

## Система гарантированного электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса с использованием альтернативных и возобновляемых источников энергии

Абрамович Б. Н., Сычев Ю. А., Устинов Д. А., кандидаты техн. наук,  
Фёдоров А. В., инж.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

Обоснована необходимость разработки и внедрения систем гарантированного электроснабжения с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии на предприятиях минерально-сырьевого комплекса на примере нефтепромыслов. Выявлена допустимая длительность перерыва электроснабжения для технологических потребителей предприятий нефтедобычи. Предложены варианты структуры системы гарантированного электроснабжения исходя из предъявляемых к ним требованиям.

**Ключевые слова:** электроснабжение, альтернативный, возобновляемый источник энергии, система гарантированного электроснабжения.

Проблема обеспечения непрерывного электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса (в особенности нефтепромыслов) на территории РФ обусловлена удаленностью основных перспективных месторождений Крайнего Севера, Восточной и Западной Сибири от централизованных энергосистем, территориальным рассредоточением производственных объектов и непрерывностью ключевых технологических процессов. При передаче электроэнергии от централизованной энергосистемы по разным причинам возможно возникновение кратковременных нарушений электроснабжения потребителей в виде провалов и исчезновения напряжения. Учитывая, что более 70 % территории РФ, где расположены перспективные запасы твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, не охвачено централизованным энергообеспечением, актуальны разработка и внедрение систем гарантированного электроснабжения с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии.

По итогам теоретических исследований и математического моделирования выявлено, что для основных технологических электростанций нефтедобычи допустимая по критерию устойчивости и непрерывности технологического процесса длительность перерыва электроснабжения составляет 0,15 с [1]. Многочисленные эксперименты показали [2], что нарушения непрерывности технологических процессов на нефтедобывающих предприятиях из-за перерыва электроснабжения длительностью более 0,15 с приводят к значительному экономическому ущербу. Установлена следующая зависимость для определения допустимой длительности перерыва электроснабже-

ния электроцентробежных насосов нефтедобычи:

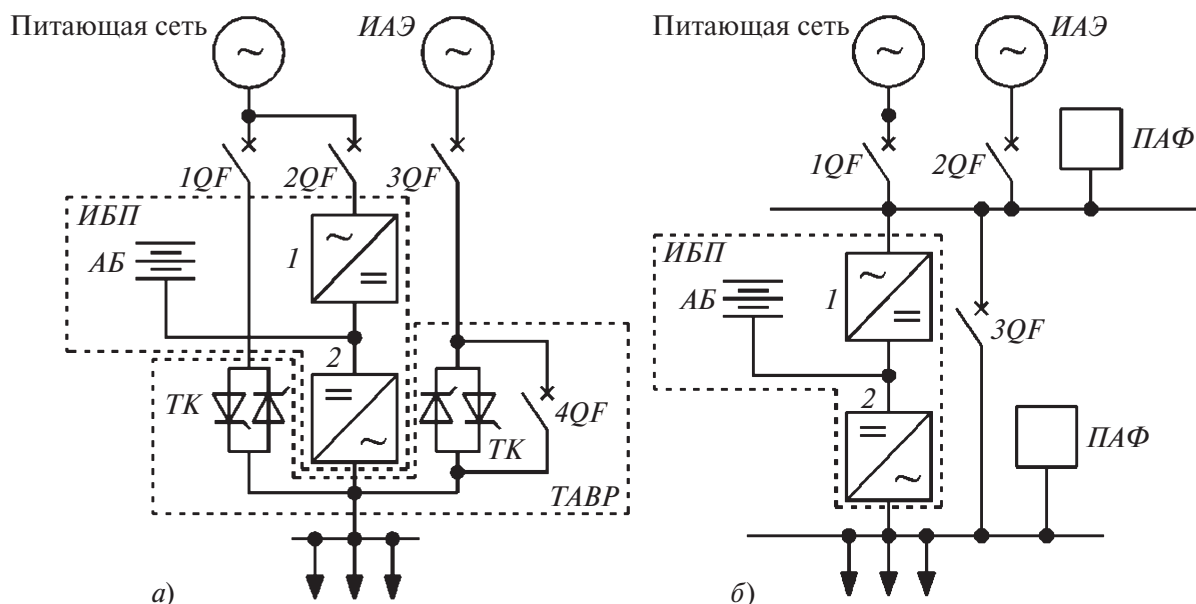
$$\Delta t = 0,06 + 0,03 T_j - 0,01 \Delta U,$$

где  $T_j$  — постоянная времени инерции двигателя;  $\Delta U$  — значение провала напряжения.

