

УДК 620.314 (075.8)

UDC 620.314 (075.8)

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ
ЭНЕРГИИ**

**COMBINED SYSTEMS OF ELECTRICITY
SUPPLY BASED ON RENEWABLE ENERGY
SOURCES**

Новокрещенов Олег Валентинович
старший преподаватель
SPIN-код: 4070-3713
hutorok2001@mail.ru

Novokreshchenov Oleg Valentinovich
senior lecturer
SPIN-code: 4070-3713
hutorok2001@mail.ru,

Отмахов Георгий Сергеевич
студент
grigorasch61@mail.ru

Otmakhov Georgiy Sergeevich
student
grigorasch61@mail.ru

Хуаде Мурат Юсуфович
студент
murat517@bk.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар,
Россия*

Huade Murat Yusufovich
student
murat517@bk.ru
*Kuban state agrarian University named
after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia*

В настоящее время в мире широко используются комбинированные (гибридные) системы электроснабжения, выполненные с использованием возобновляемых и традиционных источников энергии. В статье рассматривается типовая структурная схема комбинированной системы электроснабжения. Раскрываются конструкция и особенности работы трёх типов структурно-схемных решений комбинированных систем электроснабжения, а также основные их достоинства и недостатки. Рассматриваются особенности выбора и расчёта параметров основных функциональных элементов комбинированной системы. Раскрываются основные характеристики солнечных батарей и приводятся аналитические выражения для расчёта их основных параметров. Приведены основные характеристики аккумуляторных батарей и особенности расчёта емкости аккумуляторных батарей, работающих в автономных системах. Раскрыты особенности выбора инверторов напряжения, показано, что кроме номинального входного и выходного напряжения необходимо учитывать и другие их характеристики, оказывающие влияние на работу автономной системы электроснабжения. Показано, когда целесообразно применять электромеханические генераторы для питания автономных потребителей. Рассмотренные в статье типы структурных решений и особенности выбора основных функциональных элементов комбинированных систем электроснабжения повысят эффективность их проектирования

Currently, there are widely used combined (hybrid) power systems in the world, made using renewable and conventional sources of energy. The article discusses a typical structural scheme of a combined system of electricity supply; it also shows the design and the characteristics of three types of structural circuit design of combined power systems and their main advantages and disadvantages. Peculiarities of the choice and calculation of parameters of the basic functional elements of the combined system have been presented. This study describes main characteristics of solar batteries and provides analytical expressions for the calculation of their main parameters. The main characteristics of batteries and the peculiarities of calculation of the capacity of storage batteries operating in autonomous systems have been listed. The features of selection of voltage inverters have shown that in addition to the nominal input and output voltage it is necessary to consider other characteristics that influence the work of autonomous power supply systems. It has been shown when it is desirable to use electromechanical generators to supply autonomous consumers. The types of structural solutions and the choice of the basic functional elements of combined power systems will increase the efficiency of their design

Ключевые слова: ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ

Keywords: RENEWABLE ENERGY, WIND AND

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ, ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ, КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ SOLAR POWER, COMBINED POWER SYSTEMS, SOLAR PHOTOVOLTAIC PLANTS, WIND POWER STATIONS, AUTONOMOUS POWER SOURCES

Doi: 10.21515/1990-4665-132-063

Сегодня для энергоснабжения потребителей целесообразно использовать одновременно несколько видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ), а также традиционных автономных источников электроэнергии (АИЭ), благодаря чему повышается надёжность электроснабжения и снижается топливная составляющая затрат [1–3].

Для ВИЭ важно то, что комбинирование ветряной и солнечной выработки электроэнергии особенно эффективно при круглогодичном характере потребления, поскольку зимой генерация солнечной энергии значительно падает, при этом, как правило, зима – самое ветряное время [4, 5].

