

# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.314.632

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И РАЗРАБОТКА ДИЗАЙНА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

*М.Ю. Федорова, Ю.И. Хохлов, А.В. Хлопова  
г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет*

## POWER EFFICIENCY INCREASE AND POWER SUPPLY SYSTEMS DESIGN DEVELOPMENT OF DISTANT DRILLING INSTALLATIONS OF OIL AND GAS EXTRACTION SYSTEM

*M.Y. Fyodorova, Y.I. Khokhlov, A.V. Khloпова  
Chelyabinsk, South Ural State University*

Рассмотрены принципы построения и характеристики компенсированной системы электроснабжения удаленных буровых установок нефтегазодобывающего комплекса. Приведены результаты конструкторских и дизайнерских решений предложенной системы.

*Ключевые слова:* компенсированная система электроснабжения, фильтр, трансформаторное корректирующее устройство, реактор, буровая установка, дизайн кабины бурильщика, конструктивное решение.

**Constructive principles and characteristics of a compensated power supply system of distant boring installations of an oil-and-gas extracting complex are considered. The results of constructive and design decisions of an offered system are given.**

*Keywords:* compensated power supply system, compensating unit, filter, transformer correcting unit, reactor, boring installation, a cabin of a borer, constructive decision, design.

Процессы стремительного развития силовой электроники и освоения месторождений нефти и газа в труднодоступных местах, удаленных от баз обслуживания и ремонта на многие сотни километров, обусловили создание для питания буровых установок (БУ) перспективных систем электроснабжения (СЭС) на основе частотно-регулируемого электрического привода переменного тока [1–4]. Такие СЭС, по сравнению с системами на базе электропривода постоянного тока, обладают повышенной надежностью в силу использования в них асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, в которых отсутствуют щеточно-коллекторный аппарат и подвергающиеся влиянию окружающей среды открытые токоведущие части. Однако несмотря на то, что указанные СЭС сняли и ряд других известных недостатков, характерных для систем с электроприводом постоянного тока, требуется дальнейшее их совершенствование в направлении снижения потерь и повышения качества электрической энергии. Во многом это связано с тем, что передача электрической энергии от питающих подстанций до БУ осуществляется по воздушным линиям электропередач (ЛЭП) с большими как индуктивными, так и активными

сопротивлениями. Следствием этого является значительное снижение напряжения на удаленных БУ. Дополнительным фактором, снижающим напряжение, служит то, что в этих условиях подключаемый на выходе ЛЭП выпрямительный агрегат переходит в глубокий режим работы. Это связано с тем, что длительность коммутации вентилей превышает период повторяемости процессов в агрегате. Снижение напряжения сопровождается одновременным возрастанием потребляемой агрегатом реактивной мощности и повышением несинусоидальности рабочего напряжения на автономных инверторах, питающих электрические двигатели лебедки, буровых и цементировочных насосов, роторного ствола, верхнего привода и других механизмов БУ. В результате возрастают потери и снижается качество электрической энергии. Для удаленных БУ снижение уровня и качества напряжения существенно превышает допустимые по ГОСТ 13109–97 значения. В результате процесс бурения на удаленных БУ становится затруднительным, а иногда и просто невозможным. Все это ограничивает возможное расстояние до БУ.

Эффективным путем снижения потерь, нормализации качественных показателей электриче-

ской энергии и увеличения указанного расстояния до БУ в данных условиях является применение компенсированных СЭС [5–8]. Принципиальная схема такой СЭС представлена на рис. 1. Указанная эффективность обусловлена следующими принципами, реализуемыми в таких СЭС. Известно, что компенсацию реактивной мощности наиболее целесообразно осуществлять непосредственно в месте ее потребления. Естественной является и необходимость минимизации установленной мощности компенсирующего устройства. В предлагаемых СЭС это обеспечивается путем включения компенсирующего устройства непосредственно в состав симметричного компенсированного выпрямителя (*СКВ*) и работой компенсирующего устройства на повышенной частоте.

