration biogas engine equipped with combustion prechambers // Fuel. – 2005. – Vol. 84, no. 16. – P. 2001–2007.