В условиях нефтедобывающих предприятий наиболее чувствительны к нарушениям электроснабжения электроцентробежные установки с погружными асинхронными двигателями для извлечения нефти на дневную поверхность и комплексы с синхронными двигателями для поддержания пластового давления. Кратковременные нарушения их электроснабжения могут вызвать отключения и, как следствие, — расстройство технологического процесса, на восстановление которого требуется несколько десятков минут, что приводит к потерям добычи нефти [3].

Таким образом, удаленность от централизованных систем электроснабжения и наличие технологических процессов, непрерывность которых не должна нарушаться, обуславливают необходимость разработки системы гарантированного электроснабжения с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии на предприятиях нефтедобычи, которые играют ведущую роль в минерально-сырьевом комплексе РФ. При разработке структуры системы необходимо учесть следующие режимы работы нефтепромысловой электрической сети [1, 3]:

нормальный;  
послеаварийный;  
переходный;  
режим профилактического обслуживания.



Нормальный режим — это установившийся режим работы электрической сети, при котором функционируют все ее элементы, предусмотренные при проектировании, и обеспечивается электроснабжение всех подключенных потребителей. Послеаварийным считается режим, установившийся после аварийного отключения поврежденного элемента электрической сети и сохраняющийся до восстановления схемы электроснабжения, предусмотренной для нормального режима работы. К переходному относится режим, при котором скорость изменения параметров и режимов работы электрической сети значительна. Это необходимо учитывать при рассмотрении конкретных практических задач. В режиме профилактического обслуживания возможно выполнение планово-предупредительных ремонтов, профилактических осмотров и настройки входящих в систему гарантированного электроснабжения узлов и блоков без перерыва энергообеспечения потребителей.

На рисунке, *а* и *б* приведены варианты структуры системы гарантированного электроснабжения, реализованные в соответствии с указанными требованиями и режимами работы нефтепромысловой распределительной сети [2].

В схеме на рисунке, *а* ответственные потребители получают питание через источник бесперебойного питания ИБП, содержащий преобразователи 1 и 2 соответственно переменного тока в постоянный (выпрямитель) и постоянного тока в переменный (инвертор), только в случае пропадания напряжения на

основном вводе или длительного уменьшения его уровня ниже  $0,8U_{\text{ном}}$  ( $U_{\text{ном}}$  — номинальное напряжение сети). В послеаварийном и аварийном режимах электроснабжение потребителей осуществляется за счет энергии, запасенной в аккумуляторных батареях АБ, на время запуска и выхода в рабочий режим источника аварийного электроснабжения ИАЭ, который может быть выполнен на основе ветрогенераторов, солнечных батарей, ветродизельных установок или электростанций, работающих на попутном нефтяном газе. В послеаварийном режиме срабатывает тиристорный коммутатор ТК, исключающий возможность перетока энергии от преобразователя 2 в сеть. Одновременно подается сигнал на запуск ИАЭ, включается выключатель 3QF и отключаются выключатели 1QF и 2QF. Выключатель 4QF предназначен для резервирования ТК при подключении ИАЭ.

При запуске ИАЭ и его последующем подключении к нагрузке, питаемой от ИБП, возникает опасность увеличения угла фазового рассогласования между одноименными напряжениями на выходах ИАЭ и ИБП. Если этот угол не превышает  $30^\circ$  [1], возможно подключение ИАЭ к шине переменного тока без возникновения сверхтоков.

