DOI: 10.17117/na.2014.02.148

Поступило в редакцию: 01.12.2014

<http://ucom.ru/doc/na.2014.02.148.pdf>**Крюков О.В., Серебряков А.В.****Проблемы оптимизации ветроэнергетических установок
для систем электроснабжения газопроводов****Kryukov O.V., Serebryakov A.V.****The problems of optimization of wind power plants for
systems of electrical supply of gas pipelines**

Рассмотрены возможности использования альтернативных источников энергии для вдольтрассовых потребителей газопроводов. Предложены энергоэффективные источники на базе ветроэнергетических установок

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, автономный источник, вдольтрассовые потребители, газопровод

There considered the possibilities of use of alternative energy sources for along the route consumers of gas pipelines. Power efficient sources on the base of wind power plants are offered

Key words: wind power plant, independent source, along the route consumers, gas pipeline

Крюков Олег Викторович*Кандидат технических наук, доцент**ОАО «Гипрогазцентр»**г. Нижний Новгород, ГСП-926, ул. Алексеевская, 26***Kryukov Oleg Viktorovich***Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**JSC «Giprogazcenter»**Nizhny Novgorod, GSP-926, Alekseevskaya st., 26***Серебряков Артем Владимирович***Кандидат технических наук, доцент**Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева**г. Нижний Новгород, ГСП-41, ул. Минина, 24***Serebryakov Artem Vladimirovich***Candidate of Engineering, Associate Professor**Nizhny Novgorod State Technical University named R.E. Alekseev**Nizhny Novgorod, GSP-41, Minina st., 24*

Особенность географического положения Российской Федерации и наличие больших территорий (около $\frac{2}{3}$) с низкой плотностью населения 20 млн. человек обуславливает необходимость автономного энергообеспечения их электроэнергией. В качестве автономных источников электроэнергии (АИЭ) здесь использовались дизельные электростанции и котельные агрегаты на угле, мазуте или другом невозобновляемом топливе. Однако эти средства энергообеспечения становятся сегодня все более затратными (с тарифами на электроэнергию до 100 руб./кВт·ч) и неэкологичными [1].

Вместе с тем, в отечественной и мировой электроэнергетике уже накоплен большой опыт создания и использования современных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) как альтернатива или в сочетании с углеводород-

ными [2]. Суммарная мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ) в мире достигла 194 ГВт с КПД до 0,593 и выработкой более 430 ТВт·ч в 2012 году.

Инновационные исследования по совершенствованию возобновляемых и комбинированных АИЭ не потеряли актуальности и в настоящий момент [3, 4]. Более того, новая аппаратная база электромашиностроения, силовой электроники и микропроцессорной техники дополнительно стимулирует разработчиков на создание высокотехнологичных, энергоэффективных, надежных и быстро окупаемых агрегатов и систем [5, 6]. Особенно это актуально для систем электроснабжения (СЭС) вдольтрассовых потребителей газотранспортных систем России, где высоки требования по обеспечению надежности, экологичности и энергоэффективности АИЭ [7-9].

Несмотря на большую историю проектирования и создания СЭС на базе ВЭУ и наличия нормативных документов государственного масштаба, исследованиям по повышению энергоэффективности, устойчивости, экологичности и надежности их работы уделяется недостаточное внимание. Типовые решения СЭС с ВЭУ реализуют только частные задачи, не обеспечивая комплекса проблем создания конкурентоспособных интеллектуальных источников электроснабжения (ИИЭ) на основе принципов активно-адаптивных «разумных» электросетей [10-12]. Принятые в последнее время нормативные акты РФ стимулируют поиск инновационных энергосберегающих технологий СЭС на базе ВЭУ для объектов и потребителей различных отраслей (сельскохозяйственных, геологоразведочных, газотранспортных и проч.).

В настоящее время доля ВИЭ в России составляет 0,6-0,8 % объема внутреннего энергопотребления, а в промышленно развитых странах достигает 5-30 %. В то же время, годовой ветроэнергетический потенциал России при скорости ветра 5-7 м/с в 2000 раз превышает ее сегодняшний объем производства. В отдельных районах, где трудно решаются вопросы энергоснабжения: Крайний Север, побережья океанов, отдаленные сельские районы и т.д. и, эти регионы характеризуются низкой плотностью энергетической нагрузки, большим количеством мелких и распределенных потребителей (включая объекты газодобычи и транспорта газа), подключение которых к центральным сетям нерентабельно, целесообразно применение АИЭ, позволяя сэкономить топливо и улучшить экологическую обстановку.