В условиях переменной нагрузки, каковой является электропривод БУ, наиболее целесообразным является последовательное включение компенсирующего устройства, что и реализовано в *СКВ* предлагаемых СЭС. Это позволяет получить эффекты саморегулирования реактивной мощности и стабилизации выпрямленного напряжения *СКВ*, а следовательно, и напряжения на входах автономных инверторов  $AI_1...AI_n$  системы электроснабжения.

Для снижения несинусоидальности напряжений СЭС может быть использовано дальнейшее повышение фазности преобразования в выпрямительном агрегате. Однако это сопряжено с существенным усложнением и повышением типовой мощности преобразовательного трансформатора агрегата. Более эффективным является использованное в предлагаемых СЭС включение на входе выпрямительного агрегата пассивного фильтра одиннадцатой гармоники минимальной установленной мощности ( $\Phi$ ), в основном решающей задачу компенсации только мощности искажения.

При длине воздушной ЛЭП до трех-пяти километров отмеченных решений достаточно для эффективной работы буровых установок. Однако при большей длине ЛЭП для поддержания на требуемом уровне напряжения на БУ не обойтись без введения устройства, корректирующего падение напряжения в ЛЭП. Такая корректировка необходима даже в идеализированном случае полной компенсации реактивного сопротивления ЛЭП, поскольку сохраняется большое падение напряжения на активном сопротивлении линии. С этой целью предлагается применить трансформаторное корректирующее устройство (*ТКУ*), принципиальная схема одного из вариантов которого приведена на рис. 2. Другие варианты *ТКУ* отличаются схемами соединения параллельной и последовательной трехфазных обмоток, наличием отпаек и др. *ТКУ* могут включаться в начале ЛЭП или в ее расщепку. С увеличением длины ЛЭП возможно повторное включение *ТКУ*.

В пакете MATLAB разработана модель и выполнено моделирование электромагнитных процессов в СЭС по схеме на рис. 1 [8]. На рис. 3 приведен результат моделирования СЭС для одной из подсистем этой модели – подсистемы, соответст-

вующей воздушной ЛЭП длиной 12 км и напряжением 6 кВ. ЛЭП представлена шестью участками длиной 2 км с характерными для таких ЛЭП активным (0,3 Ом/км) и индуктивным (0,4 Ом/км) сопротивлениями. В расщепку ЛЭП включены два *ТКУ* по схеме на рис. 2. Одно *ТКУ* включено на расстоянии 2 км, а другое – на расстоянии 6 км от питающей подстанции 35/6 кВ. На дисплее выведены величины действующих значений первых гармоник линейных напряжений ЛЭП. На рис. 4 приведены временные диаграммы напряжений и токов на входе и выходе ЛЭП, на компенсирующем устройстве и вентилях *СКВ*, а также на входах автономных инверторов СЭС. На временных диаграммах толстыми линиями показаны токи, а тонкими – напряжения на элементах СЭС.

Показаниями на дисплеях на рис. 3 подтверждается возможность корректировки уровня напряжения вдоль линии с помощью *ТКУ*. Из временных диаграмм на рис. 4 следует, что при удалении БУ на достаточно большое расстояние, составляющее 12 км, угол сдвига фаз между напряжением и током на выходе ЛЭП (т.е. на входе БУ) близок к нулю, что свидетельствует о полной компенсации реактивной мощности в этой точке. Выпрямленные напряжение и ток *СКВ* (т.е. на входе автономных инверторов) составляют порядка 825 В и 3200 А. Таким образом, уровень и качество напряжения на БУ позволяют осуществлять нормальный процесс бурения. Угол сдвига фаз между напряжением и током на входе ЛЭП (т.е. на питающей подстанции) соответствует коэффициенту реактивной мощности 0,3, что, как правило, удовлетворяет требованиям электроснабжающей организации. Качество электрической энергии на питающей подстанции также удовлетворительно. Напряжение и ток на конденсаторной батарее компенсирующего устройства *СКВ* изменяются с частотой 250 Гц, что обеспечивает высокую эффективность их использования при реализации указанных выше принципов. Ток и напряжение на вентилях имеют традиционные для *СКВ* формы.

