

А. Н. МОИСЕЕВ, канд. техн. наук, старш. научн. сотр., НТУ «ХПИ»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТУРБОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Введение. Назначение газораспределительных станций (ГРС) и газораспределительных пунктов (ГРП) понизить высокое давление газовой магистрали до значений необходимых потребителю. Обычно это осуществляют, как правило, путем дросселирования. Зачастую ГРС и ГРП расположены в отдалении от электрических сетей, поэтому подведение к ним линий электроснабжения требует значительных капиталовложений. Известно, что понижение давления можно осуществить с помощью турбодетандера [1], с одновременным преобразованием избыточного давления газа в механическую энергию.

Постановка задачи. Обосновать построение автономного источника электропитания используя турбодетандер, в качестве источника механической энергии, определить рациональную структуру силовой электрической части и принцип регулирования выходных параметров. При этом учесть, что понижение давления газа сопровождается существенным понижением его температуры и выпадением конденсата, в тоже время температура газа на выходе с ГРС и ГРП должна быть не ниже 10°C .

Исходя из этих требований, представляется целесообразным силовую часть источника электроэнергии для вышеуказанных потребителей выполнить по структуре «Турбодетандер-генератор-выпрямитель-автономный инвертор» [3, 4]. Такое исполнение позволяет обеспечить автономность источника электроэнергии, то есть устранить значительные затраты на подведение к ГРП и ГРС линий электропитания, сократить потери энергии за счет понижения давления не с помощью дросселирования, а за счет использования турбодетандера.

Материалы исследования. Наиболее распространенным вариантом исполнения автономного источника электропитания для ГРС и ГРП в настоящее время являются генераторные установки с двигателями внутреннего сгорания. Произведем оценку затрат на топливо по данному варианту, на примере автономного источника типа «Вебрь АДП 12-Т400 ВЛ-БС» с использованием дизельного двигателя внутреннего сгорания, исходя из коэффициента загрузки $K_3=0,6$ и к.п.д. = 40. Вышеуказанный автономный источник состоит из двигателя внутреннего сгорания, который сжигает $V_0 = 4,36$ литра топлива в час, и генератора который рассчитан на номинальную активную мощность $P = 9,6$ кВт. Стоимость такой установки составляет $C_y = 54732$ грн.[5].

При сжигании дизтоплива для выработки номинальной мощности за сутки необходимо сжечь

$$V_c = V_0 \cdot K_3 \cdot 24, \quad (1)$$

где V_c – объем топлива за сутки, л;

V_0 – объем топлива за час, л.

То есть за год, при стоимости дизтоплива $C_d = 20$ грн. за литр, годовые затраты на топливо составляют

$$C_r = V_c \cdot K_3 \cdot 24 \cdot C_d \cdot 365, \quad (2)$$

или 458323 грн.

Расходы на обслуживание и ремонт составляют 10-15% от стоимости установки $\mathcal{E}_p = (0,1 \div 0,15) C_y$. Итого расходы на первый год эксплуатации равны

$$C_{\Sigma} = C_y + \mathcal{E}_p + C_r, \quad (3)$$

или 558887 грн.

Кроме расходов на оплату топлива и обслуживание необходимо учесть дополнительные расходы на его транспортировку с баз нефтепродуктов до ГРС и ГРП, которые иногда находятся в отдалении от линий электро-снабжения. Следует так же указать на негативный экологический эффект, вызываемый сжиганием нефтепродуктов и сопровождаемый выбросами в атмосферу продуктов горения. Существенным недостатком данного варианта являются значительные эксплуатационные расходы.

