

## ВНЕДРЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ГАЗОПОРШНЕВЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК МОДУЛЬНОГО ТИПА В КАЧЕСТВЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматривается дополнительное электроснабжение промышленного предприятия за счет внедрения автономных газопоршневых генераторных установок модульного типа. В современных рыночных условиях и отсутствии плановой экономики колебания спроса-предложения и, соответственно, флуктуации уровня мгновенной производственной мощности предприятия-производителя и потребления им электроэнергии могут быть весьма существенными. Кроме этого, при росте тарифов на магистральную электроэнергию одним из альтернативных решений становится собственная генерация электроэнергии. Для крупных предприятий схема электроснабжения может разделяться на базовую (снабжение от магистральной сети) и дополнительную (снабжение от локального генерирующего источника, который изначально устанавливается как модульный, с регулированием установленной мощности). Такой подход является универсальным для предприятия, поскольку при отключении электроэнергии данный генерирующий объект играет роль источника бесперебойного питания, а в течение стабильного электроснабжения помогает сэкономить ресурсы предприятия. Тем не менее экономический расчет такого дополнительного источника электроснабжения, как показывает практика, порой вызывает сложности для предприятия, в связи с чем решено опубликовать практический анализ газопоршневой генераторной установки модульного типа. Для анализа эффективности внедрения таких установок выбрано оборудование с распространенными характеристиками. Согласно проведенному анализу, когенераторные установки могут работать в параллельном режиме с основным источником энергоснабжения. Мобильность модулей позволяет за короткий промежуток времени перегруппировать состав комплектной трансформаторной подстанции (КТП), тем самым изменив ее установленную мощность. Кроме того, использование системы когенерации может быть особенно актуально на промышленных предприятиях, где необходимо осуществлять горячее водоснабжение и отопление производственных объектов и административно-бытовых помещений. Проведенные расчеты показывают, что использование газопоршневых установок для производства электроэнергии и тепла не только повышает надёжность системы электроснабжения, но и является более экономичным подходом, чем закуп энергетических ресурсов у сетевых снабжающих организаций по общим региональным тарифам. Предложенный подход может использоваться для оценки эффективности энергоснабжения от энергогенерирующих мощностей на основе возобновляемых источников.

**Ключевые слова:** газопоршневые установки, электрическая энергия, электроснабжение, параллельная работа источников питания.

### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим фактором любого современного промышленного предприятия является качество выпускаемой продукции, при современной экономике все процессы строятся вокруг опыта взаимодействия клиента с компанией и его непрерывного совершенствования. Использование сложных непрерывных процессов производства профильной и непрофильной продукции является показателем высокотехнологичного современного производства, и, как любое передовое производство, оно должно иметь надёжное электроснабжение. Именно гарантия непрерывного электроснабжения, минимизация возможности появления аварийных режимов, повышение качества параметров отпускаемой электроэнергии помогают обеспечить все необходимые качества для передового промышленного производства.

На сегодняшний день металлургические предприятия Челябинской области являются одними из крупнейших промышленных предприятий в России [1]. Производство на предприятиях данного типа – это обширный производственный цикл, от переработки сырья и подготовки заготовок, до выпуска разноплановой готовой продукции, аналогов некоторых позиций которой нет в мире. Получение качественной готовой продукции

требует значительных электро- и энергозатрат.

В большинстве случаев электроснабжение промышленного предприятия осуществляется по нескольким независимым вводам 110 кВ, которые, в свою очередь, подразделяются ещё и на цепи. Данное решение позволяет обеспечить возможность полного электроснабжения предприятия от любой из подстанций, при нештатных режимах работы [2]. Однако все линии 110 кВ – это элементы одной большой сети, и при возникновении крупных аварий на более высоких уровнях напряжения параметры всех источников питания, независимо от цепей и отдельных вводов, могут привести к остановке производства, появлению брака, недоотпуску продукции, как следствие, к экономическим потерям, потерям престижа компании.

Исходя из этого, наиболее актуальным является вопрос изыскания возможностей повышения качества отпускаемой электроэнергии для нужд производства за счёт использования дополнительного, независимого от общей сети источника питания, без выдачи мощности в сеть 110 кВ, а также определение экономического эффекта за счёт возможности выработки электроэнергии собственным источником питания.

В настоящее время имеется много материалов об автономной работе газопоршневых генераторных установок, чего нельзя сказать о параллельной работе газопоршневых агрегатов с общей сетью электроснабжения,

имеющей бесконечно большой запас мощности по сравнению с ограниченными номинальными значениями мощности ГПГУ, поэтому изучение параллельных режимов работы является наиболее актуальной задачей [3].

#### ПРИЧИНЫ ВЫБОРА ГАЗОПОРШНЕВЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

По данным Росстата, баланс электропотребления за 2019 г. в Российской Федерации складывается из баланса производства электроэнергии 38,4 тыс. электростанций, действующих на территории страны [4].

Общий объем производства электроэнергии составил почти 1,081 млрд кВт·ч (90 % к уровню 2018 г.). Структура установленной мощности электростанций по типам и принадлежности приведена на рис. 1 и 2.

Процент электрической энергии, производимой промышленными предприятиями, достаточно велик по сравнению с транспортными или сельскими организациями, но всё равно несравнимо мал по сравнению с электростанциями общего пользования, а ведь именно от выработки электроэнергии и установки тарифа сетевыми организациями зависят многие промышленные предприятия [5].

Согласно территориальным особенностям Уральского Федерального округа большая часть производства электрической энергии приходится на ТЭС. Структура производства электроэнергии приведена на рис. 3.



Рис. 1. Структура установленной мощности электростанций Российской Федерации по типам станций в 2019 г.