Поэтому в настоящее время в мире широко внедрено понятие комбинированные (гибридные) системы электроснабжения (КСЭ), выполненные на базе ВИЭ и традиционных источников электроэнергии [6]. На рисунке 1 приведена типовая структурная схема комбинированной системы электроснабжения (КСЭ), выполненная на базе ВИЭ и традиционных АИЭ. Контроль параметров электроэнергии, управление и защиту КСЭ осуществляет система управления, которая на рисунке 1 не показана.

КСЭ могут быть трёх типов:

1) Автономная ветро-солнечная электростанция (ВСЭ). Такие станции работают при отсутствии внешней сети и содержат солнечную фотоэлектрическую станцию (СФЭС), ветроэнергетическую станцию (ВЭС) и аккумуляторные батареи (АБ). Кроме того, такие автономные

энергетические комплексы для повышения надёжности работы могут содержать дизельные, бензо- или газопоршневые электростанции.

2) *Сетевая ветро-солнечная электростанция.* Такие гибридные электростанции работают синхронизировано с внешней электрической сетью. В основном режиме функционирования потребители получают энергию от ВИЭ, а при недостаточном её количестве она поступает от внешней сети, а при её излишке – отдаётся в промышленную сеть. В этом режиме АБ и традиционные автономные источники электроэнергии (АИЭ), как правило, не используются.

3) *Система резервного электроснабжения.* В основном режиме функционирования в таких системах источником электроэнергии для потребителей является внешняя электрическая сеть. При пропадании внешней сети, источником питания для потребителей являются ВСЭ и АБ или традиционные АИЭ.

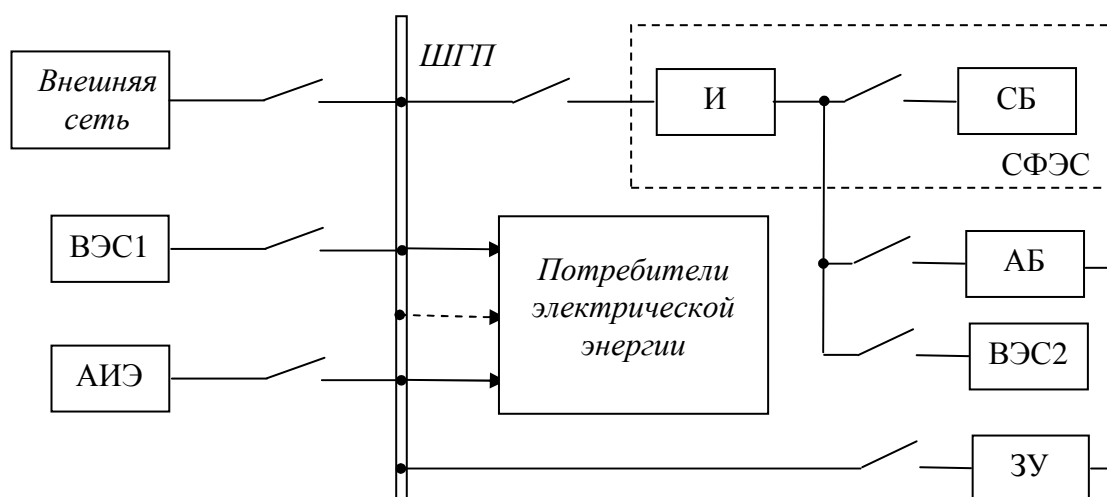


Рисунок 1 – Комбинированная система электроснабжения:

ВЭС1 и ВЭС2 – ветроэлектрические станции переменного и постоянного тока соответственно; АИЭ – традиционные автономные источники электроэнергии; СФЭС – солнечная фотоэлектрическая станция; И – инвертор; СБ – солнечные батареи; АБ – аккумуляторные батареи; ЗУ – зарядное устройство; ШГП – шина гарантированного питания

Рассмотренные типы комбинированных электростанций позволяют решать следующие задачи:

- осуществлять электроснабжение потребителей отдалённых от внешних электрических сетей;
- обеспечить бесперебойное электроснабжение ответственных потребителей при частых отключениях сети, колебаниях и отклонениях напряжения;
- уменьшить оплату за электрическую энергию при наличии внешней сети;
- повысить мощности сети при её недостатке (если есть ограничения к подключению сети, к примеру, не более 10 кВт, то добавить недостающую электроэнергию можно от ВСЭ).

