

УДК 621.311.23

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ГАЗОПОРШНЕВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ РЕЗКОПЕРЕМЕННЫХ
НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

А.В. Разуваев, Д.А. Костин, И.О. Кудашева, М.С. Губатенко

Приведены результаты исследования режимов работы и пути повышения эффективности газопоршневых электростанций в условиях резкопеременных нагрузок. Предложена система повышения эффективности работы газопоршневых электростанций, включающая в себя три основные структурные части: инвертор-стабилизатор (преобразование переменного тока в постоянный), участок постоянного тока с возможностью подключения дополнительных источников энергии, выходной инвертор (преобразование переменного тока в постоянный), выходной фильтр, трансформатор.

Ключевые слова: энергетическая установка; газопоршневой двигатель; генератор; электростанция; резкопеременная нагрузка.

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА СИСТЕМАСЫНЫН КЕСКИН АЛМАШУУЧУ
КҮЧ КЕЛТИРҮҮСҮНҮН ШАРТЫНДА ГАЗПОРШЕН ЭЛЕКТР
СТАНЦИЯЛАРЫНЫН ИШИНИН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУН ЖОГОРУЛАТУУ**

А.В. Разуваев, Д.А. Костин, И.О. Кудашева, М.С. Губатенко

Бул макалада кескин алмашуучу күч келтирүүнүн шартында газпоршен электр станцияларынын натыйжалуулугун жогорулатуу жолдорун жана иштөө режимин изилдөөнүн натыйжалары берилди. Үч негизги түзүмдүк бөлүктөрдү өзүнө камтыган газпоршен электр станцияларынын ишинин натыйжалуулугун жогорулатуу системасы сунушталды: инвертор-стабилизатор (туруксуз токтун туруктуу токко айландыруу), кошумча энергия булактарын кошуу мүмкүнчүлүгү менен туруктуу ток тилкеси, чыгуучу инвертор (туруксуз токтун туруктуу токко айландыруу), чыгуучу чыпка, трансформатор.

Түйүндүү сөздөр: энергетикалык түзүлүш; газпоршен кыймылдаткычы; генератор; электр станциясы; кескин алмашуучу күч келтирүү.

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF GAS-PISTON POWER PLANTS
IN CONDITIONS OF ABRUPT LOADS OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM**

A. V. Razuvaev, D. A. Kostin, I. O. Kudasheva, M. S. Gubatenko

The paper describes ways to increase the efficiency of gas-piston power plants under conditions of rapidly changing loads. The proposed system includes three main structural parts: inverter-stabilizer (AC to DC conversion), DC section with possibility of connection of additional energy sources, output inverter (AC to DC conversion), output filter, transformer.

Keywords: power plant; gas engine; generator; power plant; abruptly variable loads.

В настоящее время газопоршневые электростанции достаточно эффективно применяются для обеспечения энергоснабжения как нефте-

газовых и угледобывающих предприятий, так и промышленного сектора в целом, а также жилищно-коммунального хозяйства.

Дополнительным преимуществом энергоустановок подобного типа является возможность вырабатывать еще и тепловую энергию в виде горячей воды или пара за счет использования системы утилизации теплоты (СУОТ), отводимой от двигателя. Этот тип систем можно отнести к внешней утилизации теплоты, т. е. ее использования для нужд различных внешних потребителей, непосредственно не связанных с энергетическими установками на базе двигателей внутреннего сгорания. При этом общее количество теплоты от СУОТ складывается из теплоты от охлаждающего масла, от жидкости системы охлаждения, от выпускных газов. Эти составляющие теплового баланса имеют определенную зависимость от нагрузки на двигатель-генератор и вида применяемого топлива [1]. Еще одной особенностью таких систем является то, что наряду со значительным уменьшением выбросов вредных веществ с отработавшими газами, в газовых двигателях имеет место минимальное загрязнение поверхностей деталей цилиндропоршневой группы и газопускного тракта, а также теплоутилизационных поверхностей теплообменных аппаратов даже при работе на малых нагрузках [1].

Электрическая мощность энергоустановок также зависит от применяемого топлива. Основным топливом является природный газ – при работе на этом виде топлива они наиболее эффективны в плане вырабатываемой мощности. Однако в условиях, когда его применение невозможно или нецелесообразно альтернативой могут стать другие виды газа: биогаз или попутный газ от нефтяных скважин [2]. Основное отличие этих видов топлива друг от друга заключается в содержании метана. Газы, добываемые из чисто газовых месторождений, содержат более 95 % метана. Содержание метана на газоконденсатных месторождениях – 75–95 %. Газы, добываемые вместе с нефтью (попутный газ) представляют собой смесь метана, этана, пропанобутановой фракции (сжиженного газа) и газового бензина. Содержание метана – около 35–85 %. Содержание тяжёлых углеводородов в попутном газе 20–40 %, реже – до 60 %. В свою очередь, состав биогаза меняется в зависимости от способа получения и используемого сырья. Наибольшей стабильностью отличается биогаз, который вырабатывают с помощью биогазовых