Перечисленные факторы играют решающую роль при принятии решений о развитии альтернативных АИЭ СЭС вдольтрассовых потребителей (ВТП). Совершенствование их сейчас идет ускоренными темпами с акцентами на экологичность и быструю окупаемость. Кроме того, фактором, играющим в пользу развития генерирующих мощностей на базе АИЭ, является ожидаемое повышение цен на природный газ. В этих условиях целесообразность использования природного газа в качестве топлива существенно снижается даже для объектов газотранспортных предприятий, в особенности ВТП.

Анализ требований к СЭС вдольтрассовых потребителей магистральных газопроводов

Основными линейными потребителями (ВТП) электроэнергии являются:
– установки электрохимической защиты (ЭХЗ),

- контролируемые пункты линейной телемеханики (КП ТМ),
- оборудование радиорелейной (РРЛ) связи,
- газоизмерительные станции (ГИС),
- узлы запуска (приема) очистных устройств (УЗОУ, УПОУ),
- газораспределительные станции (пункты) (ГРС, ГРП),
- узлы редуцирования газа (УРГ),
- дома операторов, линейных обходчиков (ДО, ДЛО),
- вертолетные площадки (ВЛП) и др.

Технические характеристики основных ВТП представлены в таблице 1.

Суммарная мощность этих потребителей достигает по разным газотранспортным предприятиям от 0,25 до 9 МВт, а протяженность вдольтрассовых ЛЭП от 150 – 4800 км. Подобный разброс параметров предполагает при проектировании СЭС каждого участка индивидуальный адаптированный подход к формированию источников и схемы АИЭ.

Таблица 1. Технические характеристики основных ВТП

Наименование объекта ВТП	Категория надежности СЭС по СТО Газпром 2-6.2-149-07	Средняя мощность, кВт	Основной источник питания	Резервный источник питания
Установки ЭХЗ	2	7	ВЛ-(6)10кВ	ВЛ-(6)10кВ, АИЭ
КП ТМ	1	5	ВЛ-(6)10кВ	АИЭ
РРЛ связь	1	5	ВЛ-(6)10кВ	АИЭ
ГИС	1	20	ВЛ-(6)10кВ	ВЛ-(6)10кВ, АИЭ
УЗОУ	3	2	ВЛ-(6)10кВ АИЭ	---
УПОУ	1	2	ВЛ-(6)10кВ	ВЛ-(6)10кВ, АИЭ
ГРС, ГРП	3	40	ВЛ-(6)10кВ	---
УРГ	3	15	ВЛ-(6)10кВ АИЭ	---
ДО, ДЛО	3	10	ВЛ-(6)10кВ	---
ВЛП	2	3	ВЛ-(6)10кВ	АИЭ

Структурообразование современных СЭС ВТП определяется их индивидуальными особенностями, среди которых главными являются:

- значительная протяженность газопроводов и рассредоточенность ВТП,
- удаленность объектов от внешних энергоисточников и центральных сетей,
- малые электрические нагрузки линейных потребителей (2 – 40 кВт).

Принципы построения СЭС ВТП

Надежность СЭС линейных потребителей является главным фактором, обеспечивающим стабильное и безаварийное состояние газотранспортных систем. Современные СЭС линейных потребителей МГ проектируются в соответствии с тремя основными вариантами (рис. 1).

Рис. 1. Основные варианты проектирования СЭС

Вариант 1. Централизованное электроснабжение от вдольтрассовой ВЛ-6(10) кВ, запитанной от распределительных устройств компрессорных станций или распределительных сетей ПС 110/10; 35/10 кВ. Требование по категорийности обеспечиваются установкой в линии автоматизированных секционирующих пунктов и пунктов АВР. Данные схемы отличаются относительной надежностью, возможностью дистанционного управления, гибкостью алгоритма управления, ресурсом до 50 лет, но имеют существенный недостаток – высокая стоимость строительства и подключения ЛЭП. На рис. 2 представлена типовая структурная схема электроснабжения линейных потребителей газопроводов.