Перспективным является направление разработки мобильных ВСЭ, содержащих АБ или (и) бензогенераторы. Мощность таких электростанций может достигать до 10 кВт и более.

Достоинства мобильных комбинированных электростанций:

- мобильность и оперативность развертывания;
- бесперебойное и качественное электроснабжение потребителей;
- существенное увеличение КПД станции за счёт оптимизации режимов работы различных источников электроэнергии;
- длительный ресурс работы до 15 лет, при незначительных затратах на обслуживание.

Основным недостатком мобильных комбинированных электростанций является их сравнительно небольшие мощности.

В общем случае при выборе функциональных элементов и проектировании КСЭ необходимо учитывать следующие факторы.

Солнечные электростанции привлекают длительным сроком службы СБ (от 25 лет) и меньшими эксплуатационными затратами. Однако в зимний период они вырабатывают меньше электрической энергии за счёт

более короткого светового дня. ВЭС в сравнении с СФЭС более производительны при той же стоимости, но менее надёжны из-за наличия механических подвижных частей, а также имеют относительно высокие эксплуатационные затраты (на обслуживание и ремонт).

По работе ветроэнергетических установок (ВЭУ) распространен миф, что они создают вредную вибрацию и низкочастотный шум. Это справедливо для установок мощностью от 100 кВт.

ВЭС и СФЭС хорошо дополняют друг друга (первые малопродуктивны летом, вторые – зимой), что позволяет создавать устойчивые системы электроснабжения.

Неотъемлемой частью КСЭ является инвертор, преобразующий напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока (см. рисунок 1). Как правило, инвертор и зарядное устройство (контроллер заряда и разряда) конструктивно объединены в один блок.

Комплектация КСЭ в основном определяется требованиями потребителей к качеству электроэнергии и надёжности электроснабжения.

Надёжные и необслуживаемые системы требуют больших финансовых затрат. Прежде всего стоит определиться, нужен ли бензо- или газогенератор, а если нужны, то какую долю составляют потребители переменного тока, так как целесообразно, чтобы СФЭС питали электроэнергией активную нагрузку (осветительную, нагревательную) или с высоким значением коэффициента мощности (от 0,85 и более).

Важными характеристиками КСЭ являются:

1. Суммарная номинальная мощность потребителей электроэнергии, которые могут быть включены одновременно (определяется по графику суточной нагрузки, но важно также учитывать сезонность работы потребителей). Это необходимо для выбора номинальной мощности инвертора.

2. Номинальное напряжение СБ и АБ, а также инвертора, от этого зависят эксплуатационно-технические характеристики системы. Чем больше напряжение, тем меньше потери электроэнергии, но с другой стороны сложнее согласовать выходные параметры АБ, СБ и инвертора с другими источниками электроэнергии и требованиями потребителей.

Целесообразно более подробно остановиться на выборе основных функциональных элементов СФЭС поскольку практически они определяют основные критерии эффективности энергетической системы.

Солнечные батареи

Основными характеристиками СБ являются [7]:

1. Номинальная мощность СБ в несколько раз меньше номинальной мощности КСЭ. На практике батарея площадью 1 м^2 позволяет получить мощность до 150 Вт при прямом солнечном свете в ясный полдень, в другое время дня генерируемая мощность составляет от 60 до 80 Вт. При другой погоде эта величина меньше (при лёгкой облачности – 30–50 Вт, при сплошной облачности – 10–25 Вт, в грозовую погоду меньше 5 Вт).

2. Номинальное напряжение, как правило 12 или 24 В, реже 48 В. При этом на холостом ходу СБ выдаёт напряжение примерно на 30% больше номинального.

3. Конструкция СБ. Если СБ имеет двухсторонние панели, то тыльная сторона в 2 раза меньше чувствительности к свету чем её основная сторона. По цене они незначительно дороже односторонних панелей.