Другим вариантом автономного источника электропитания мог бы стать ветрогенератор [6]. В этом случае, как с экологической точки зрения, так и с точки зрения отсутствия затрат на энергоносители, данный вариант представляется благоприятным. Однако для ветрогенератора характерна зависимость вырабатываемой электроэнергии от наличия ветра достаточной силы. В условиях необходимости круглосуточного обеспечения ГРП и ГРС электроэнергией при данном варианте для полного удовлетворения нужд ГРС и ГРП потребовалось бы создание накопителя электроэнергии достаточно большой емкости, который бы обеспечивал ее ГРП и ГРС в периоды слабого ветра и его отсутствия. Оценим вариант системы автономного энергообеспечения на основе вертикального ветрогенератора EugoWind, мощностью 8кВт, который способен в месяц вырабатывать 2100 кВт-мес. (при среднегодовой скорости ветра 6 м/с). Максимальный запас энергии для автономной работы от ак-

© А.Н. Моисеев, 2015

кумуляторной батареи (АКБ) составляет 80 кВт·час. Автономная установка EuroWind должна включать в свой состав генератор EuroWind VS-10, коническую мачту 5,5м на которую устанавливается генератор, 54 аккумулятора AGM 200Ач, и инвертор 8 кВт 220В, посредством которого осуществляется преобразование постоянного напряжения в переменное. Стоимость перечисленного оборудования составляет 58924\$ [7].

Однако даже при наличии буферной аккумуляторной батареи, обеспечивающей при безветрии бесперебойное питание, в случае отсутствия ветра более 3-7 дней, нельзя дать 100% гарантии бесперебойного электропитания, что для ГРС и ГРП недопустимо.

Рассмотрим целесообразность построения автономного источника электропитания для ГРП и ГРС на основе использования солнечной энергии. Данный вариант безупречен с экологической точки зрения, однако его недостатком является невыработка электроэнергии в ночные периоды и также снижение ее генерирования при облачной погоде. Кроме того этот вариант так же потребовал бы солнечной батареи значительно большей мощности по сравнению с номинальной нагрузкой для заряда буферной аккумуляторной батареи в дневной период и для обеспечения электроэнергией в ночной. Произведем стоимостную оценку системы автономного энергообеспечения на примере установки Солар48 8-160-Д3 мощностью 6 кВт, способной вырабатывать 1200 кВт·мес., для обеспечения электропитания в ночное время необходимо иметь 32 аккумулятора AGM 200Ач, которые обеспечивали бы запас энергии на 48 кВт·час. Получение переменного напряжения обеспечивается двумя инверторами по 3 кВт 220 В. Стоимость такого источника электропитания составляет 39530\$. [8].

Сопоставление вышеприведенных данных показывает что рассмотренные варианты требуют либо значительных капитальных затрат, либо больших эксплуатационных расходов.

Рассмотрим целесообразность использования в качестве источника первичной энергии энергию газа, транспортируемого через ГРП и ГРС. В этом случае, с помощью турбодетандера, можно обеспечить создание механической энергии, необходимой для вращения электрогенератора и преобразование ее в электрическую энергию.

Достоинством данного решения являются:

- отсутствие необходимости подвода линий электропитания;
- хорошую технологическую сопрягаемость процесса выработки электроэнергии с транспортировкой газа;
- исключение необходимости подвоза топливных энергоресурсов для выработки электроэнергии;
- отсутствие экологически вредного воздействия на окружающую среду;
- экономичность процесса выработки электроэнергии за счет использования энергии газа при снижении давления в системах потребления.

Расчеты показывают, что стоимость электромеханического комплекса с турбодетандером мощностью 10 кВт не превышает 100 – 150 тыс. грн., т.е., многократно меньше ранее рассмотренных вариантов. Вышеуказанные преимущества определяют *целесообразность построения автономных источников электропитания для ГРС и ГРП с использованием в качестве источника механической энергии турбодетандера.*

Определим также другие принципы построения электромеханического комплекса автономного электропитания с турбодетандером для газораспределительных магистралей с учетом особенностей технологии газораспределения и требований к автономному источнику электроэнергии на ГРС и ГРП.

Использование турбодетандера для получения электрической энергии предполагает последовательное преобразование одного вида энергии в другой, а так же преобразование параметров электрической энергии [3,4]. На первом этапе тепловая энергия газа преобразуется турбодетандером в механическую энергию вращения его вала сочлененного с валом турбодетандера.