установок посредством сбраживания сырья под действием бактерий. В качестве сырья используются органические отходы, а также мусорные и растительные отходы. В метановом разложении сырьевой массы участвуют гидролизные, кислотообразующие и метанообразующие бактерии. В процессе распада органических веществ на жиры, сахара и аминокислоты, взаимодействующие с метаногенными бактериями, образуется биогаз [2]. Содержание метана в биогазе колеблется в пределах 40–70 %. При этом при снижении доли метана в газе наблюдается и падение мощности электрической мощности, вырабатываемой генератором [2]. Иными словами, например, для попутного газа среднего состава (400–550 г/м³) метановое число находится в пределах 25–35 ед., при этом электрогенерационные агрегаты будут выдавать 33–48 % от заявленной мощности [2].

Поэтому при использовании в качестве топлива попутного газа или биогаза необходима его предварительная подготовка – очистка от механических примесей, аэрозольных составляющих, а также повышение метанового числа [2].

В свою очередь, установки с дизельными двигателями применяются, как правило, в тех случаях, когда затруднен подвод газовой магистрали к объекту, поскольку стоимость дизельного топлива существенно превышает стоимость газа [2].

Наибольшее распространение получили газопоршневые электростанции, генерирующие мощность до 4 МВт, в условиях работы как параллельно с централизованной системой электроснабжения, так и автономно. В представленном диапазоне генерируемых мощностей газопоршневые установки по сравнению с газотурбинными установками имеют более высокий коэффициент полезного действия, меньший удельный расход топлива на выработанный кВт·ч электрической энергии [3, 4]. Однако минимальный порог нагрузки газопоршневых электростанций составляет от 40 до 50 % номинальной мощности, что обусловлено достаточно высоким содержанием вредных выбросов в выхлопных газах при меньшей нагрузке, повышенным износом подвижных частей двигателя, снижением надёжности всей установки в целом.

С целью анализа работы газопоршневых агрегатов рассматриваются два режима работы –

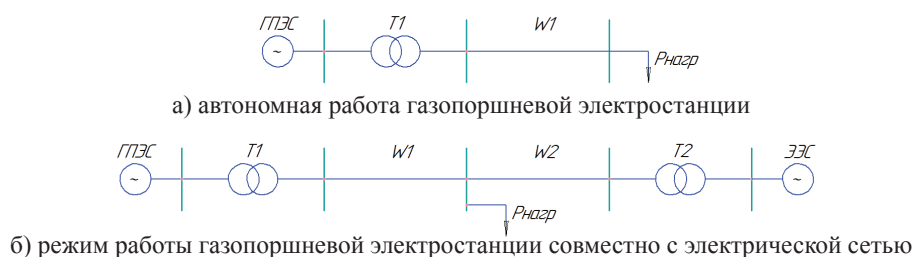


Рисунок 1 – Простейшие модели электроэнергетической системы

совместно с электроэнергетической системой и автономно (рисунок 1).

В качестве резкопеременной нагрузки для представленных случаев целесообразно рассмотреть, помимо обобщённой нагрузки, асинхронные двигатели, мощностью, соизмеримой с мощностью генераторов и дуговые сталеплавильные печи. Пуски асинхронных двигателей сопровождаются тяжёлыми переходными процессами, а дуговые сталеплавильные печи имеют частый кратковременный характер сброса и набора мощности (около шести циклов за 1,5 с) [5]. Именно в условиях резкопеременной нагрузки задача обеспечения допустимых номинальных режимов работы, динамической устойчивости газопоршневых электростанций является крайне актуальной.

По результатам существующих исследований переходных процессов при колебаниях мощности нагрузки в условиях параллельной работы газопоршневых установок с электроэнергетической системой большой мощности и автономной работе газопоршневых электростанций [5], можно сделать следующие выводы:

Резкопеременные броски мощности нагрузки компенсируются электроэнергетической системой большой мощности при параллельной работе с системой газопоршневой установки.

Автономная работа газопоршневой электростанции в условиях резкопеременных бросков мощности нагрузки практически невозможна в связи с невозможностью обеспечения допустимых номинальных режимов работы.

Параллельная работа газопоршневой электростанции с электроэнергетической системой не всегда возможна в силу ряда обстоятельств – аварийное отключение питающих линий электрической системы или невозможность прокладки линий электропередачи к месту расположения потребителей. Таким образом, помимо

современных систем управления газопоршневыми агрегатами, использование турбокомпрессоров (рационально при незначительных колебаниях мощности нагрузки) возможно рассматривать как меру обеспечения устойчивых режимов работы, использования дополнительных устройств, способных стабилизировать переходные процессы при резкопеременных бросках мощности нагрузок.