На основании проведенных аналитических исследований и подробного моделирования электромагнитных процессов [7, 8] разработаны технические условия на выполнение предложенных СЭС. Совместно со специалистами ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш» и ООО НТЦ «Приводная техника» (г. Челябинск) ведется проработка конструктивных решений и дизайна предложенных систем. В работе [8] приведены элементы «штучного» дизайна в виде конструкций реакторного оборудования компенсирующего устройства *СКВ* и фильтра одиннадцатой гармоники. Начались работы по «системному дизайну» СЭС, предусматривающему компоновку вновь разрабатываемого отдельного оборудования в блоки и органичное включение их в состав существующих СЭС и всей БУ. В качестве примера на рис. 5 приведено конструктивное решение по компоновке реакторного оборудования компенсирующего устройства *СКВ*.

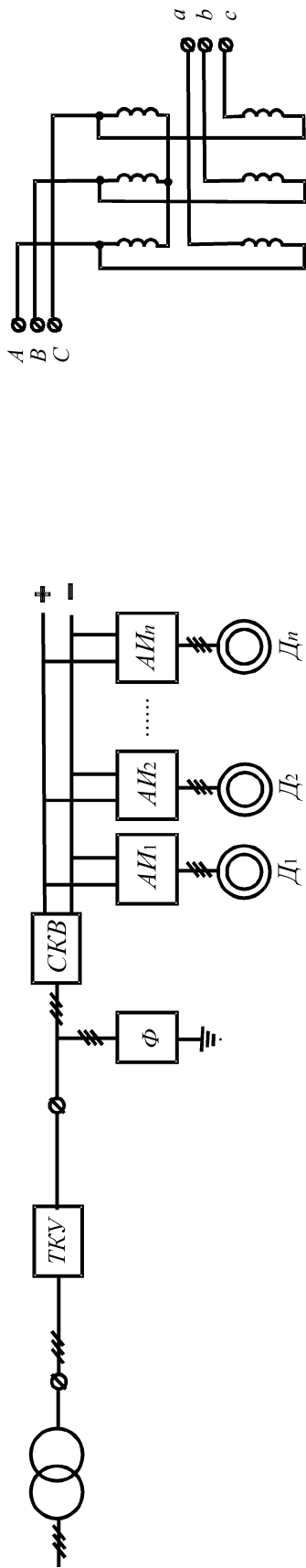


Рис. 1. Принципиальная схема системы электроснабжения

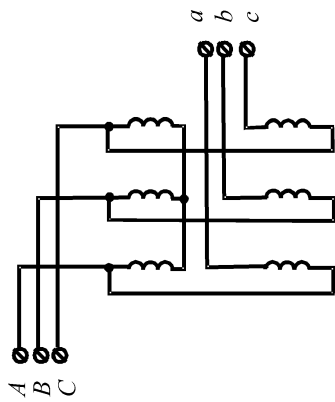


Рис. 2. Принципиальная схема соединения обмоток одного из вариантов ТКУ

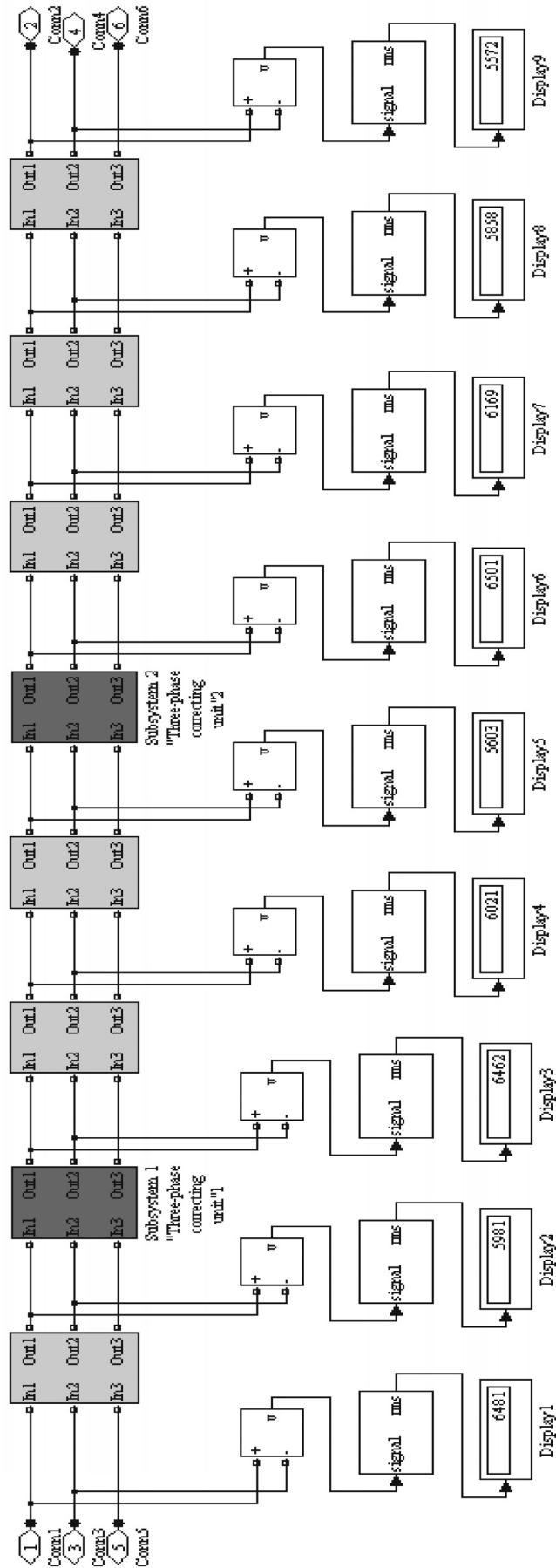


Рис. 3. Модель подсистемы «Воздушная ЛЭП длиной 12 км с включением ТКУ после второго и шестого километров от питающей подстанции»

