

УДК 621.311

# Существующие подходы к подключению и параллельной работе с энергосистемой мини-ТЭЦ промышленных предприятий на базе газопоршневых установок

При строительстве мини-ТЭЦ для нужд промышленных, коммунально-бытовых предприятий или предприятий энергетики, как правило, определяющим фактором в выборе суммарной мощности станции является потребность в тепловой энергии. Это зачастую обусловлено отсутствием в местах строительства мини-ТЭЦ крупных потребителей электрической энергии. Параллельная работа генераторов с энергосистемой позволяет не только повысить надежность энергоснабжения потребителей, но и обеспечить выдачу излишков электроэнергии в сеть с целью ее последующего транзита или продажи.

В подавляющем большинстве случаев на мини-ТЭЦ используются газопоршневые установки (ГПУ) [1, 2], имеющие следующие характеристики:

- при работе на номинальную нагрузку электрический КПД ГПУ составляет 37–45 %, а суммарный КПД достигает 90–91 %;
- при уменьшении нагрузки до 50 % от номинальной КПД снижается несущественно;
- время принятия полной нагрузки с момента запуска – 2,5–5 мин;
- заявленный срок службы установки – 20–35 лет.

Однако, несмотря на упомянутые показатели эффективности, включение ГПУ на параллельную работу с энергосистемой имеет ряд особенностей [3], которые необходимо учитывать при обосновании инвестиций и строительстве мини-ТЭЦ. С точки зрения наличия конструктивных особенностей, влияющих на устойчивую параллельную работу ГПУ с энергосистемой, можно выделить основную – малые значения постоянной механической инерции ( $H$ ). Это приводит к значительным трудностям в части обеспечения динамической устойчивости генератора ГПУ при внешних возмущениях. С другой стороны, после нарушения устойчивости повышается вероятность ресинхронизации генератора с сетью в результате работы регулятора скорости [4].

Для правильного учета объема затрат и перечня необходимого оборудования значительно возрастает роль качественной проектной проработки, особенно на первых стадиях работ. С этой целью специалистами РУП «Белэнергосеть-проект» при подготовке архитектурных решений выполняются:

В последнее десятилетие в Республике Беларусь идет активная работа по повышению энергоэффективности производств, в том числе и за счет внедрения технологий когенерации, процесса совместной выработки электрической и тепловой энергии на собственных мини-ТЭЦ. В данной статье рассматриваются особенности проектирования и дальнейшей работы мини-ТЭЦ промышленных предприятий на базе блок-станций. Опыт параллельной работы генераторов блок-станций с энергосистемой выявил ряд негативных моментов, на которые хотелось бы не только обратить внимание, но и предложить пути по их минимизации.

- анализ нагрузок и схемы связи с энергосистемой;
- анализ существующей релейной защиты и противоаварийной автоматики;

Таблица

ТИПОВЫЕ УСТАВКИ ЗАЩИТ ГПУ ОТ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Наименование защиты	Значение типовых уставок	
Защита по снижению напряжения	$0,9U_{НОМ}$ о.е.	1 с
	$0,8U_{НОМ}$ о.е.	0,2 с
Защита по повышению напряжения	$1,1U_{НОМ}$ о.е.	30 с
	$1,15U_{НОМ}$ о.е.	30 с
Защита по снижению частоты	49 Гц	0,5 с
	48,5 Гц	0,1 с
Защита по повышению частоты	51,5 Гц	0,1 с
Защита по скачку угла напряжения	$8^\circ$	0 с

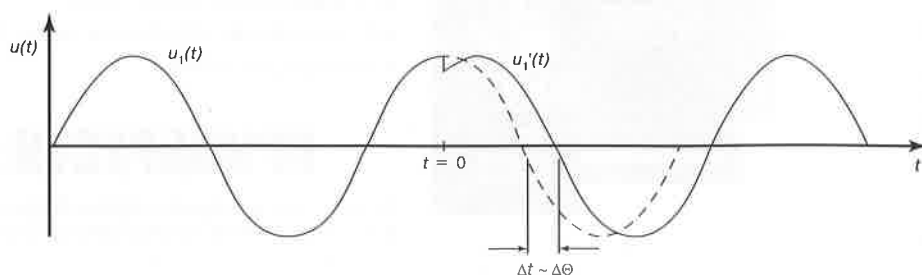


Рис. 1. График синусоид напряжения при скачке угла напряжения

• расчет параметров установившихся и переходных режимов.