По результатам существующих исследований [6] предлагается система повышения эффективности работы газопоршневых электростанций, включающая в себя три основные структурные части: инвертор-стабилизатор (преобразование переменного тока в постоянный), участок постоянного тока с возможностью подключения дополнительных источников энергии, выходной инвертор (преобразование переменного тока в постоянный), выходной фильтр, трансформатор (рисунок 2).

При построении структуры системы учитывалась возможность подключения дополнительных устройств, возможно способствующих стабилизации переходных процессов при резкопеременных бросках мощности нагрузок, таких как: динамические источники бесперебойного питания, проточные аккумуляторные батареи.

Представленная модель генерации и потребления электрической энергии на основе газопоршневой электростанции отличается от существующей тем, что в ней предусмотрена реализация подключения ПАКБ, ДИПБ с целью демпфирования резкопеременных бросков мощности нагрузок (т. к. наличие конденсаторных батарей позволяет демпфировать колебания нагрузки по мощности до 20 %, что не удовлетворяет условиям наличия резкопеременных нагрузок), учитывается возможное наличие УПП АД и СТК ДСП. Такая модель позволит применять газопоршневые установки для автономного

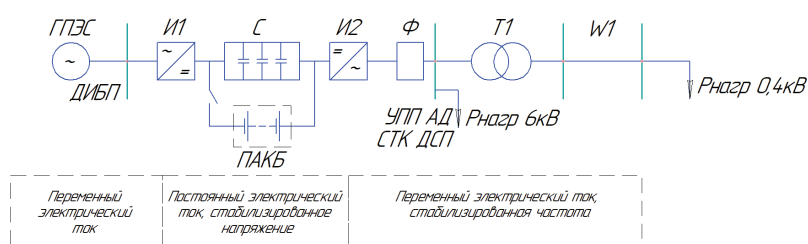


Рисунок 2 – Простейшая модель электроэнергетической системы:

ГПЭС – газопоршневая электростанция; ДИБП – динамический источник бесперебойного питания;

И1 – входной инвертор-стабилизатор; С – конденсаторные батареи;

ПАКБ – проточные аккумуляторные батареи; И2 – выходной инвертор;

Ф – выходной фильтр; УПП АД – устройство плавного пуска асинхронного двигателя;

СТК ДСП – статические тиристорные компенсаторы дуговой сталеплавильной печи;

Т1 – трансформатор; w1 – линия электропередачи

питания резкопеременных нагрузок мощностью, сопоставимой или близкой к сопоставимой с генерируемой.

В связи с этим, с целью установления необходимости и актуальности применения представленной модели, её оптимальной структуры необходимо рассматривать следующие основные направления исследования:

Выбор оптимального типа и конфигурации газопоршневой установки.

Оптимальный выбор динамического источника бесперебойного питания, конденсаторных батарей, проточных аккумуляторных батарей с учётом максимальных нагрузок газопоршневой установки.

Установление экономически эффективного решения и необходимости применения ДИБП, конденсаторных батарей, ПАКБ, либо совокупности газопоршневых установок в зависимости от номенклатуры нагрузок и их характеристик.

Моделирование и исследование режимов работы газопоршневой установки по представленной структуре, установление оптимальной структуры.

Проведение экспериментальных исследований на натуральных образцах.

Сопоставление теоретических и экспериментальных исследований, формирование рекомендаций по построению электроэнергетической системы на основе автономного питания от газопоршневой установки.

Литература

1. Костин Д.А. Метод расчета системы утилизации теплоты стационарной энергетической установ-

ки / В.М. Гребнев, А.В. Разуваев, Д.А. Костин // Двигателестроение. 2013. № 4. С. 37–41.

2. Костин Д.А. Эффективность применения энергетических установок на базе поршневых двигателей в энергетических комплексах: дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Костин. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2017. 153 с.

3. Буров В.Д. Возможности и преимущества газопоршневых установок в когенерационных автономных электростанциях [Электронный ресурс] / В.Д. Буров, А.А. Дудолин, В.В. Макаревич, Е.В. Макаревич. – URL: <http://www.manbw.ru/analytics/gazoporshnevyye-installations-cogeneration-autonomus-power-stations.html> (дата обращения: 04.03.2020).

4. Сравнение газотурбинной и газопоршневой установок: URL: <http://www.aerkom.ru/miniTES/sravnenie/> (дата обращения: 04.03.2020).

5. Кальм Н.А. Управление газопоршневыми агрегатами в условиях резкопеременной нагрузки электроэнергетической системы / Н.А. Кальм, Е.А. Николаева, А.Н. Беляев // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. №1 (190). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-gazoporshnevymi-agregatami-v-usloviyah-rezkoperemennoy-nagruzki-elektroenergeticheskoy-sistemy> (дата обращения: 04.03.2020).

6. Герасимов А. Дизель-генераторные электростанции: работа при переменной частоте вращения дизеля / А. Герасимов, В. Толмачев, К. Уткин // Новости электротехники. 2005. № 4 (34). URL: <http://news.elteh.ru/arh/2005/34/13.php> (дата обращения: 04.03.2020).