При номинальной мощности 150 Вт СБ (включая алюминиевый каркас) имеет площадь около $1,5 \text{ м}^2$ и вес около 15 кг. При этом их стоимость в зависимости от фирмы производителя составляет от 10 до 25 тыс. руб.

Для расчёта необходимой мощности СБ необходимо определить мощность потребителей электроэнергии и рассчитать средний дневной расход электроэнергии по формуле

$$W = 1,2 \sum_{n=1}^m P_n t_n, \quad (1)$$

где 1,2 – коэффициент, учитывающий потери при преобразовании электроэнергии и в АБ;

P_n – номинальная мощность n -го потребителя в ваттах;

t_n – среднее время работы n -го потребителя в часах;

m – всего потребителей электроэнергии.

Поскольку потребности в электрической энергии в течение года неодинаковы, как и неодинакова производительность СБ, то расчёт по формуле (1) целесообразно проводить для каждого месяца.

Следующим этапом должен быть расчёт номинальной мощности СБ на основе данных о солнечной радиации для каждого сезона:

$$P_{ном} = \frac{W}{k_{СБ} k_A H_{СР}}, \quad (2)$$

где $k_{СБ}$ – поправочный коэффициент, учитывающий потери энергии в СБ, при этом для лета $k_{СБ} = 0,6$, осени и весны он равен 0,9, зимы – 1,2;

k_A – поправочный коэффициент, учитывающий влияние положения СБ на производительность. Если СБ неподвижно закреплена с оптимальным углом относительно горизонтали для соответствующего региона, то $k_A = 0,85$ для лета, 0,95 он равен для зимы и равен 1 для весны и осени. Если СБ установлена на поворотной платформе, то $k_A = 1,4$ для лета, 1.1 зимой и 1.25 весной и осенью.

Несложные расчёты, с учётом рассмотренных формул, показывают, что СБ номинальной мощностью 150 Вт в среднем ежедневно выдаёт 287 Вт·ч электрической энергии в декабре, в марте 684 Вт·ч, а в июне 802 Вт·ч.

На основе рассмотренных данных можно рационально использовать электрическую энергию, получаемую от СБ.

Рассмотренные расчёты имеют определённую погрешность, поскольку уровень солнечной радиации не бывает ежегодно постоянным, кроме того, рельеф, окружающий потребители электроэнергии, трудно учесть при расчётах. Поэтому для каждого конкретного случая необходимы статистические данные, основанные на наблюдениях в период от 5 до 10 лет.

Аккумуляторные батареи

Основными характеристиками АБ являются [7, 8]:

1. Тип АБ. В автономных системах, как правило, применяются кислотно-свинцовые АБ. Они, в свою очередь, по технологии изготовления и конструкции бывают нескольких видов. Из разных видов АБ этого типа для КСЭ важной является возможность работы в режиме глубокого разряда и недозаряда.

Кроме кислотно-свинцовых в составе КСЭ могут быть применены никель-кадмиевые и никель-железные АБ. Они практически совсем не боятся глубокого разряда и обладают рядом других преимуществ, но требуют более тщательного обслуживания (по сравнению с автомобильными кислотно-свинцовыми АБ). Эти АБ имеют низкий КПД – около 50–60% против 70–85% у кислотно-свинцовых. Срок их службы в несколько раз больше кислотно-свинцовых АБ и может достигать до 20 лет.

2. Номинальное напряжение АБ, как правило, равно 12 В.

3. Ёмкость АБ, определяется по формуле

$$C_{AB} = I_p t_p, \quad (3)$$

где I_p – ток разряда в амперах;

t_p – время разряда в часах.

К примеру, если АБ имеет ёмкость 60 А·ч, то она может питать лампу накаливания с номинальным током 5 А в течении 12 ч.

На практике ёмкость АБ используют не полностью, чтобы продлить их срок службы. Обычно глубина разряда составляет от 50 до 80 %, реже до 30%.