Технические требования к ГПУ должны формироваться с учетом всех особенностей схемы сети и планируемых режимов работы, которые поставщики вынуждены будут учитывать.

В случае формирования технических требований без учета схемных решений поставщики ГПУ, учитывая конструктивные особенности, стремятся максимально защитить свое оборудование от негативных последствий внешних возмущений. Для этого принимают типовые уставки защит, которые отражаются в контрактах и не подлежат изменениям до окончания срока гарантийных обязательств.

Можно выделить три вида данных защит:

- по повышению и понижению напряжения;
- по повышению и понижению частоты;
- по скачку угла напряжения.

В таблице приведены типовые значения уставок защит ГПУ от внешних возмущений.

При этом следует также отметить, что в ряде европейских стран на сегодняшний день действуют стандарты, требующие от производителей ГПУ их устойчивой работы при возникновении удаленных внешних возмущений. Однако при упоминании ссылки на такие нормативные документы в контракте следует внимательно изучить их технические тонкости и оценить применимость для наших условий.

Из всех приведенных защит отдельное внимание следует обратить на защиту по скачку угла напряжения  $\Delta\theta$ , которую условно можно назвать «незнакомой». Принцип ее работы показан на рис. 1 и заключается в слежении за отклонением синусоиды напряжения генератора от идеальной. Нулевое значение достигается раньше или позже эталонного на величину  $\Delta t$ . По синхронной скорости и времени  $\Delta t$  определяется угол  $\Delta\theta$ , на который произошел скачок напряжения.

Практика показывает, что значения уставок защит, выставляемых поставщиками оборудования, не связаны с величиной нагрузки в узле, схемой связи мини-ТЭЦ с энергосистемой и т. д. Данные подходы отражают только интересы поставщиков оборудования и направлены на максимальную защиту поставленного оборудования любой ценой. Не следует также позиционировать такие ГПУ как независимые источники, повышающие надежность электроснабжения потребителей, поскольку в соответствии