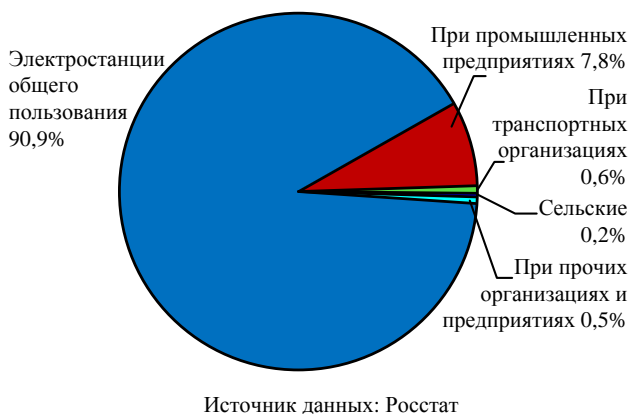


Рис. 2. Структура установленной мощности электростанций Российской Федерации по их принадлежности в 2019 г.

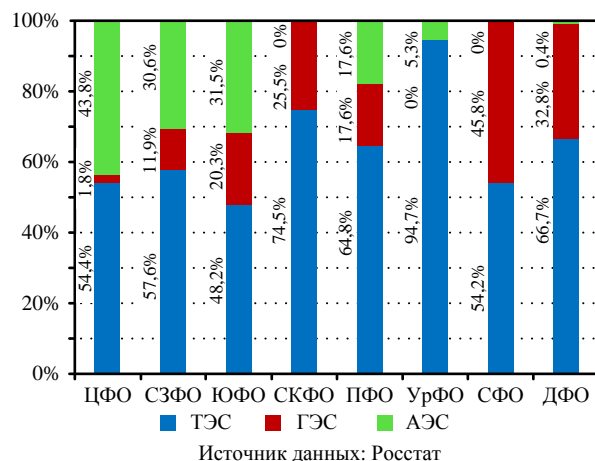


Рис. 3. Структура производства электроэнергии по типам электростанций в федеральных округах Российской Федерации в 2017 году, % от выработки на территории ФО

Подавляющее большинство производимой в РФ электрической энергии производится на станциях, которые объединены в Единую энергетическую систему (ЕЭС) России, создавая тем самым для потребителей, подключённых к сети, практически неиссякаемый запас по мощности [6].

Поэтому в данной статье предлагается в виде дополнительного источника питания промышленного предприятия рассмотреть среднестатистические газопоршневые установки модульного типа, объединённые между собой в комплекс по производству электрической и тепловой энергии (ТЭС), поставляемые известной международной компанией, специализирующейся на мобильном энергоснабжении промышленных предприятий, а также предприятий нефтехимической и нефтегазовой отрасли, имеющие следующие характеристики [7]:

- двигатель Cummins QSK60G;
- генератор Stamford / Leroy Somer;
- панель управления DEIF;
- возможность подключения систем мониторинга SCADA;
- максимальная мощность: 1100 кВт на природном газе;
- номинальная мощность: 1000 кВт на природном газе;
- напряжение 0,4 кВ;
- частота 50 Гц;
- трансформатор 0,4/6,3 кВ до 22 кВ, 50 Гц;
- автономные модули с коммутационной аппаратурой и встроенной защитой;
- установленная мощность трансформаторов 6,3 МВА (2×3,15).

Основными преимуществами данного типа установок являются:

- быстрый монтаж/демонтаж оборудования, отсутствует необходимость полноценного развертывания капитального строительства;
- мобильность модулей ГПГУ, существует возможность за короткий промежуток времени перегруппировать состав КТП, тем самым изменить установленную мощность КТП;

– использование системы когенерации, что может быть особенно актуальным на промышленных предприятиях, где необходимо осуществлять горячее водоснабжение и отопление производственных объектов и административно-бытовых помещений. Так как тепловая энергия является побочным продуктом производства электрической энергии, тепловая энергия является, по сути, бесплатной. Это может в значительной степени сократить затраты на закуп и производство (энергоресурсы и фонд оплаты труда персонала эксплуатирующим оборудование по производству тепловой энергии) тепловой энергии предприятием [8];

– при комплектации энергетических комплексов современным автоматическим управлением и системами контроля возможна параллельная работа с общей сетью электрической энергии, без выдачи вырабатываемой генераторными установками мощности в сеть, что снимает с предприятия ряд сложных юридических обязательств коммерческого рынка электроэнергии.

Преимущества модульных газопоршневых установок ещё и в том, что текущий ремонт электрооборудования до 1 кВ производится на месте его установки службой эксплуатации. Капитальный ремонт силовых трансформаторов и распределительного оборудования 6 кВ может осуществляться на ремонтных предприятиях региона, а при наличии соответствующего подразделения и на территории предприятия. В организации масляного хозяйства на территории энергетического комплекса нет необходимости. На период проведения ремонтных работ со всеми ГПГУ собственные нужды энергокомплекса могут получать питание от ГПП, для чего может быть предусмотрена установка двух трансформаторов СН в ЗРУ 6кВ. Переключение на резервный источник осуществляется действиями обслуживающего персонала.

#### ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ И ВВОДА В ПАРАЛЛЕЛЬНУЮ РАБОТУ

Объектом внедрения дополнительного источника питания может являться любое промышленное предприятие Челябинской области, чьё суточное электропотребление измеряется десятками МВт, так как именно от планируемого объёма необходимой производству электроэнергии гарантирующим поставщиком определяется тариф за 1 кВт·ч, что в дальнейшем весьма важно при определении экономической эффективности мероприятия по введению дополнительных источников питания.