Часто ёмкость АБ определяют с учётом пасмурных дней, поскольку СБ в этот период вырабатывают меньше электроэнергии. В этом случае:

$$C_{AB} = \frac{nW}{U_H k_P}, \quad (4)$$

где n – расчётное количество пасмурных дней подряд;

W – дневная потребность в электрической энергии, Вт·ч;

U_H – номинальное напряжение, В;

k_P – коэффициент глубины разряда аккумулятора, в относительных единицах, к примеру, если глубина разряда составляет 50 %, то $k_P = 0,5$.

Формула (4) также имеет погрешности однако на первом этапе проектирования КСЭ её можно использовать.

Инверторы напряжения

Инверторы предназначены для преобразования напряжения постоянного тока 12/24 В в напряжение переменного тока 220 В.

Перед выбором инверторов кроме номинальных входного и выходного напряжений необходимо учитывать следующие характеристики [9, 10].

1. Номинальную мощность инвертора – подбирается в зависимости от мощности потребителей электроэнергии. Суммарная мощность включенных потребителей не должна превышать номинальную мощность инвертора напряжения.

2. Пиковая мощность – это мощность, которую инвертор может выдавать незначительный промежуток времени, как правило, не более

нескольких секунд. Это время связано со временем пуска электродвигателей. Обычно пиковая мощность инвертора в 3 раза больше номинальной мощности электродвигателя. Если это правило не соблюдается, то инверторы имеют защиту от перегрузок. Однако необходимо учитывать, что нет никаких гарантий, что электродвигатель запустится от инвертора и будет правильно работать.

3. Форма выходного тока инвертора – может быть синусоидальной или несинусоидальной (прямоугольной, трапецеидальной и т. п.). В первом случае инвертор примерно в 2 раза и более дороже инвертора с несинусоидальной формой тока. Не все потребители при несинусоидальной форме тока работают правильно. Так электродвигатели трансформаторы могут сильнее, чем обычно, нагреваться, падает их полезная мощность и КПД.

Сегодня цена инвертора напряжения примерно пропорциональна его мощности и составляет 12 – 14 тыс. руб за 1 кВт при синусоидальной форме тока и около 6 тыс. руб при несинусоидальной форме тока.

Электромеханические генераторы.

Когда появляется необходимость работы с мощным электроприводом, то в этом случае АБ и СБ с инвертором напряжения нецелесообразно использовать. В этом случае необходимо применять электромеханические генераторы с приводными двигателями, работающими на бензине, солярке или газе. Однако их необходимо применять как резервный источник электроэнергии, поскольку они имеют относительно небольшой ресурс, а также высокие эксплуатационные затраты [11, 12].

Электромеханический генератор работает относительно экономично лишь тогда, когда мощность нагрузки близка к его номинальной мощности.

Коммутационные аппараты

Одной из важных характеристик в автономных КСЭ являются электрические потери, которые связаны не только с электромагнитной совместимостью основных функциональных элементов, но и типами коммутационных аппаратов, применяемых в системе управления и защиты. Здесь необходимо использовать бесконтактные электрические аппараты, выполненные на базе силовых электронных приборов [10, 13].

Рассмотренные в статье типы структурных решений и особенности выбора основных функциональных элементов комбинированных систем электроснабжения повысят эффективность их проектирования.