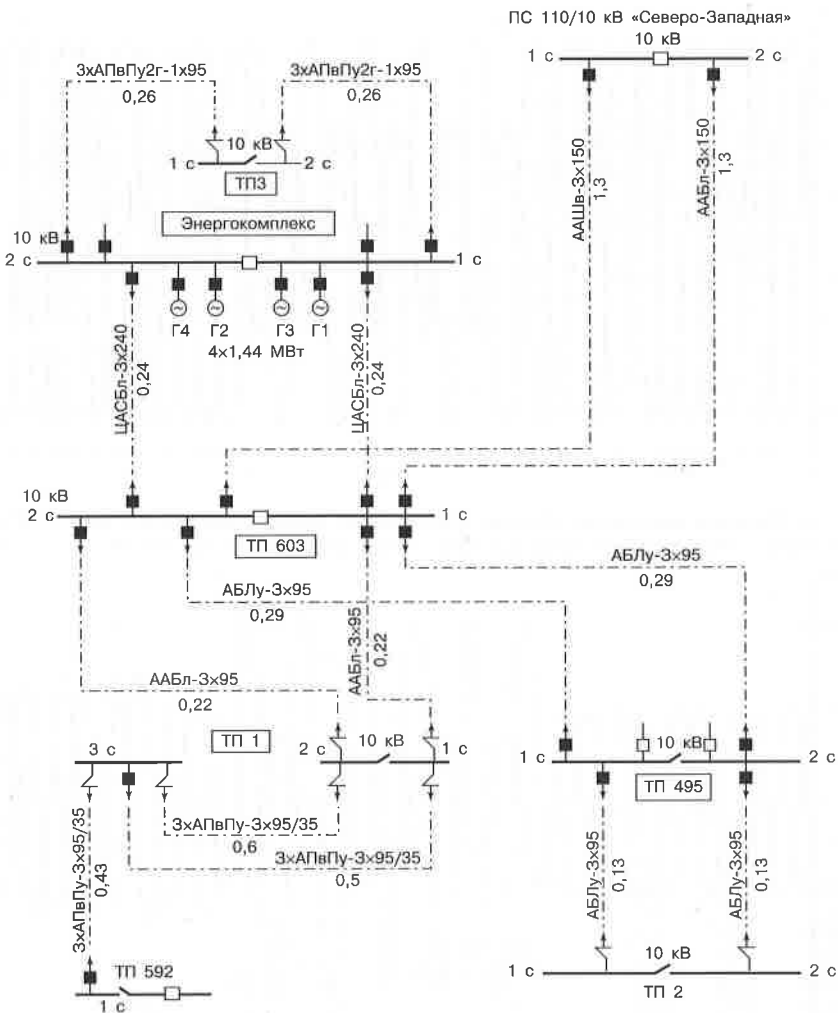


Рис. 2. Схема связи мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО с ПС 110/10 кВ «Брест-Западная»

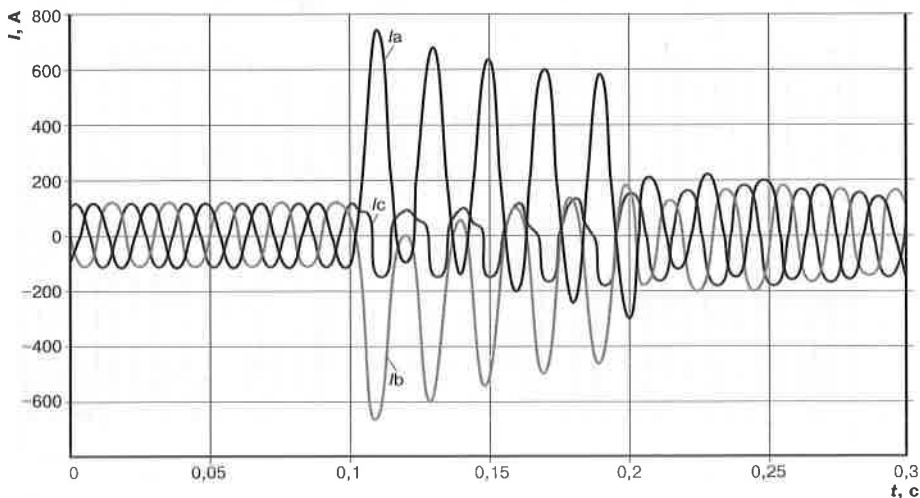


Рис. 3. Графики изменения фазных токов генератора мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО при однофазном КЗ вблизи 1 СШ 110 кВ ПС 220 кВ «Брест-2»

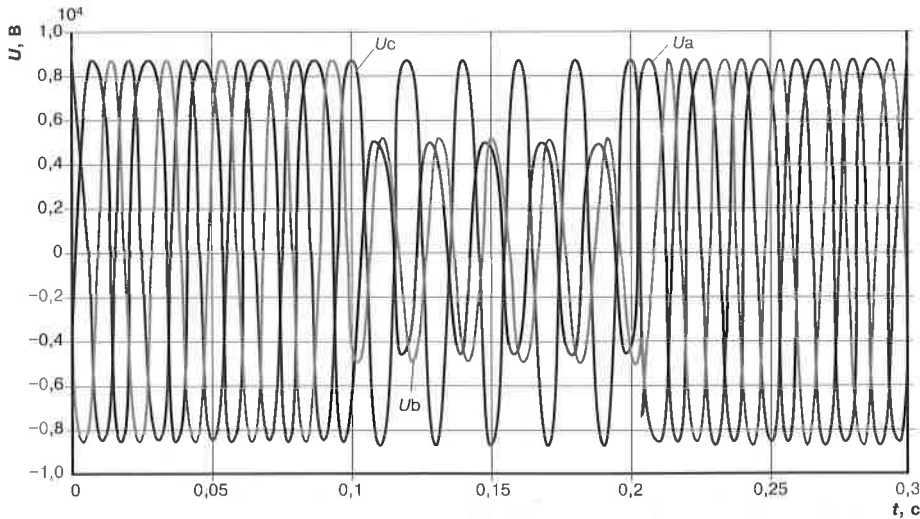


Рис. 4. Графики изменения фазных напряжений генератора мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО при однофазном КЗ вблизи СШ 110 кВ ПС 220 кВ «Брест-2»