Также следует сразу исключить возможность полного ухода в островной режим, при котором полностью исключается потребление мощности из сети, так как промышленные предприятия имеют большую динамику по загрузке производства, и в пиковых значениях забора мощности из сети могут в разы превышать установленную мощность дополнительных источников питания, которая определяется согласно усреднённым значениям архивных данных за долгосрочный период. Поэтому рассматриваемый источник питания (энергетический комплекс) принимается как дополнительный и, соответственно, предназначен для дополнительного электроснабжения промышленного предприятия с установленным ограничением по мощности.

Работа энергокомплекса осуществляется параллельно сети электроснабжения промышленного предприятия 6 кВ от ГПП.

В разных режимах работы энергокомплекса может предусматриваться дозапитка электропотребителей от основной сети 110/6 кВ, то есть при потреблении предприятием менее установленного уровня мощности дополнительных источников – питание идет полностью от энергокомплекса со ступенчатым снижением мощности, если же потребление превышает установленную энергокомплексом мощность – остаток мощности потребляется с сети 110 кВ через ПС ГПП.

Регулировка мощности энергокомплекса представлена в виде принципиальной схемы автоматики на **рис. 4**, осуществляется по условию недопущения выдачи избыточной мощности в сеть 110 кВ, для этого на вводных присоединениях ГПП устанавливается группа приборов, контролирующих направление и объем передаваемой мощности.

Функция автоматики, обеспечивающая исключение выдачи мощности в сеть, реализуется на контроллерах типа AGC4 MAINS, AGC4 Genset. Сетевой контроллер в автоматическом режиме управления формирует команду автозапуска генераторным контроллерам и задает им уставку, мощности представлены в формулах (1)–(3).

$$P_{\text{зад}} = P_{\text{имп}} - P_{\text{зад,имп}}; \quad (1)$$

$$P_{\text{ген}} = P_{\text{зад}} < \sum P_{\text{ном}}; \quad (2)$$

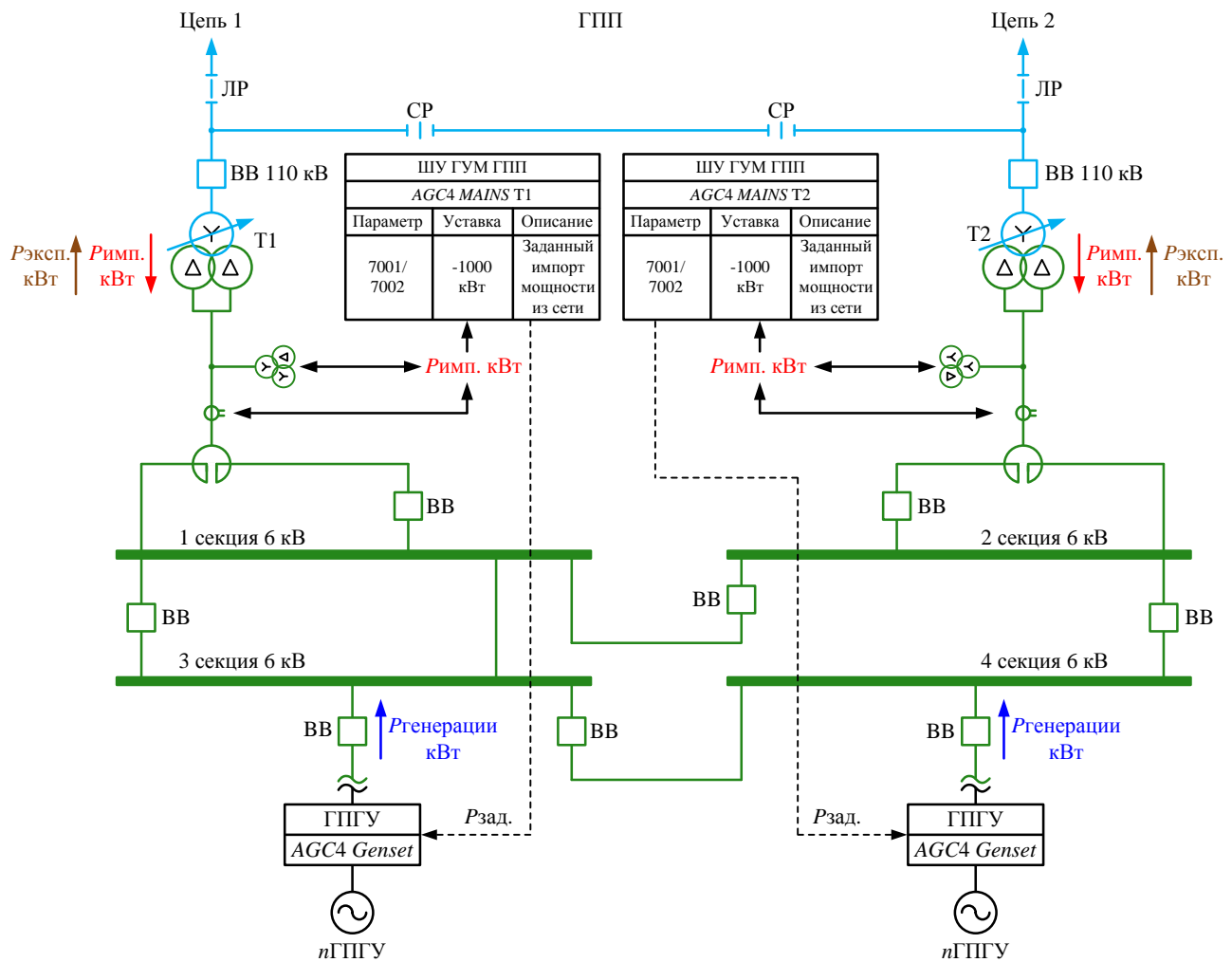
$$P_{\text{эксп}} = P_{\text{ген}} - P_{\text{имп}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{зад}}$  – суммарное задание мощности для ГПГУ, подключенных к соответствующему вводу подстанции;  $P_{\text{имп}}$  – мощность, потребляемая нагрузкой соответствующих вводов 6 кВ;  $P_{\text{зад,имп}}$  – заданный импорт мощности из сети 110 кВ сетевой компании,  $P_{\text{зад,имп}} = 1000$  кВт;  $P_{\text{ген}}$  – мощность, вырабатываемая ГПГУ соответствующего ввода;  $P_{\text{эксп}}$  – мощность, выдаваемая ГПГУ в сеть 110 кВ.