Электрогенератор производит преобразование данной механической энергии в электрическую энергию. Электрогенератор может представлять собой машину постоянного тока с независимым возбуждением, синхронный генератор или асинхронный. Как известно для электрических машин двух первых типов необходимо наличие первичного источника электропитания для цепей возбуждения (либо индуктора). Генератор постоянного тока требует, кроме того, больше эксплуатационных расходов, вследствие необходимости периодической смены щеток и проточки коллектора. Кроме того первые два типа генератора уступают асинхронному генератору по удельным весогабаритным и стоимостным показателям. Исходя из вышеприведенных преимуществ, для разрабатываемого источника электропитания, в качестве *преобразователя механической энергии в электрическую, целесообразно выбрать асинхронный генератор с самовозбуждением.* Целесообразность такого выбора объясняется отсутствием необходимости иметь дополнительный источник электрической энергии для возбуждения генератора, имеющего в начальный момент пуска лишь малое значение остаточной индукции магнитной системы. Под самовозбуждением понимают процесс нарастания выходного напряжения после начала вращения ротора генератора с малым начальным значением остаточной индукции. Процесс нарастания должен завершиться установившимся значением выходного напряжения заданной величины. Для успешного самовозбуждения необходимо, чтобы от периода к периоду происходило увеличение максимальных значений магнитной индукции, достигаемых при перемагничивании магнитной системы. Это обеспечивается наличием подключаемых на зажимы обмоток статора конденсаторов самовозбуждения.

Однако известно, что выходное напряжение асинхронного генератора с самовозбуждением существенно зависит от величины нагрузки, которая может изменяться в достаточно широких пределах.

В данной работе предлагается учесть и использовать технологические особенности газораспределения ГРС и ГРП. Как уже отмечалось, газ на выходе ГРС и ГРП имеет пониженную температуру, в то время как ее значение не должно быть ниже установленной величины. Для обеспечения этого, газ подогревается, для чего используется сжигание части транспортируемого газа. Очевидно, при малых нагрузках на стороне переменного напряжения можно использовать недостающую до номинального значения часть электрической нагрузки для подогрева газа, с помощью тепловых электронагревательных устройств (ТЭН). Автоматически поддерживая суммарную нагрузку АГ на номинальном уровне, можно обеспечить стабильность его выходного напряжения и высокий КПД. Отсюда вытекает *целесообразность использования для стабилизации нагрузки АГ регулируемой балластной нагрузки, в виде ТЭНов подогрева газа.*

Вышеприведенный анализ позволяет сформулировать следующие принципы построения рационального источника электропитания для ГРС и ГРП:

- использовать в качестве источника механической энергии турбодетандер;
- преобразование механической энергии в электрическую осуществлять асинхронным генератором;
- стабилизацию выходного напряжения генератора осуществлять за счет регулируемой балластной нагрузки, в виде теплоэлектронагревательных элементов, подогревающих газ.