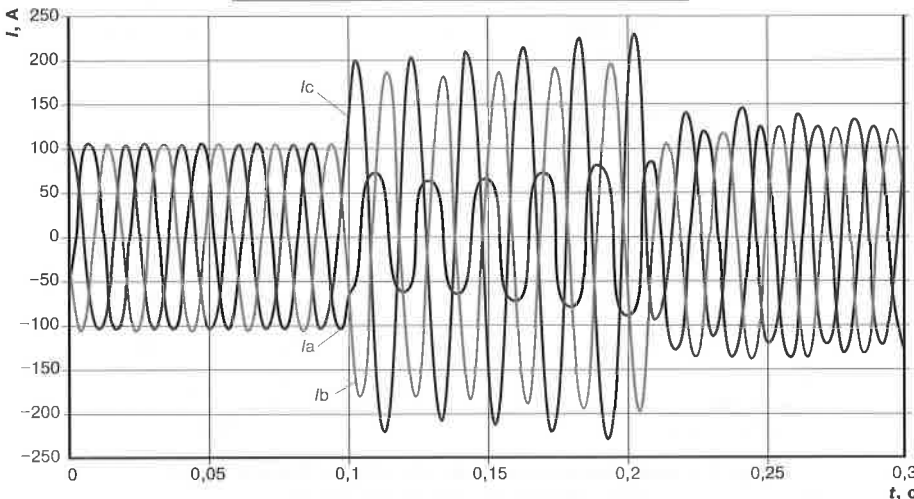


Рис. 5. Графики изменения фазных токов генератора мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО при двухфазном КЗ вблизи СШ 110 кВ ПС 110 кВ «Каменец»

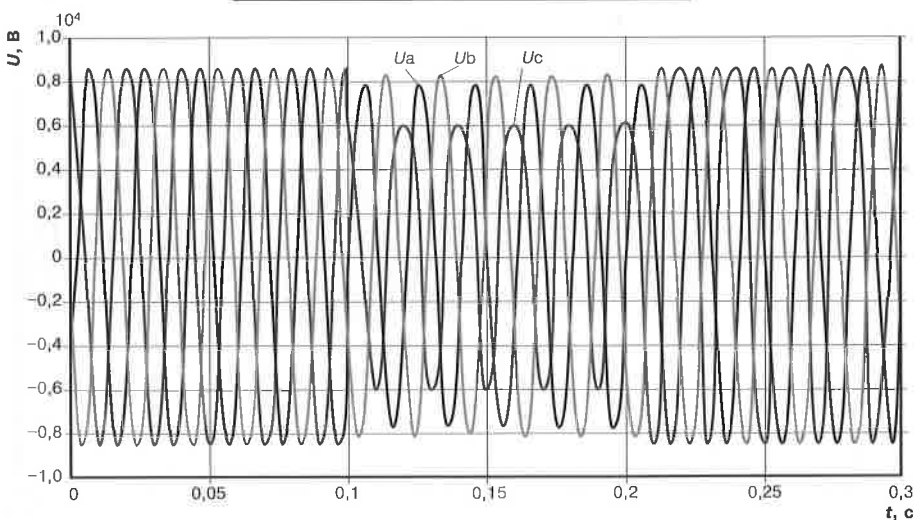


Рис. 6. Графики изменения фазных напряжений генератора мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО при двухфазном КЗ вблизи СШ 110 кВ ПС 110 кВ «Каменец»

с вышеприведенными значениями уставок они будут отключаться при удаленных возмущениях, которые не приводят к потере связи с энергосистемой. Важным является и тот факт, что частые отключения ГПУ сокращают межремонтный период.

Примером промышленного предприятия, где на практике столкнулись с данными проблемами в работе собственной мини-ТЭЦ, является СП «Санта Бремор» ООО. Нужно отметить, что приведенная на рис. 2 схема сети СП «Санта Бремор» ООО является сложносвязанной. В нормальном режиме связь генераторов мини-ТЭЦ с энергосистемой выполнена через шины 10 кВ ПС 110/10 кВ «Северо-Западная». Электроснабжение ПС 110 кВ «Северо-Западная» осуществляется по двум линиям 110 кВ от шин ПС 220 кВ «Брест-2».