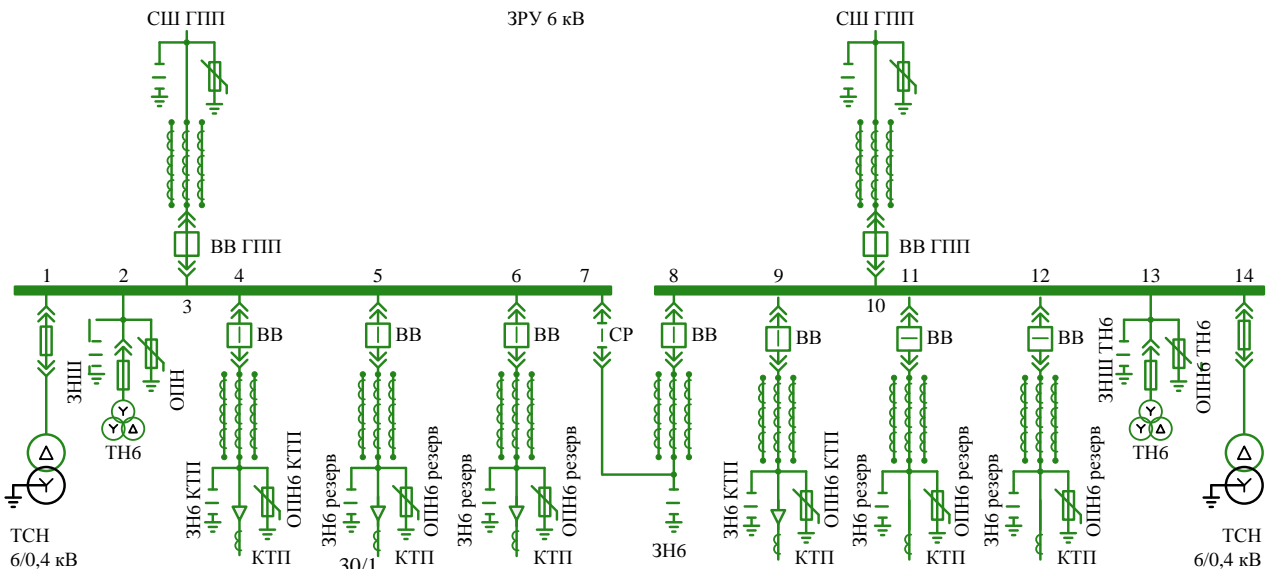
При увеличении нагрузки мощность в первый момент потребляется из сети, затем генераторные агрегаты принимают нагрузку для снижения мощности, потребляемой из сети до заданной уставки  $P_{\text{зад}}$ . При снижении нагрузки генераторные агрегаты разгружаются для достижения заданного импорта мощности из сети  $P_{\text{зад,имп}}$ .

Уставка  $P_{\text{зад,имп}} = 1000$  кВт (заданный импорт мощности из сети) исключает возможность выдачи в сеть, так как при любой заданной уставке мощности  $P_{\text{зад}}$  для ГПГУ остаются 1000 кВт, которые всегда потребляются нагрузкой из сети.

Для повышения класса напряжения на площадке энергокомплекса устанавливаются комплектные повысительные трансформаторные подстанции 0,4/6 кВ, КТП, в свою очередь, подключаются по стороне 6 кВ к закрытому распределительному устройству (ЗРУ 6 кВ), которое выполняет функции оперативного переключения, распределения и защиты, представленное в виде принципиальной схемы на **рис. 5**.



**Рис. 4. Принципиальная схема автоматики, обеспечивающей исключение выдачи мощности ГПГУ в сеть 110 кВ**



**Рис. 5. Принципиальная схема закрытого распределительного устройства 6 кВ**

Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на секциях ЗРУ-6 кВ должны быть соответственно не более  $\pm 5$  и  $\pm 10\%$  от номинального напряжения электрической сети [10].

Нормально допустимые и предельно допустимые

значения коэффициента несимметрии напряжений по обратной последовательности в точках общего присоединения к электрическим сетям должны быть не более 2,0 и 4,0 % соответственно. Нормально допустимые и предельно допустимые значения отклонения частоты должно быть не более  $\pm 0,2$  и  $\pm 0,4$  Гц соответственно.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Так как промышленные предприятия временами имеют плавающую нагрузку, которая может быть ниже договорной балансовой мощности, принимается схемное решение – секционировать между собой секции сборных шин ЗРУ. При этом появляется возможность конфигурировать секции по числу подключенных к ним КТП, что позволяет в случае необходимости перевести мощность в объеме до максимально возможного значения пропускной способности вводной коммутационной ячейки по каждой из линий связи 6 кВ.

В соответствии с «Требованиями к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты», утвержденными Приказом Минэнерго Российской Федерации №2 от 09 января 2019 года [5], к генерирующему оборудованию ГПГУ устанавливаются следующие требования:

– 6. Все генерирующее оборудование должно быть готово к участию в ОПРЧ, за исключением энергоблоков АЭС с реакторными установками на быстрых нейтронах, а также с реакторами большой мощности канальными.