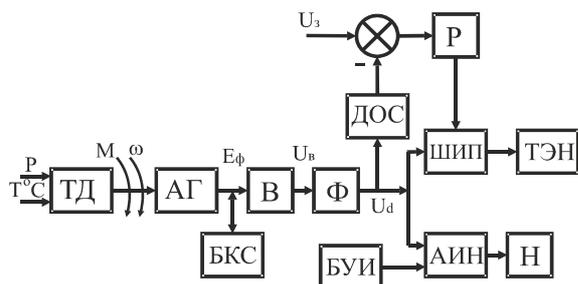


Рис 1 – Функциональная схема автономного источника питания

С учетом вышеуказанных принципов предлагается функциональная схема автономного источника электропитания для ГРС и ГРП, представленная на рис. 1, где ТД – турбодетандер, выполняющий роль преобразователя энергии газа в механическую энергию вращения вала; АГ – асинхронный генератор, преобразующий механическую энергию в электрическую энергию 3^х фазного переменного тока; БКС – блок конденсаторов самовозбуждения, обеспечивающий самовозбуждение АГ, при отсутствии дополнительных источников электропитания, а также устойчивый режим работы АГ; В – Выпрямитель, преобразующий 3^х фазное переменное напряжение в постоянное; Ф – емкостной фильтр, сглаживающий пульсации выпрямленного напряжения; ШИП – широтно-импульсный преобразователь, который автоматически регулирует нагрузку АГ, поддерживая стабильность выпрямленного напряжения; АИН – автономный инвертор напряжения, преобразующий постоянное напряжение в переменное напряжение требуемого значения и формы; ДОС – датчик обратной связи по напряжению. При сравнении с сигналом задания формирует управляющий сигнал ключа широтно-импульсного преобразователя, изменяя время его включенного состояния и, соответственно, среднего тока балластной нагрузки; БУИ – блок управления инвертором. Формирует импульсы управления ключами АИН, обеспечивая, за счет ШИМ модуляции, качественный гармонический состав синусоидального переменного напряжения; ТЭН – теплоэлектронагреватель, выполняющий двойную функцию: во-первых – подогрева газа, недоиспользованной мощностью по отношению к номинальной нагрузке инвертора, во-вторых – выполняет совместно с ШИП роль балластной регулируемой нагрузки на уровне номинальной, что в свою очередь обеспечивает стабильность выходного напряжения генератора; Н – нагрузка.

Преобразование энергии газа в магистральном трубопроводе происходит в следующей последовательности:

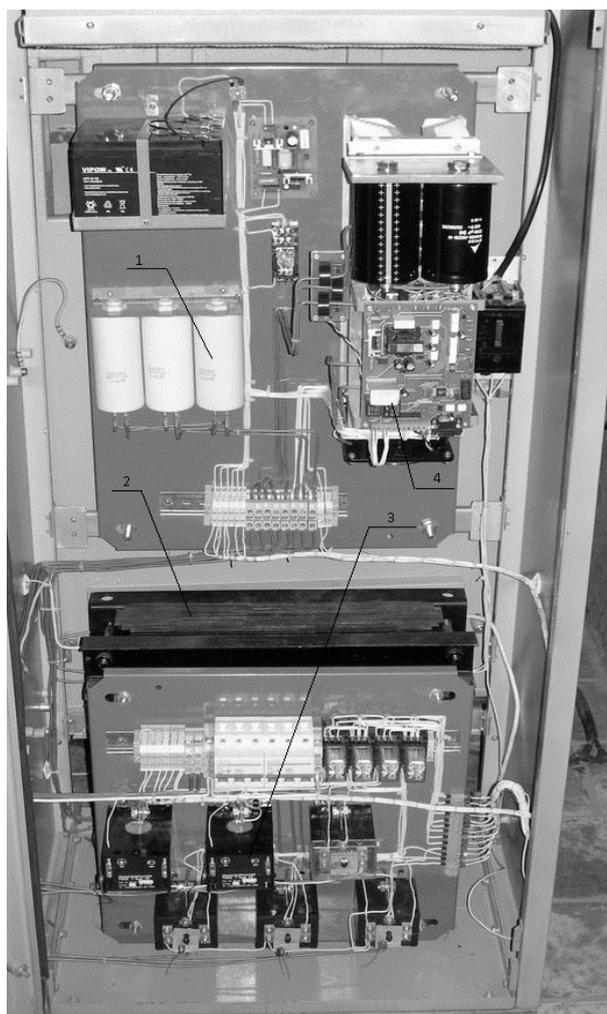


Рис. 2 – Функциональная схема автономного источника питания

Газ от магистрали, подача которого регулируется вентилями, подается на ТД колесо которого, под давлением газа, приходит во вращение. Давление газа на выходе ТД понижается до значений требуемых потребителями. Вращательное движение ТД передается сочлененному с ним валами АМ, работающей в генераторном режиме и создающий для ТД тормозной момент. Благодаря наличию, подключенных к статорным обмоткам, конденсаторов самовозбуждения обеспечивается наличие переменного намагничивающего тока в статорной обмотке. Наводимое в статорных обмотках переменное напряжение выпрямляется неуправляемым мостовым выпрямителем, что исключает наличие постоянной составляющей магнитного потока в магнитной системе машины. Выпрямленное напряжение сглаживается емкостным фильтром, выполненным на основе электролитических конденсаторов. Это напряжение является напряжением питания для АИН, преобразующего постоянный ток в переменный, требуемый для нагрузок ГРС и ГРП, согласно технического задания. Вторым потребителем постоянного тока является ШИП с балластной нагрузкой в виде ТЭН, величина балластной нагрузки регулируется ШИП, благодаря регулятору напряжения, таким образом, чтобы изменение балластной нагрузки компенсировало изменение нагрузки инвертора, поддерживая при этом, напряжение на выходе выпрямителя, на заданном уровне. Такой принцип регулирования напряжения в свою очередь обеспечивает достаточную стабильность рабочей точки АГ, что очень важно, в связи с существующей зависимостью выходного напряжения от величины нагрузки.

С учетом сформулированных принципов, на кафедре «Автоматизированные электромеханические системы» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» изготовлено и передано для эксплуатации в ЧАО «Турбогаз» 4 комплекта электрооборудования источника электропитания, один из которых установлено на ООО «ГАЗПРОМТРАНСГАЗ ВОЛГОГРАД» (Российская Федерация) на станции ЛПУ МГ АГРС-5, что подтверждено соответствующим актом внедрения. Фото разработанного источника представлено на рис. 2.

Список литературы: 1. Truston A. Recovering energy in gas pressure reduction / Truston A. //Constr. and Instrum. – 1991. – №5., 2. Язык А.В. Утилизация потенциальной энергии газа на газораспределительных станциях в детандерных установках / ВНИИЭГазпром. – 1988. – вып. 4., 3. В.Б. Клепиков, В.И. Колотило, А.Н. Моисеев, Е.Ф. Банев. Синтез структуры источника электроэнергии для газотранспортной сети / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. –Кременчук: КДПУ. – 2007. – Ч.2, вип. 4(45). – С. 29 – 30., 4. В.Б. Клепиков, В.И. Колотило, А.Н. Моисеев, Е.Ф. Банев. Обеспечение качества выходного напряжения энергосберегающего автономного источника электроэнергии для газотранспортных сетей / Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. – Дніпродзержинськ: ДДТУ. – 2007. – Тематичний вип. – С. 543 – 544., 5.Макропром [электронный ресурс]. Режим доступа: http://http://www.mpelectro.su/dir/vepr/vepr_adp12_t400v_bc/34-1-0-90., 6. Freris, L. Wind Energy Conversion Systems / Freris, L. – London: Prentice Hall, 1990. 7. Украинская альтернативная энергетика [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wind.ae.net.ua>.

Bibliography (transliterated): Truston A. Recovering energy in gas pressure reduction / Truston A. //Constr. and Instrum. – 1991. – №5. , 2. Yazik A.V. Ytilizacija htencialnoi energii gaza na gazorashreditel'nykh stancijax v detandernyx ustanovkax / VNIIE-Gasprom. – 1988. – 4., 3. Klepikov V.B., Kolotilo V.I., Moiseev A.N., Banev E.F. Sintez stryktury istochnika elektroenergii dlja gazotransportnix / Vistnik Kremenchytskogo derjavnogo politexnichnogo universitetu imeni Mixaila Ostrogradskogo. –Kremenchyk: KDPY. – 2007.2.4(45). 29 – 30. print, 4. Klepikov V.B., Kolotilo V.I., Moiseev A.N., Banev E.F. Obespechenie kachestva vixodnogo naprjajeniya avtonomnogo istochnika elektroenergii / Dniprodzerjinsk : DDTY – 2007. 543–544 print., 5.Макропром [elektronnij resyrs]. Rejim dostypa: http://http://www.mpelectro.su/dir/vepr/vepr_adp12_t400v_bc/34-1-0-90., 6. Freris, L. Wind Energy Conversion Systems / Freris, L. – London: Prentice Hall, 1990. 7. Ykrainskajaalternativnaja energetika [elektronnij resyrs]. Rejim dostypa: <http://wind.ae.net.ua>.

Поступила (received) 24.08.2015