Защита генераторов от потери связи с системой выполнена в шкафу станционного управления. Перечень и параметры защит аналогичны приведенным в таблице. Основное назначение данных защит – надежное выявление аварийных возмущений на шинах 110 кВ ПС 220 кВ «Брест-2», приводящих к отключению питающих линий 110 кВ.

Анализ релейной защиты и противоаварийной автоматики, а также расчеты на трехфазной модели схемы сети, выполненные специалистами РУП «Белэнергосетьпроект», показали, что защита по скачку угла напряжения является чувствительной к однофазным коротким замыканиям не только на шинах 110 кВ ПС 220 кВ «Брест-2» (рис. 3 и 4), но и к двухфазным коротким замыканиям на шинах 110 кВ наиболее удаленной ПС 110 кВ «Каменец», при которых скачок угла вектора напряжения составляет 9 градусов (рис. 5 и 6).

Выполненные расчеты также показали, что для возмущений, которые приводят к потере связи с энергосистемой генераторов мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО, минимальный скачок угла вектора напряжения на шинах 110 кВ ПС 220 кВ «Брест-2» составляет 16,2 градуса, что в два раза превышает существующую уставку.

На основании расчетов специалистами РУП «Белэнергосетьпроект» было предложено увеличить уставку защиты по скачку угла напряжения с 8 до 12 градусов. Дополнительно для резервирования защит от потери связи с системой, установленных на мини-ТЭЦ, на ТП 603 предусмотрена токовая направленная делительная автоматика. Данная автоматика выполнена в терминалах защиты вводов от шин 10 кВ ПС 110/10 кВ «Северо-Западная». За полугодовой период ра-

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ рынка строительства объектов малой генерации. – Электрон. ресурс. – Режим доступа: <http://www.energyland.info/analitic-show-9588>.
2. Сравнение ГТУ и ГПУ. – Электрон. ресурс. – Режим доступа: <http://www.kmtg.ru/innovations/smallpower/kogeneration/gazoporshigazoturb.php>.
3. Калентионюк, Е. В. Газопоршневые энергоустановки: перспективы и трудности внедрения и эксплуатации / Е. В. Калентионюк, Ю. Д. Филипчик // Главный энергетик. – 2010. – № 11.
4. Филипчик, Ю. Д. Защита газопоршневых установок по изменению угла вектора напряжения / Ю. Д. Филипчик // Энергия и менеджмент. – 2015. – № 6.

Over the past decade, the Republic of Belarus has been actively working to increase the energy efficiency of production, including through the introduction of cogeneration technologies, the process of joint generation of electric and thermal energy at its own CHP. This article discusses the features of designing and further operation of CHP plants of industrial enterprises based on gas engines. The experience of parallel operation of small CHPs with the power system has revealed a number of negative points, which I would like to not only pay attention to, but also suggest ways to minimize it.

боты генераторов мини-ТЭЦ СП «Санта Бремор» ООО с новыми значениями уставок защит от потери связи с энергосистемой оперативным персоналом отмечено значительное снижение неселективных отключений.

## ВЫВОДЫ

1. Конструктивные особенности ГПУ требуют особых подходов к проектированию их схемы выдачи мощности и связи с энергосистемой.

2. Применяемые типовые уставки защит от потери связи с энергосистемой принимаются без учета реальных условий работы ГПУ, что приводит к их частым неселективным отключениям.

3. Выполненное специалистами РУП «Белэнергосетьпроект» моделирование аварийных возмущений в схеме связи с энергосистемой позволило определить значения режимных параметров, при которых, с одной стороны, обеспечивается необходимая чувствительность дели-

тельных защит, а с другой – снижается количество неселективных отключений.

**Юрий ФИЛИПЧИК,**  
инженер отдела РЗА  
РУП «Белэнергосетьпроект»,

**Денис КРЫМОВ,**  
главный энергетик  
СП «Санта Импэкс Брест»

(Статья поступила в редакцию 03.08.2018 г.)