– 8. Для участия в ОПРЧ генерирующее оборудование электростанций, за исключением СЭС, ВЭС, ВОЛЭС и генерирующего оборудования на основе ГУБТ, ДГА, должно соответствовать следующим требованиям:

а) зона нечувствительности первичного регулирования не должна превышать 0,05 Гц;

б) статизм первичного регулирования должен находиться в пределах 4,0-5,0 процентов;

в) регуляторы активной мощности, установленные на генерирующем оборудовании ТЭС, АЭС, ГЭС и ГАЭС, должны быть оснащены частотными корректорами;

г) «мертвая полоса» первичного регулирования в регуляторах активной мощности не должна превышать  $50,000 \pm 0,075$  Гц.

– 10. При участии в ОПРЧ генерирующее оборудование должно обеспечивать изменение выдаваемой активной мощности при изменении частоты на величину требуемой первичной мощности (4):

$$P_{\text{тп}} = -\frac{100}{S} \frac{P_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}} K_{\text{д}} \Delta f_{\text{р}}, \quad (4)$$

где  $S$  – статизм первичного регулирования, %;  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность генерирующего оборудования, МВт;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий динамику выдачи первичной мощности, нормированную требованиями для разного типа генерирующего оборудования при скачкообразном характере изменения частоты, для ГПА  $K_{\text{д}} = 1$ ;  $\Delta f_{\text{р}}$  – расчетная величина отклонения частоты, Гц, определяемая следующим образом:  $\Delta f_{\text{р}} = 0$  – при отклонениях частоты, не превышающих зону нечувствительности  $f_{\text{нч}}$ , Гц, или «мертвую полосу»

( $50,00 \pm f_{\text{мп}}$ , Гц) первичного регулирования;  $\Delta f_{\text{р}} \neq 0$  – при отклонениях частоты, превышающих зону нечувствительности («мертвую полосу») первичного регулирования;  $\Delta f_{\text{р}} = f - (50,00 + f_{\text{нч}}(f_{\text{мп}}))$  – при повышенной частоте ( $\Delta f_{\text{р}} > 0$ );  $\Delta f_{\text{р}} = f - (50,00 - f_{\text{нч}}(f_{\text{мп}}))$  – при пониженной частоте ( $\Delta f_{\text{р}} < 0$ );  $f$  – текущее значение частоты, Гц.

Подключение энергокомплекса к потребителям осуществляется через шины ГПП гибкими кабельными линиями.

Автоматизация и диспетчеризация системы электроснабжения предусматривается устройством системы мониторинга и управления оперативными переключениями.

Целями создания системы автоматизации и диспетчеризации являются: стабилизация эксплуатационных показателей оборудования и режимных параметров; предотвращение аварийных ситуаций.

Система предназначена:

– для обеспечения работы системы электроснабжения в дистанционном режиме управления;

– для предоставления оперативному и эксплуатационному персоналу необходимой информации о состоянии и режимах работы оборудования системы электроснабжения;

– для стабилизации заданных режимов процесса путём контроля параметров, визуального представления, выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы как в автоматическом режиме, так и в результате действий оператора;

– для определения аварийных ситуаций на узлах электроснабжения путём опроса подключённых к системе датчиков в автоматическом режиме, анализа измеренных значений и переключения узлов в безопасное состояние путём выдачи управляющих воздействий по инициативе оператора.

ГПГУ являются элементом непрерывно действующей системы когенерации. При работе генераторной установки происходит естественный выброс тепловой энергии, которая является побочным продуктом и может служить для систем теплоснабжения [8].

Система утилизации тепла предназначена для отвода теплоты от двигателя и выхлопных газов газопоршневой генерирующей установки, работающей в режиме непрерывной постоянной номинальной выходной мощности, и ее полезного использования. Это совокупность устройств, снимающих тепловую энергию с рубашки охлаждения и выхлопных газов двигателя и передающие ее теплоносителю внешнего контура. Система утилизации тепла устанавливается на контуре рубашки охлаждения двигателя и выхлопной системе. Теплоноситель внешнего контура после первой ступени нагрева в модуле УТА поступает на вторую ступень в модуль УТГ для догрева. В модуле УТГ происходит теплообмен между выхлопными газами и теплоносителем внешнего контура (рис. 6).