Рис. 2. Структурная схема СЭС ВТП

Рис. 3. Схема и фото СЭС ВТП на базе БКЭС с АИЭ

Вариант 2. Комбинированная система электроснабжения с питанием от внешних источников (сетей МРСК) в районе размещения ВТП, с установкой понижающей ТП 6(10)/0,4 кВ. Требования по категорийности надежности СЭС обеспечивается установкой на площадке АИЭ (ДЭС, ПЭ «ОРМАТ», ВТЭ, МТ).

Именно комбинированные СЭС наиболее предпочтительны сегодня для линейных потребителей, т.к. обладают достаточной надежностью и гибкостью, обеспечивая работу всех установок независимо от наличия топливного газа и сохраняя оптимальную протяженность питающих ВЛ-6(10) кВ.

Вариант 3. В районе размещения площадок ВТП где отсутствуют ВЛ 6(10) кВ применяются полностью автономные системы, например, основным источником электроснабжения является ПЭ «ОРМАТ», резервным источником мо-

жет выступать ДЭС, ВТЭ и другие источники. На рис. 3 представлена структурная схема электроснабжения по варианту 3.

Независимое (автономное) электроснабжение с питанием от АИП на основе топливного газа требует существенно меньше капитальных затрат, но обладает прямой зависимостью от наличия топливного газа и необходимость мониторинга состояния и режимов работы оборудования, стоимость автономных источников в настоящее время достаточно высока.

Примеры построения ВЭУ на объектах ВТП

Исходя из стохастического характера амплитудно-частотных характеристик ветрового потока при законе распределения Вейбулла-Гудрича скоростей ветра (рис. 4), на объемы и качество выработки электроэнергии ВЭУ влияет обоснованный выбор параметров синхронного генератора (СГ) ($P_{уст}$, ω_0) и работа ветротурбины в оптимальных точках соответствующих диапазонов скоростей ветра.

Так в условиях 115 метеостанций РФ расчет основных энергетических характеристик ветра (среднегодовой скорости ветра V_0 , удельной валовой мощности $N_{уд}$, коэффициента вариации C_v) показал, что диапазон их вариаций достаточно широк и составляет: $V_0 = 1,39 \div 7,48$ м/с; $N_{уд} = 0,01 \div 0,565$ кВт/м². При этом ВЭУ с переменной частотой вращения ветроколеса имеют потенциальную возможность преобразовывать энергию ветра в электрическую с большим коэффициентом использования энергии ветра даже при низких скоростях.

P – мощность выходная, о.е.; n – частота вращения вала, 1000 об/мин; V_1 – V_5 – линейные скорости ветров, K – линия максимального съема мощности потока

Рис. 4. Мощностные характеристики ветротурбин

Для получения режимов максимальной энергоэффективности работы ВЭУ в локальных СЭС в условиях случайного характера ветрового потока и потребления необходимо автоматически обеспечивать работу ВЭУ в оптимальных областях средствами электромеханической части АИЭ.

Наибольшее влияние на процесс выработки электроэнергии ВЭУ оказывают значения стохастических параметров, имеющих метеорологическую (климатическую) и технологическую природу:

- величина линейной скорости ветра V , м/с;
- плотность воздуха в ветровом потоке ρ , кг/м³, зависящая от текущих значений атмосферного давления p_a , МПа, и температуры T_b , °К, воздуха в соответствии с уравнением Клапейрона;
- энергопотребление $W_{\text{потр}}$, кВт·ч, включая электрическую и тепловую мощности у потребителей (параметр G_m).

Задание управляющего воздействия на ПЧ или мультипликатор должно изменяться по аналитическим регрессионным алгоритмам вида:

$$U_z = f(V, p_a, T_b, G_m) \quad (1)$$

Для реализации функции (1) необходимо использовать базу метеоданных для региона предполагаемого размещения ВЭУ и статистически обработать их методами планирования эксперимента. Искомые многопараметрические зависимости получены в виде нелинейных и линеаризованных регрессионных моделей с использованием матричных способов наименьших квадратов.

Математические модели алгоритма управления ПЧ-СГ ВЭУ для работы в оптимальной области получены на основе информации о параметрах работы или экспериментальных данных прототипа. Для этого в (1) найдены параметры “ a_j ” линеаризованной четырехфакторной модели вида

$$U_z = a_1 V + a_2 p_a + a_3 T_b + a_4 G_m + \zeta, \quad (2)$$

где ζ – матрица помех (неучтенных факторов).