Для подключения ИАЭ без рассогласования фаз на выходе ИБП предусмотрено устройство тиристорного АВР (ТАВР). Оно позволяет сохранить в работе электропотребителей при возникновении аварийного режима (потери питающего напряжения на одном из вводов) путем максимально быстрого переключения на исправный ввод без возникновения сверх-

токов. Оптимизация переходных процессов обеспечивается синхронизацией момента включения *TABP* (угла расхождения фаз напряжений на клеммах генератора) с углом рассогласования фаз на выходе *ИБП* в диапазоне от 0 до 30°. Логика работы *TABP* позволяет осуществлять синхронное переключение питаемой нагрузки на *ИАЭ* с углом фазового рассогласования не более 30°, а также контролировать восстановление напряжения в основной сети с автоматическим переключением на нормальную схему после восстановления напряжения на неисправном вводе [3].

Недостатки схемы на рисунке, *а*;

снижение срока службы *АБ* из-за постоянного режима подзаряда;

уменьшение общего КПД системы гарантированного электроснабжения вследствие увеличения потерь при двойном преобразовании;

конечное время переключения питания с основного источника на *ИБП*, обусловленное недостаточным быстродействием *ТК*.

Достоинства рассматриваемой схемы:

отсутствие значительных гармонических искажений формы кривой напряжения питающей сети со стороны входного и выходного преобразователей ввиду малого времени их работы;

синхронизация угла фазового рассогласования между напряжениями на выходах *ИБП* и *ИАЭ*.

В схеме на рисунке, *б* питание на нагрузку подается постоянно через выпрямитель *1* и инвертор *2*, совместно выполняющие двойное преобразование. В случае пропадания напряжения на основном вводе или длительного уменьшения его уровня ниже  $0,8U_{ном}$  непрерывное питание потребителей обеспечивает *АБ*. В момент исчезновения напряжения система управления подает сигнал на запуск *ИАЭ*, и после готовности последнего принять нагрузку включается выключатель *2QF*. Выключатель *3QF* обеспечивает защиту инвертора от перегрузок, сбоев в работе при пиковых нагрузках и разряде *АБ*. Допустимый по нормам ГОСТ 13109–97 уровень гармонических искажений формы кривой напряжения контролируется параллельным активным фильтром *ПАФ*.

Схема на рисунке, *б* имеет следующие преимущества:

отсутствие перерыва в электроснабжении при переключении с основного источника на питание от *АБ*;

наличие защиты от кратковременных нарушений электроснабжения;

высокое качество электрической энергии благодаря использованию *ПАФ*.

Недостатки схемы на рисунке, *б*:

снижение общего КПД системы гарантированного электроснабжения вследствие увеличения потерь при двойном преобразовании энергии;

отсутствие синхронизации угла фазового рассогласования между напряжениями на выходах *ИБП* и *ИАЭ*;

снижение срока службы *АБ* из-за постоянного режима подзаряда;

дополнительные потери в генераторе *ИАЭ* при его совместной работе с *ИБП*.

При кратковременных нарушениях электроснабжения длительностью менее времени запуска *ИАЭ* последний может быть исключен из структуры системы гарантированного электроснабжения. Обе структуры на рисунке, *а* и *б* применимы для условий предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Таким образом, разработанная система гарантированного электроснабжения с использованием альтернативных возобновляемых источников энергии и быстродействующих устройств автоматического ввода резерва позволяет обеспечить непрерывность технологических процессов и устойчивость режимов работы электрических сетей предприятий минерально-сырьевого комплекса.

#### Список литературы

1. Абрамович Б. Н., Устинов Д. А., Поляков В. Е. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов. — Нефтяное хозяйство, 2010, № 9.
2. Поляков В. Е., Сычев Ю. А., Махалин А. Н. Обеспечение бесперебойного электроснабжения ответственных потребителей на предприятиях нефтедобычи при наличии нелинейной нагрузки (Сб. материалов научно-практической конференции «Геоэкологические и инженерно-геологические проблемы развития гражданского и промышленного комплексов города Москвы»). — М.: РГГРУ, 2008.
3. Минимизация ущерба при добыче нефти из-за кратковременных перерывов электроснабжения / Б. Н. Абрамович, А. В. Медведев, В. В. Старостин, Э. Х. Муратбаев. — Промышленная энергетика, 2009, № 7.

sychev\_yura@mail.ru