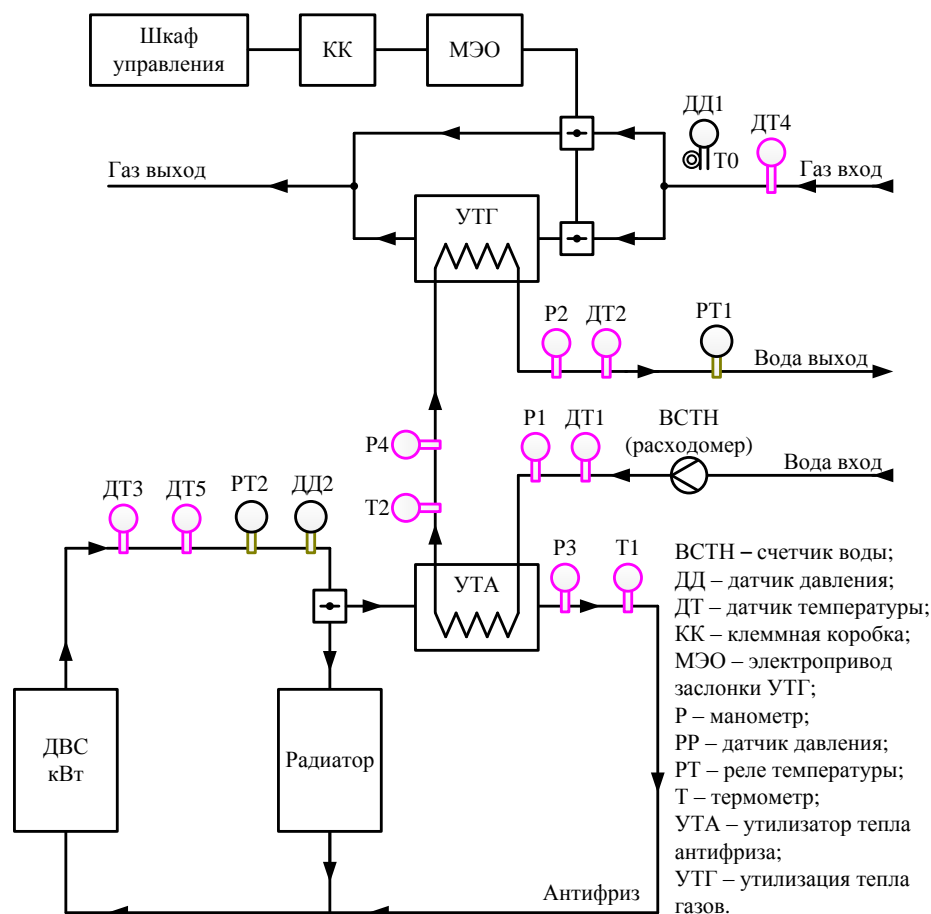


Рис. 6. Схема системы утилизации тепла

#### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Одной из особенностей использования модульной ГПУ является то, что промышленное предприятие не несёт никаких капитальных затрат на возведение и пуск энергетических комплексов дополнительного питания. Все расходы по монтажу, наладке и пуску оборудования в эксплуатацию берёт на себе генподрядная организация. Оплата с предприятия берётся в виде ежемесячной аренды энергетического оборудования, которая определяется от гарантированного договорного объёма электрической энергии, которую предприятие обязуется брать от генерации. Иными словами, предприятие обязуется обеспечивать генераторные агрегаты нагрузкой для выработки электрической энергии.

Расчёт платежей за аренду Объекта производится по следующей формуле:

$$ЕСП = V_{э} P_{э} (1 - C_{кэ}) - V_{газ} P_{газ}, \quad (5)$$

где  $ЕСП$  – размер арендной платы, подлежащей оплате Арендатором, руб.;  $V_{э}$  – фактический объём электроэнергии по показаниям приборов учета, отпущенной ТЭС за расчетный месяц;  $P_{э}$  – цена электроэнергии, определенная в соответствии с договором между арендатором и энергоснабжающей организацией, которая определяется счетом-фактурой к счету за фактически потребленную Арендатором электроэнергию;  $C_{кэ}$  – скидка к стоимости электроэнергии, отпущенной ТЭС за расчетный месяц, составляющая коэффициент 0,25;

$V_{газ}$  – фактический объём природного газа по показаниям приборов учета, израсходованный ТЭС в расчетном месяце;  $P_{газ}$  – фактическая цена природного газа, определенная в соответствии с договором между арендатором и газоснабжающей организацией, которая определяется счетом-фактурой к счету за фактически приобретенный арендатором газ.

Из формулы видно, что дисконт от действующих тарифов в части выработки:

- на электрическую энергию составляет – 25%;
- на тепловую энергию составляет – 100%.

Проведем условный расчёт. Допустим, что у предприятия гарантированный договорной объём по выработке электроэнергии:

$$V_{э} = 15\,000\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

По данным ООО «Уралэнергосбыт» [9], средняя стоимость 1 кВт·ч электрической энергии за вторую половину 2019 года была

$$P_{э} = 3,8 \text{ руб.}$$

Согласно паспортным характеристикам, на производство 1 кВт электроэнергии ГПУ типа Stamford затрачивает объём природного газа в размере

$$V_{газ} = 0,314 \text{ м}^3.$$

По данным ООО «Уралэнергосбыт» [3], средняя стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа за вторую половину 2019 года была:

$$P_{газ} = 3,7 \text{ руб.}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \text{ЕСП} &= 15000000 \cdot 3,8 \cdot (1 - 0,25) - 0,314 \cdot 3,7 = \\ &= 25323000 \text{ руб.}, \end{aligned}$$

при этом потрачено на закуп газа

$$Q_{\text{газа}} = 17427000 \text{ руб.}$$

Общие затраты

$$Q_{\text{собст.ген}} = \text{ЕСП} + Q_{\text{газа}}, \quad (6)$$

$$Q_{\text{собст.ген}} = 25323000 + 17427000 = 42750000 \text{ руб.}$$

Аналогичный объём электроэнергии с рынка снабжающей организации стоил бы

$$Q_{\text{сетевой орг}} = V_{\text{э}} P_{\text{э}}, \quad (7)$$

где  $Q_{\text{сетевой орг}}$  – размер платы за электроэнергию с рынка снабжающей организации, руб.

Тогда

$$Q_{\text{сетевой орг}} = 15000000 \cdot 3,8 = 57000000 \text{ руб.}$$

В сравнении

$$Q_{\text{сетевой орг}} > Q_{\text{собст.ген}}.$$

По результатам вычислений можно сказать, что использование газопоршневых установок для производства электроэнергии и тепла не только повышает надёжность системы электроснабжения, но и будет экономичней, чем закуп энергетических ресурсов у сетевых снабжающих организаций по общим региональным тарифам.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие промышленности не стоит на месте, год от года промышленному производству приходится сталкиваться с более жёсткими и принципиальными задачами, условиями, требованиями, которые заставляют выходить на современный, эргономичный, более качественный уровень взаимодействия с клиентом, партнёрами, государством. Но ресурсы любого предприятия ограничены, и новые объёмы требований, новые задачи клиентов требуют дополнительных вложений, развития, ресурсов. В условиях современной экономики необходим максимально эффективный баланс между ресурсами, которые предприятие готово потратить на производство качественного продукта и итоговой стоимостью этого продукта. Поскольку снижение затрат на производство продукта за счёт снижения его качества – деструктивный подход [10], который ведёт к потере клиентов, имиджа, места на рынке, остаётся только один метод – пересматривать способы получения энергетических ресурсов для производства продукта. Основные виды энергетических ресурсов промышленного предприятия – это электрическая и тепловая энергия, которые в подавляющем большинстве случаев закупаются у сетевого регионального оператора-поставщика. Полный уход с оптового рынка часто не рационален и может привести к более серьёзным экономическим потерям, «золотой серединой» может