В результате расчетов по модели (2) для ВЭУ типа «Бриз-5000», расположенных на побережье Ладожского озера, получено 4-факторное уравнение линеаризованной регрессии:

$$U_z = 12,214 * V + 0,219 * p_a + 0,92 * T_b - 0,022 * G_m + 9,602 \quad (3)$$

которое является искомым алгоритмом инвариантного задания и управления электромеханической системой ВЭУ. Как видно из выражения (3) наибольшее влияние имеют факторы V (12,214) и T_b (0,92). Поэтому в упрощенных системах можно ограничиться вычислением только данных параметров ветра.

Аналогично найдены линеаризованные регрессионные уравнения для двухфакторной модели, учитывающей влияние только скорости ветра и температуры окружающего воздуха T_b по сухому термометру:

$$U_{z2} = 3,899 * V + 0,384 * T_b + 30,988 \quad (4)$$

Ковариационный анализ полученных зависимостей (3) и (4) показал, что данные регрессионные алгоритмы в полной мере отслеживают текущие входные возмущения и корректируют максимум выработки электроэнергии.

Автоматическая стабилизация выходного напряжения ВЭУ обеспечивается в системе инвариантного регулирования СГ-ПЧ (рис. 5), которая содержит: датчики измерения внешних возмущающих воздействий; блок расчета оптимальной скорости вала СГ; ПИ-регулятор напряжения на выходе ВЭУ; система генерирования ПЧ-СГс законом управления $U/f^2 = \text{const}$, датчик выходного напряжения, механическая часть ВЭУ.

$U_{трёб}$ – задающий сигнал напряжения; U_3 – задающее воздействие по оптимизации ветрового потока; U – управляющее воздействие ПЧ, $U_{вых}$ – выходное напряжение ВЭУ

Рис. 5. Структура комбинированной САР локальной ВЭУ

$U_{от}$ – сигнал обратной связи по выходному току $I_{вых}$ (мощности), $\omega_{ф}$ – скорость вала ветроколеса; $U_{вых}$ – выходное напряжение ВЭУ

Рис. 6. Структура комбинированной САР локальной ВЭУ

Основным недостатком данной схемы является необходимость установки ступенчато регулируемого мультипликатора, который автоматически подстраивает частоту вращения СГ под съем максимальной мощности в соответствии с характеристиками рис. 4. Поэтому при наличии возможности стабилизации выходного напряжения средствами автоматической разгрузки потребителей, балластной нагрузки или внутреннего контура стабилизации СГ, можно

применять структуру с контуром регулирования выходного тока (рис. 6). На данные структуры ВЭУ получен ряд патентов на полезные модели.

Работа данных схем более подробно описана в работах [3-5,13] и монографиях [1], а также в патентах ОАО «Гипрогазцентр» [14-20].

Выводы

– Анализ состояния СЭС ВТП показал, что надежное и энергоэффективное энергоснабжение автономных объектов является актуальной проблемой. В результате анализа режимов работы автономных АИЭ и структур ВЭУ выработаны технические требования к комбинированным СЭС для энергоэффективного электроснабжения удаленных потребителей.

– Исследования новых структур автономных СЭС с ВЭУ на базе СГ-ПЧ, показали их преимущества по сравнению с традиционными. Установлено, что работа ВЭУ с СГ-ПЧ на оптимальных режимах обеспечивается новыми законами управления с увеличением выработки электроэнергии до 30-50%.

– ВЭУ представлена как объект теории планирования эксперимента с инвариантной САУ, обеспечивающей высокие показателями качества электроэнергии. Разработаны модели элементов АГК, включая ВЭУ, СГ-ПЧ и СЭС в виде уравнений линейных регрессий, отслеживающие возмущения и корректирующие максимум выработки энергии.

– Техничко-экономическое сопоставление существующих вариантов централизованных СЭС, АИЭ на базе передвижных ДЭУ и СЭС ВТП на базе новых ВЭУ показал экономическую эффективность последних в перспективе.