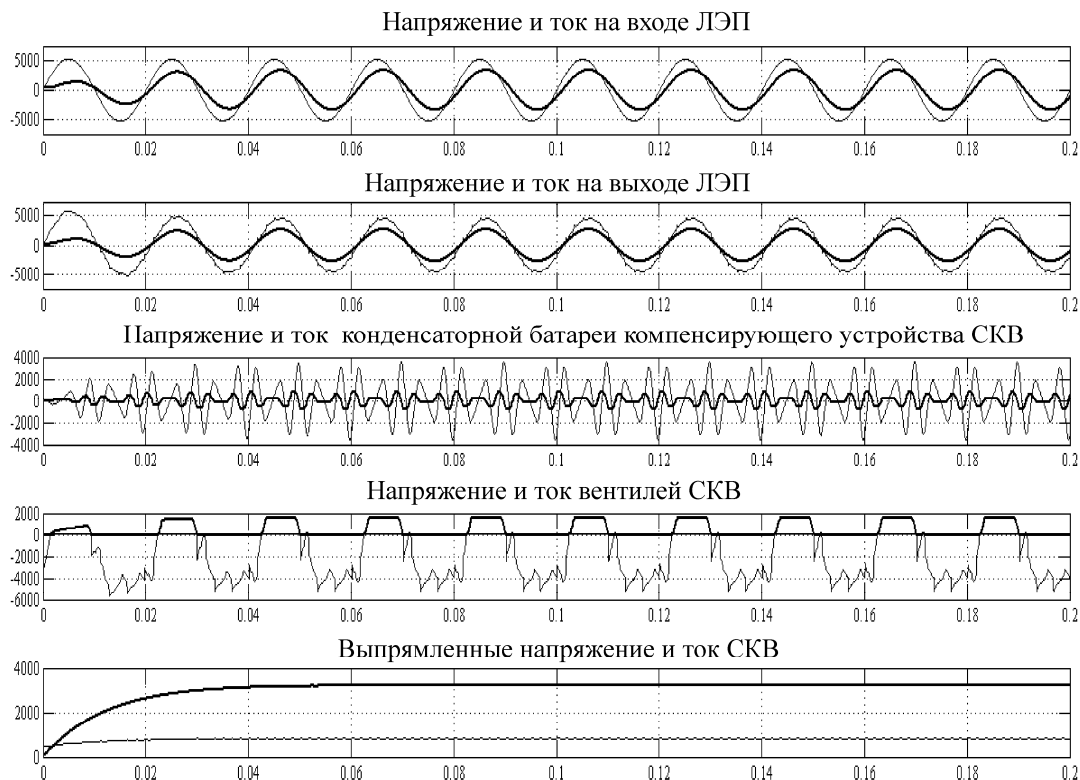


Рис. 4. Временные диаграммы напряжений и токов системы электроснабжения

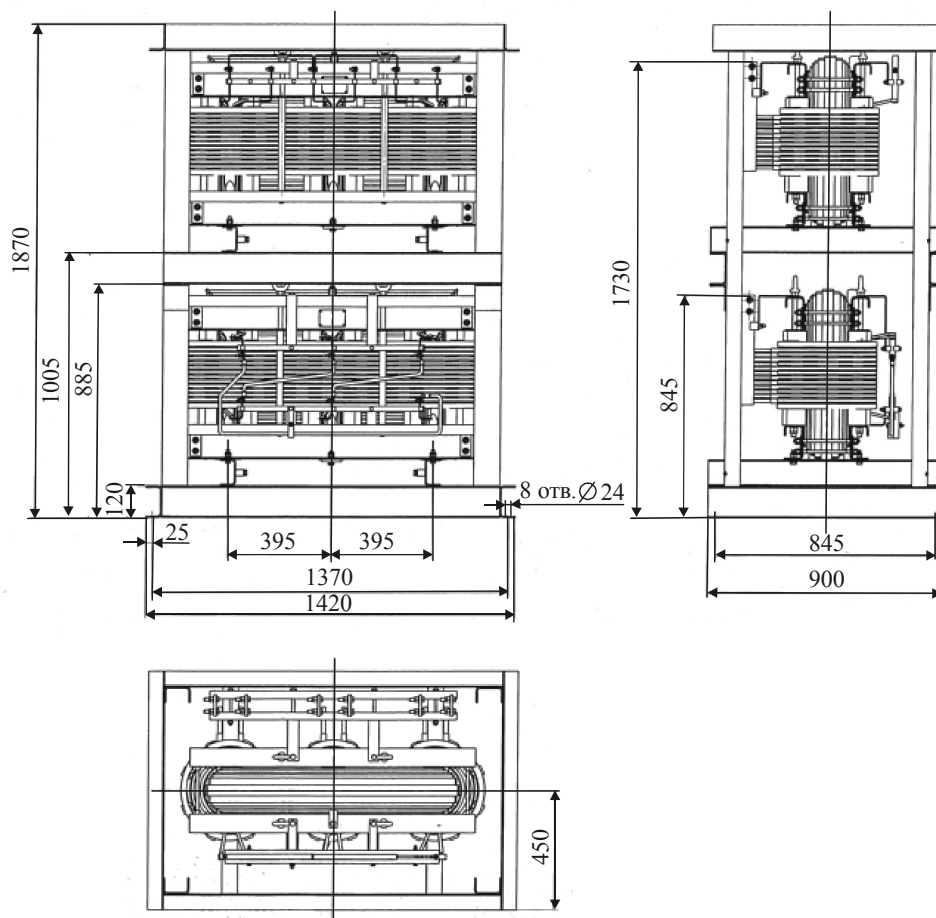
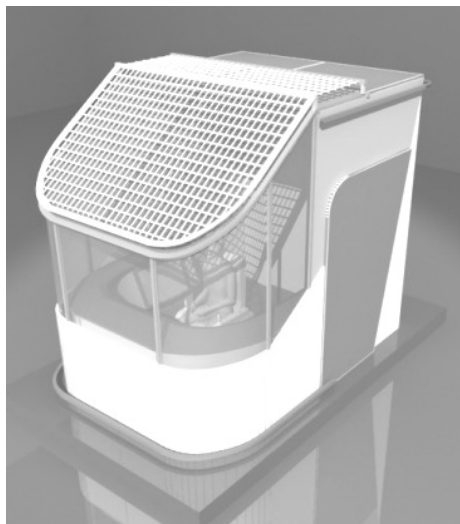


Рис. 5. Конструктивное решение по установке реакторов компенсирующего устройства СКВ на общей раме