являться введение дополнительного источника питания, который будет работать в параллели с основным. На сегодняшний день существует достаточно много дополнительных источников питания, это могут быть установки на базе возобновляемых источников энергии, таких как солнечные электростанции, ветровые энергетические установки различных типов, тепловые насосы, энергия биомассы и энергия рек. Это также могут быть автономные станции по производству энергоресурсов на основе традиционных источников энергии. В каждом случае необходим индивидуальный подход и выбор такого дополнительного источника энергии, который будет максимально эффективен с экономической точки зрения. В условиях Уральского Федерального округа и локально развитой системы газоснабжения рациональным будет введение дополнительного источника энергии, который будет использовать данный энергетический ресурс для производства электрической энергии.

Таким образом, использование такого дополнительного источника питания, как газопоршневая генераторная установка, может являться оптимальным решением при смешанном режиме электроснабжения промышленного предприятия, обеспечивая дисконтированное электроснабжение по отношению к установленному региональному тарифу на электроэнергию.

Собственная генерация не только обеспечивает дисконтированную ставку на закуп электроэнергии с оптового рынка, но и сводит затраты на производство или закуп тепловой энергии до нуля. За счёт использования системы когенерации тепловая энергия не только эффективно снимается и отводится от газопоршневых агрегатов системой утилизации тепла, но и передаётся в сеть теплоснабжения промышленного предприятия, и главной задачей энергетических служб является распределение этого тепла по сетям и передача потребителю. Установки данного типа приносят большой экономический эффект за счёт того, что отсутствует необходимость иметь собственные котельные и держать сменный персонал для их эксплуатации, тем самым экономя не только на закупе энергетических ресурсов, но и на содержании основных средств в виде автономных тепловых пунктов, на фонде оплаты труда обслуживающего персонала котельных [11].

Высокая степень надёжности, относительно невысокая стоимость, а также простота в эксплуатации газопоршневой генераторной установки даёт ей больше преимуществ по сравнению с другими способами получения или покупки энергоресурсов [12].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обзор рынка черной металлургии. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/research-center/metals-2h-2019.pdf> (дата обращения: 28.10.2020).
2. Бессолицын А.В., Кушкова Е.И., Петров Н.В. Оценка сокращения ущерба от недоотпуска электроэнергии при реализации неполнофазного нагрузочного режима воздушных линий 110 кВ // Известия вузов. Электромеханика. 2014. №3. С. 77-80.
3. Мухарямов М.А., Хаустова Е.В. Автономное энергообеспечение с помощью газопоршневых установок // Наука, образование, общество: тенденции перспективы: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 2014 г.,

- Москва. М.: АР-Консалт, 2014. С. 74-75.
4. Основные характеристики российской электроэнергетики / Министерство энергетики Российской Федерации. <https://minenergo.gov.ru/node/532> (дата обращения: 26.10.2020).
  5. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 09.01.2019 г. № 2 «Об утверждении требований к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты и внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г. № 229» // Российская газета. <https://rg.ru/2019/02/02/minenergo-prikaz-2-site-dok.html> (дата обращения: 26.10.2020).
  6. Лимонов А.С. Обеспечение энергобезопасности и повышение экономических показателей деятельности предприятий внедрением когенерационных установок // Научно-технический прогресс как фактор развития современного общества: сб. ст. междунар. науч.-практ. конференции, 2019.
  7. Техническая спецификация газового генератора. <https://www.aggreko.com/ru-ru/products/generator-rental/generators/gas-generators/container-gas-generator-1375kva> (дата обращения: 28.10.2020).
  8. Шелгунов А.В. Сравнительный анализ автономных энергоцентров с когенерацией и тригенерацией // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. №3. С. 129-140. DOI: 10.32464/2618-8716-2019-2-3-129-140.
  9. Тарифы и нормативы / ООО «Уралэнергосбыт». <https://uralsbyt.ru/clients/tarify-normativy-zakonodatelstvo/tarify-i-normativy/> (дата обращения: 26.10.2020).
  10. Нечаева В.В. Совершенствование качества и сокращение затрат совместимы // Научные исследования. 2018. №5(24). С. 49-51.
  11. Ховалова Т.В. Моделирование эффективности перехода на собственную генерацию // Эффективное антикризисное управление. 2017. №3(102). С. 44-57.
  12. Что дает собственная генерация предприятию / ГК «МКС». <https://mks-group.ru/a/sobstvennaya-generaciya-na-predpriyatii> (дата обращения: 01.11.2020)

Поступила в редакцию 27 сентября 2020 г.

## INFORMATION IN ENGLISH

### IMPLEMENTATION OF AUTONOMOUS MODULAR GAS-PISTON GENERATOR EQUIPMENT IN THE FORM OF ADDITIONAL SOURCE OF POWER SUPPLY FOR INDUSTRIAL ENTERPRISE

Viktor V. Dolgosheev

Postgraduate student, Electric Power Generation and Supply Department, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: nrgvictor@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4747-7004>.

Evgeniy V. Solomin

D.Sc. (Engineering), Professor, Electric Power Generation and Supply Department, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: solominev@susu.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4694-0490>.

Parviz A. Yunusov

Postgraduate student, Electric Power Generation and Supply Department, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: gamberro90@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1854-5282>.

Mikhail A. Mayorov

Postgraduate student, Electric Power Generation and Supply Department, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia. E-mail: michaelmaiorov@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1221-8862>.