Список литературы:

1. Пужайло А.Ф., Савченков С.В., Крюков О.В. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: Монография. Н. Новгород: Вектор ТиС. 2012.
2. Воронков В.И., Рубцова И.Е., Крюков О.В. Выбор структуры автономных источников электроснабжения для вдольтрассовых потребителей // Газовая промышленность. 2012. №9. С. 38-44.
3. Серебряков А.В., Крюков О.В. Оптимизация управления ВЭУ при стохастических возмущениях // Промышленная энергетика. 2013. №5. С. 45-49.
4. Крюков О.В., Васенин А.Б., Серебряков А.В. Разработка интеллектуальных систем с альтернативными источниками энергии для потребителей магистральных газопроводов // X Международный симпозиум "Интеллектуальные системы (INTELS'2012)". Вологда: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 25-29 июня 2012. С. 532-536.
5. Серебряков А.В. Энергоэффективные ветроэнергетические установки с оперативной диагностикой для автономных систем электроснабжения // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук по спец. 05.09.03. ИГЭУ, Иваново, 2013. 171с.
6. Крюков О.В., Васенин А.Б., Серебряков А.В. Нечеткие модели и алгоритмы управления ветроэнергетическими установками // V научная конференция «Управление в технических системах» МКПУ-2012. СПб.: ИПУ РАН, 9-11 октября 2012. С. 467-469.
7. Серебряков А.В., Крюков О.В. Малая энергетика с возобновляемыми источниками – новые технические возможности технологий SMART GRID // XLII МНТК «Федоровские чтения». М.: МЭИ, 2012. С. 141-143.
8. Крюков О.В., Васенин А.Б., Титов В.Г. Концепция систем автономного электроснабжения объектов ОАО «Газпром» // XII Всемирный электротехнический конгресс (ВЭЛК-2011). М.: ВЭИ. 4-5 октября 2011. С. 28-30.
9. Спиридович Е.А., Васенин А.Б., Крюков О.В. Техничко-экономический анализ применения ВЭУ для питания вдольтрассовых потребителей // IV МНТК «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» (GTS-2011). М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Т.1. 26-27 октября 2011. С. 145-163.

10. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В. Системы электроснабжения на принципах SMART GRID для объектов магистральных газопроводов // Автоматизация в промышленности. 2012. №4. С. 36-38.
11. Серебряков А.В., Крюков О.В. О новых возможностях технологий SMART GRID // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №2. С.47-48.
12. Крюков О.В., Серебряков А.В., Васенин А.Б. Активно-адаптивные алгоритмы управления автономными генераторными комплексами // XIV МНТК ICEEE-12. М.: МЭИ. 23-29 сентября 2012. С. 216-218.
13. Крюков О.В. Регрессионные алгоритмы инвариантного управления электроприводами при стохастических возмущениях // Электричество. 2008. №9. С. 44-50.
14. Васенин А.Б., Крюков О.В., Титов В.Г. Автономная система бесперебойного электроснабжения, использующая возобновляемый источник энергии // Патент №113615, МПК H02J 3/00. ОАО "Гипрогазцентр". Оpubл. 20.02.2012.
15. Васенин А.Б., Крюков О.В., Серебряков А.В. Энергетический комплекс // Патент №113085, МПК H02J 3/00, H02J 3/46. ОАО "Гипрогазцентр". Оpubл. 27.01.2012.
16. Серебряков А.В., Крюков О.В., Степанов С.Е. Программа работы интеллектуальной сети с ВЭУ и Ормат // Свидетельство о гос. регистрации программы №2012661453. ОАО «Гипрогазцентр». М.: Реестр программ ФСИС, 18.12.2012.
17. Крюков О.В., Серебряков А.В. Оптимизация энергопотребления автономных объектов транспорта газа // XXI МНТК «Информационные системы и технологии» (ИСТ-15), Н. Новгород, НГТУ, 17 апреля 2015. С. 167-168.
18. Васенин А.Б., Крюков О.В. Новые гибридные энергоисточники для питания линейных потребителей ОАО «Газпром» // XXI МНТК «Информационные системы и технологии» (ИСТ-15). Н. Новгород, НГТУ, 17 апреля 2015. С. 163-164.
19. Крюков О.В. Стратегии инвариантных систем управления электроприводами объектов ОАО «Газпром» // Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления (SICPRO'15)». Секция «Приложения методов идентификации 1». М.: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова. 26-29 января 2015. С. 368-386.20.
20. Крюков О.В., Серебряков А.В. Система оперативной диагностики технического состояния ВЭУ // Электротехника. №4. 2015. С. 49-53.