**Рис. 6. Вариант художественного конструирования кабины бурильщика**

Со стороны заказчиков особые требования предъявляются к центру управления БУ – кабине бурильщика. Она должна иметь современный и эстетичный дизайн внешнего вида, изготавливаться во взрывозащищенном исполнении закрытого типа с электрообогревом и вентиляцией. Кабина должна изготавливаться из нержавеющей стали. Крыша и окна кабины должны быть выполнены из прозрачного противоударного материала, защищены металлической решеткой, иметь систему внутреннего обдува, а также систему наружной очистки щетками и подачей омывающей жидкости. Современным должен быть и внутренний дизайн кабины с рабочим местом бурильщика и интегрированной системой управления БУ. По заданию ООО НТЦ «Приводная техника» выполнены работы по разработке дизайна кабины бурильщика в соответствии с эргономическими требованиями. На рис. 6 в качестве примера приведен один из разработанных вариантов внешнего вида кабины.

### Литература

1. Чердабаев, Р.Т. Нефть: Вчера, сегодня, завтра / Р.Т. Чердабаев. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2010. – 352 с.
2. Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование / под общ. ред. А.М. Гусмана, К.П. Порожского. – Екатеринбург: УГГА, 2002. – 592 с.
3. Частотно-регулируемый электропривод буровых установок БУ-4200/250 / Б.И. Абрамов, А.И. Коган, Б.М. Бреслав и др. // Электротехника. – 2009. – № 1. – С. 8–13.
4. Чупин, С.А. Современные системы управления механизмами буровых установок российского производства / С.А. Чупин // Энергетика Тюменского региона. – 2008. – № 1. – С. 61–64.
5. Патент 2400917 (Российская Федерация). Компенсированная система электроснабжения разночастотных потребителей электрической энергии / Ю.И. Хохлов, М.Ю. Федорова, С.А. Чупин // Бюл. изобр. – 2010. – № 27.
6. Технические решения и дизайн современной компенсированной преобразовательной подстанции нефтегазодобывающего комплекса / Ю.И. Хохлов, М.Ю. Федорова, Ф.Ф. Бахтияев, С.А. Чупин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2009. – Вып. 11. – № 15(148). – С. 4–9.
7. Хохлов, Ю.И. Методика расчета и направления разработки дизайна компенсированного выпрямительного агрегата для системы электроснабжения буровой установки нефтегазодобывающего комплекса / Ю.И. Хохлов, М.Ю. Федорова, С.Г. Шабиев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2010. – Вып. 13. – № 14(190). – С. 4–10.
8. Федорова, М.Ю. MATLAB-моделирование как средство разработки исходной информации для конструирования и дизайна компенсированной системы электроснабжения буровой установки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2011. – Вып. 15. – № 15(232). – С. 36–39.

*Поступила в редакцию 20.02.2012 г.*

**Федорова Мария Юрьевна** – старший преподаватель кафедры «Дизайн», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Научные интересы – промышленный дизайн. Контактный телефон: 8-(351) 267-94-26.

**Fedorova Maria Yurievna** is a senior teacher of the Department of Design of South Ural State University, an expert in the field of industrial design. Telephone: 8-(351) 267-94-26.

**Хохлов Юрий Иванович** – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ, декан энергетического факультета, заведующий кафедрой «Системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Специалист в области теоретических основ электротехники, силовой электроники и энергосбережения. Контактный телефон: 8-(351) 267-90-83.

**Khohlov Yury** is a Doctor of Science (Engineering), a Professor, a corresponding member of the Academy of Electrotechnical Science of the Russian Federation, a Dean of the Power Engineering Faculty of South Ural State University, a head of the Power Supply Systems Department, an expert in the field of electrical engineering theory, power electronics and power saving systems. Telephone: 8-(351) 267-90-83.

**Хлопова Анна Владимировна** – ассистент кафедры «Системы электроснабжения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Специалист в области электроснабжения. Контактный телефон: 8-(351) 267-93-18.

**Khloпова Anna** is an assistant of Power Supply Systems Department of South Ural State University, an expert in the field of power supply. Telephone: 8-(351) 267-93-18.