The article considers additional power supply to an industrial enterprise due to the introduction of Autonomous gas-piston generator sets of modular type. In modern market conditions and the absence of a planned economy, fluctuations in supply and demand and, consequently, fluctuations in the level of instantaneous production capacity of the producer enterprise and its electricity consumption can be very significant. In addition, with the growth of tariffs for mainline electricity, one of the alternative solutions is in-house generation of electricity. For large enterprises, the power supply scheme can be divided into a basic one (supply from the main network) and an additional one (supply from a local generating source, which is initially installed as a modular one, with installed capacity regulation). This approach is universal for any enterprise, since this generating facility plays the role of an uninterruptible power supply during power outages, and during the stable power supply, it helps to save the company resources. However, the economic calculation of such an additional source of power supply, as practice shows, sometimes causes difficulties for the enterprise, and therefore it was decided to publish a practical analysis of a gas-piston generator set of a modular type. To analyze the effectiveness of implementing such installations, the equipment with common

characteristics was selected. According to the analysis, cogeneration plants can operate in parallel with the main power supply source. The mobility of the modules allows you to regroup the composition of a complete transformer substation (KTP) in a short period of time, thereby changing its installed capacity. In addition, the use of a cogeneration system can be especially relevant in industrial enterprises where it is necessary to provide hot water supply and heating of industrial facilities and administrative and household premises. The calculations show that the use of gas-piston installations for electricity and heat production not only increases the reliability of the power supply system, but is also a more economical approach than purchasing energy resources from grid supply organizations at General regional tariffs. The proposed approach can be used to assess the efficiency of energy supply from power generating facilities based on renewable sources.

**Keywords:** gas piston units, electrical energy, power supply, parallel operation of power sources.

#### REFERENCES

1. Ferrous metallurgy market overview. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Docume>



- nts/research-center/metals-2h-2019.pdf (accessed 28 October 2020).
2. Bessolitsyn A.V., Kushkova E.I., Petrov N.V. Assessment of damage reduction from undersupply of electricity during implementation of the open-phase load mode of 110 kV overhead lines. *Izvestiya vuzov. Elektromekhanika* [Bulletin of Universities. Electrical engineering]. No. 3, 2014. Pp. 77-80. (In Russian)
  3. Muharyamov M.A., Haustova E.V. Autonomous power supply using gas-piston equipment. *Nauka, obrazovanie, obschestvo: tendentsii i perspektivy: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Science, education, society: trends and prospects: collection of scientific papers of the International scientific conference]. Moscow: AP-Konsalt, 2014, pp. 74-75. (In Russian)
  4. The main characteristics of the Russian power industry. *Ministry of Energy of the Russian Federation*. <https://minenergo.gov.ru/node/532> (accessed 26 October 2020). (In Russian)
  5. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation dated 09.01.2019 No. 2 "On approval of the requirements for the participation of generating equipment in the general primary regulation of frequency and amending the Rules for the technical operation of power plants and networks of the Russian Federation approved by the order of the Ministry of Energy of Russia dated June 19, 2003 No. 229 ". *Russian newspaper*. <https://rg.ru/2019/02/02/minenergo-prikaz-2-site-dok.html> (accessed 26 October 2020). (In Russian)
  6. Limonov A.S. Ensuring energy safety and improving the economic performance of enterprises by implementing cogeneration plants. [Scientific and technological progress as a factor of modern society development: collection of scientific papers of the international scientific conference]. Ufa, Omega Science, 2019, pp. 130-133. (In Russian)
  7. Technical specification of the gas generator. <https://www.aggreko.com/ru-ru/products/generator-rental/generators/gas-generators/container-gas-generator-1375kva> (accessed 28 October 2020). (In Russian)
  8. Shelgunov A.V. Comparative analysis of Autonomous power centers with cogeneration and trigeneration. *Silovoe i energeticheskoe oborudovanie. Avtonomnye sistemy* [Power engineering equipment. Independent systems], no. 3, 2019, pp. 129-140. DOI: 10.32464/2618-8716-2019-2-3-129-140. (In Russian)
  9. Tariffs and standards. *Uralenergosbyt*. <https://uralsbyt.ru/clients/tarify-normativy-zakonodatelstvo/tarify-i-normativy/> (accessed 26 October 2020). (In Russian)
  10. Nechaeva V. V. Simultaneous improving the quality and reducing costs. *Nauchnye issledovaniya* [Scientific research], no. 5(24), 2018, pp. 49-51. (In Russian)
  11. Khovalova T. V. Modeling the effectiveness of the transition to the in-house power generation. *Effektivnoe antikirizisnoe upravlenie* [Effective crisis management], no. 3(102), 2017, pp. 44-57. (In Russian)
  12. What does the company in-house power generation provide? GK MKS <https://mks-group.ru/a/sobstvennaya-generaciya-na-predpriyatii> (accessed 1 November 2020). (In Russian)

Внедрение автономных газопоршневых генераторных установок модульного типа в качестве дополнительного источника электроснабжения промышленного предприятия / В.В. Долгошеев, Е.В. Соломин, П.А. Юнусов, М.А. Майоров // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 4(49). С. 17-25. [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4\(49\)-17-25](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2020-4(49)-17-25)

Dolgosheev V.V., Solomin E.V., Yunusov P.A., Mayorov M.A. Implementation of Autonomous Modular Gas-Piston Generator Equipment in the Form Of Additional Source of Power Supply for Industrial Enterprise. *Elektrotehnicheskie sistemy i komplekсы* [Electrotechnical Systems and Complexes], 2020, no. 4(49), pp. 17-25. (In Russian). [https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4\(49\)-17-25](https://doi.org/10.18503/2311-8318-2019-4(49)-17-25)