References:

1. Puzhaylo A.F., Savchenkov S.V., Kryukov O.V. Energy saving and automation of electrical equipment of compressor stations: Monograph. N. Novgorod: Vector TiS, in 3 volumes. 2012.
2. Voronkov V.I., Rubtsova I.E., Kryukov O.V. Selection of independent power supply source structure for consumers along the route // Gas industry. 2012. №9. P. 38-44.
3. Serebryakov A.V., Kryukov O.V. Optimization of WDPP control under stochastic disturbances // Industrial energetics. 2013. №5. P. 45-49.
4. Kryukov O.V., Vasenin A.B., Serebryakov A.V. Development of intelligence systems with alternative energy sources for main gas pipelines consumers // X International symposium "Intelligence systems (INTELS'2012)". Vologda: N.E. Bauman MVTU, 25-29 June 2012. P. 532-536.
5. Serebryakov A.V. Power efficient wind-driven power plants with on-line diagnostics for self-contained utility system // Ph.D. thesis in Engineering Science with the speciality 05.09.03. IGEU. Ivanovo. 2013. P. 171.
6. Kryukov O.V., Vasenin A.B., Serebryakov A.V. Fuzzy models and control algorithms of wind-driven power plants // V scientific conference «Control in engineering systems» MKPU-2012. St. Petersburg: IPU RAN, 9-11 October 2012. P. 467-469.
7. Serebryakov A.V., Kryukov O.V. Small energy with renewable sources – new technical capabilities of SMART GRID technologies // XLII MNTK «Fedorov readings». M.: MEI, 7-9 November 2012. P. 141-143.
8. Kryukov O.V., Vasenin A.B., Titov V.G. Concept of self-contained utility systems of Gazprom facilities // XII World Electrotechnical Congress (WEC-2011). M.: VEI. 4-5 October 2011. P. 28-30.
9. Spiridovich E.A., Vasenin A.B., Kryukov O.V. Technoeconomic study of WDPP application for consumers supply along the route // IV MNTK «Gas transport systems: present and future» (GTS-2011). M.: OOO «Gazprom VNIIGAZ». T.1. 26-27 October 2011. P. 145-163.
10. Vasenin A.B., Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Power supply systems at SMART GRID principles for main gas pipelines facilities // Automation in industry. 2012. №4. P. 36-38.
11. Serebryakov A.V., Kryukov O.V. Concerning new capabilities of SMART GRID technologies // Electrical equipment: operation and maintenance. 2013. №2. P. 47-48.

12. Kryukov O.V., Serebryakov A.V., Vasenin A.B. Smart control algorithms of independent generator complexes // XIV MNTK ICEEE-12. M.: MEI. 23-29 September 2012. P. 216-218.
13. Kryukov O.V., Regression algorithms of electric drives invariant control under stochastic disturbances // *Electricity*. 2008. №9. P. 44-50.
14. Vasenin A.B., Kryukov O.V., Titov V.G. Independent uninterruptible power supply system using renewable energy source // Patent №113615, IPC H02J 3/00. JSC "Giprogazcenter". issued on 20.02.2012.
15. Vasenin A.B., Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Energy complex // Patent № 113085, IPC H02J 3/00, H02J 3/46. JSC "Giprogazcenter". issued on 27.01.2012.
16. Serebryakov A.V., Kryukov O.V., Stepanov S.E. Smart grid operation program with WDPP and Ormat // State program registration certificate №2012661453. JSC "Giprogazcenter". M.: FSIS programs register, 18.12.2012.
17. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. Optimization of power consumption of independent gas transport facilities // XXI MNTK «Information systems and technologies» (IST-15). N. Novgorod. NGTU, 17 April 2015. P. 167-168.
18. Vasenin A.B., Kryukov O.V. New hybrid energy sources for supply of Gazprom linear consumers // XXI MNTK «Information systems and technologies» (IST-15), N. Novgorod. NGTU, 17 April 2015. P. 163-164.
19. Kryukov O.V. Strategies of electric drives invariant control systems of Gazprom facilities // Transactions of X International conference «Identification of systems and control problems (SICPRO'15)». Session «Applications of identification methods 1». M.: Trapeznikov IPU RAN. 26-29 January 2015. P. 368-386.20.
20. Kryukov O.V., Serebryakov A.V. System of on-line diagnostics of WDPP technical condition // *Electrical engineering*. №4. 2015. P. 49-53.

© 2014, Крюков О.В., Серебряков А.В.

Проблемы оптимизации ветроэнергетических установок для систем электроснабжения газопроводов

© 2014, Kryukov O.V., Serebryakov A.V.

The problems of optimization of wind power plants for systems of electrical supply of gas pipelines