Список литературы

1. Григораш О. В., Пугачев Ю. Г., Военцов Д. В. Возобновляемые источники электроэнергии: состояние и перспективы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 8. – С. 24 – 25.
2. Григораш О. В. Нетрадиционные автономные источники электроэнергии // Промышленная энергетика. – 2001. – № 4. – С. 37–40.
3. Григораш О. В., Усков А. Е., Власов А. Г. Ресурсы солнечной энергии, особенности конструкции и работы солнечных фотоэлектрических установок // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 43. – С. 263–266.
4. Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е. Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 32. – С. 189–192.
5. Григораш О. В., Богатырев Н. И., Курзин Н. Н. Нетрадиционные источники электроэнергии в составе систем гарантированного электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2004. – № 1. – С. 59–62.
6. Григораш О. В., Корзенков П. Г. Автономные системы электроснабжения на возобновляемых источниках энергии // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – № 09 (093). С. 646–658.
7. Усков А.Е. Автономные инверторы солнечных электростанций. – Краснодар: КубГАУ. – 2011. – 137 с.
8. Григораш О. В., Степура Ю. П., Усков А. Е. Статические преобразователи и стабилизаторы автономных систем электроснабжения. – Краснодар. – 2011. – 188 с.
9. Григораш О. В., Новокрещенов О. В., Хамула А. А. и др. Статические преобразователи электроэнергии. – Краснодар. – 2006. – 264 с.
10. Григораш О.В., Дацко А.В., Мелехов С.В. К вопросу электромагнитной совместимости узлов систем автономного электроснабжения // Промышленная энергетика. – 2001. – № 2. – С.44–47.
11. Птицын О.В., Григораш О.В. Генераторы переменного тока, состояние и перспективы // Электротехника. – 1994. – № 9. – С. 2 – 6.

12. Григораш О.В., Божко С.В., Попов А.Ю. и др. Автономные источники электроэнергии: состояние и перспективы. – Краснодар. – 2012. – 174 с.

13. Григораш О. В., Богатырев Н. И., Курзин Н. Н. и др. Электрические аппараты низкого напряжения. – Краснодар: КубГАУ. – 2000. – 313 с.

References

1. Grigorash O. V., Pugachev Ju. G., Voencov D. V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: sostojanie i perspektivy // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2007. – № 8. – S. 24 – 25.

2. Grigorash O. V. Netradicionnye avtonomnye istochniki jelektrojenergii // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 4. – S. 37–40.

3. Grigorash O. V., Uskov A. E., Vlasov A. G. Resursy solnechnoj jenerгии, osobennosti konstrukcii i raboty solnechnyh fotoelektricheskikh ustanovok // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 43. – S. 263–266.

4. Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii: terminy, opredelenija, dostoinstva i nedostatki // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 32. – S. 189–192.

5. Grigorash O. V., Bogatyrev N. I., Kurzin N. N. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii v sostave sistem garantirovannogo jelektrosnabzhenija // Promyshlennaja jenergetika. – 2004. – № 1. – S. 59–62.

6. Grigorash O. V., Korzenkov P. G. Avtonomnye sistemy jelektrosnabzhenija na vozobnovljaemyh istochnikah jenerгии // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – № 09 (093). S. 646–658.

7. Uskov A.E. Avtonomnye inventory solnechnyh jelektrostantsij. – Krasnodar: KubGAU. – 2011. – 137 s.

8. Grigorash O. V., Stepura Ju. P., Uskov A. E. Sticheskie preobrazovateli i stabilizatory avtonomnyh sistem jelektrosnabzhenija. – Krasnodar. – 2011. – 188 s.

9. Grigorash O. V., Novokreshhenov O. V., Hamula A. A. i dr. Sticheskie preobrazovateli jelektrojenergii. – Krasnodar. – 2006. – 264 s.

10. Grigorash O.V., Dacko A.V., Melehov S.V. K voprosu jelektromagnitnoj sovmestimosti uzlov sistem avtonomnogo jelektrosnabzhenija // Promyshlennaja jenergetika. – 2001. – № 2. – S.44–47.

11. Pticyн O.V., Grigorash O.V. Generatory peremennogo toka, sostojanie i perspektivy // Jelektrotehnika. – 1994. – № 9. – S. 2 – 6.

12. Grigorash O.V., Bozhko S.V., Popov A.Ju. i dr. Avtonomnye istochniki jelektrojenergii: sostojanie i perspektivy. – Krasnodar. – 2012. – 174 s.

13. Григораш О. В., Богатырев Н. И., Курзин Н. Н. и др. Электрические аппараты низкого напряжения. – Краснодар: КубГАУ. – 2000. – 313 с.