

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ДИЗАЙН СОВРЕМЕННОЙ КОМПЕНСИРОВАННОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА

*Ю.М. Хохлов, М.Ю. Федорова, Ф.Ф. Бахтиев, С.А. Чупин\**

*г. Челябинск, ЮУрГУ,*

*\*г. Челябинск, НТЦ «Приводная техника»*

## TECHNICAL DECISIONS AND DESIGN OF MODERN COMPENSATED CONVERTING SUBSTATION OF OIL AND GAS EXTRACTION COMPLEX

*Y.I. Khokhlov, M.Y. Fyodorova, F.F. Bakhtiev, S.A. Chupin\**

*Chelyabinsk, SUSU,*

*\*Chelyabinsk, «Drive technology»*

Приведено новое схемное решение компенсированной преобразовательной подстанции для электроснабжения буровых установок нефтегазодобывающего комплекса. В пакете MATLAB 7.5 разработана модель и осуществлено моделирование электромагнитных процессов в системе электроснабжения разночастотных потребителей переменного тока. Описаны основные дизайнерские решения, принятые при разработке подстанции.

*Ключевые слова: разночастотные потребители, моделирование в MATLAB, компенсированная преобразовательная подстанция.*

A new circuit decision of compensated converting substation for power supply of boring installations of an oil and gas extraction complex is shown. In the packet MATLAB 7.5 a model has been developed and simulation of electromagnetic processes in the power supply system of different frequency consumer of an alternating current has been carried out. Basic design decisions accepted while working out the substation are described.

*Keywords: different frequency consumers, simulation in MATLAB, compensated converting substation.*

Большое и все возрастающее влияние нефтегазодобывающего комплекса на экономику России общеизвестно. Эффективность работы самого комплекса во многом определяется техническими решениями, принятыми при построении систем электроснабжения (СЭС) буровых установок. Наиболее распространенные СЭС с приводом постоянного тока имеют ряд существенных недостатков, в числе которых а) значительное потребление реактивной мощности и б) повышенный уровень гармонического воздействия на все оборудование сети переменного тока. В результате - неудовлетворительное качество и дополнительные потери электрической энергии в СЭС. Существенным является и то, что указанные недостатки ограничивают возможную длину линий переменного тока, связывающих питающие подстанции с буровыми

установками. Это, в свою очередь, приводит к необходимости сооружения большого числа дорогостоящих питающих подстанций.

В соответствии с общей тенденцией широкого применения электрической энергии переменного тока не промышленной частоты во всех отраслях народного хозяйства (гибкие линии электропередач переменного тока, технологические установки различного назначения, частотно-управляемый электропривод и др.) СЭС нефтегазодобывающего комплекса начинают строить с использованием преобразователей частоты, питающих асинхронные двигатели главных (буровые насосы, лебедка, ротор) и вспомогательных механизмов буровых установок [1].

Такое решение позволяет снизить потребляемую реактивную мощность, повысить качество

электрической энергии в сети, упростить привод за счет использования простой асинхронной машины, улучшить динамику и качество поддержания технологических параметров буровой установки. Однако и в этом случае ряд характеристик СЭС требует дальнейшего совершенствования. Сюда, прежде всего, следует отнести необходимость практически полной компенсации реактивной мощности и доведения коэффициента искажения напряжения сети переменного тока СЭС до требования ГОСТ 13109-97, что позволяет дополнительно снизить потери электрической энергии, а также существенно увеличить возможную длину линий переменного тока от питающей подстанции до буровых установок.

Указанным требованиям отвечает предлагаемая компенсированная преобразовательная подстанция, принципиальная схема одного из вариантов которой представлена на рис. 1. Она содержит подключенный к питающей сети переменного тока 1 двенадцатифазный компенсированный диодный выпрямитель 2, состоящий из преобразовательного трансформатора 3, выпрямительных мостов 4 и 5 и компенсирующего устройства 6 [2], а также распределительное устройство 7 в виде шин постоянного тока 8 и коммутационной аппаратуры 9, с помощью которой к шинам постоянного тока 8 подключаются  $n$  автономных инверторов 10, питающих потребителей переменного тока (асинхронные двигатели) 11 с частотами напряжения  $f_p, f_z, \dots, f_n$ . В предлагаемой СЭС инверторы выполнены по схемам автономных инверторов напряжения с предвключенными блоками тормозных резисторов. Блок тормозного резистора представляет собой последовательно соединенную цепочку из электронного ключа и активного сопротивления, подключенную к входу автономного инвертора. В случае когда потребители переменного то-

ка 11 территориально удалены от выпрямителя 2, подключение распределительного устройства 7 к выпрямителю 2 выполняется посредством линии электропередачи постоянного тока.

Одним из наиболее эффективных способов нормализации гармонического воздействия устройств энергетической электроники на питающую сеть является переход на повышенную фазность преобразования. С этой целью в предлагаемой подстанции используется двенадцатифазный выпрямитель (при необходимости может использоваться преобразователь и большей фазности). Двенадцатифазные выпрямители строятся на основе двух шестифазных блоков, коммутационные процессы в вентиллях которых сдвинуты на 30 эл. град. Гармоники 5 и 7, 17 и 19 входных токов блоков замыкаются внутри двенадцатифазных преобразователей и, создавая дополнительные потери электрической энергии, в обычных некомпенсированных выпрямителях не совершают полезной работы. Для активизации деятельности этих гармоник в выпрямитель 2 включается компенсирующее устройство 6. На конденсаторах этого устройства создаются напряжения соответствующих гармоник, осуществляющие опережающую искусственную коммутацию вентилей выпрямительных мостов 4 и 5. В результате компенсированная преобразовательная подстанция приобретает целый ряд отмеченных ниже положительных свойств. Электромагнитные процессы, связанные с работой компенсированного выпрямительного агрегата, отражены на рис. 2 (здесь и далее тонкими линиями показаны диаграммы напряжений, а жирными и - тока; приводимые ниже результаты исследований получены путем моделирования СЭС в пакете MATLAB 7.5).

Автономными инверторами напряжения 10, питаемыми от шин постоянного тока 8 распреде-

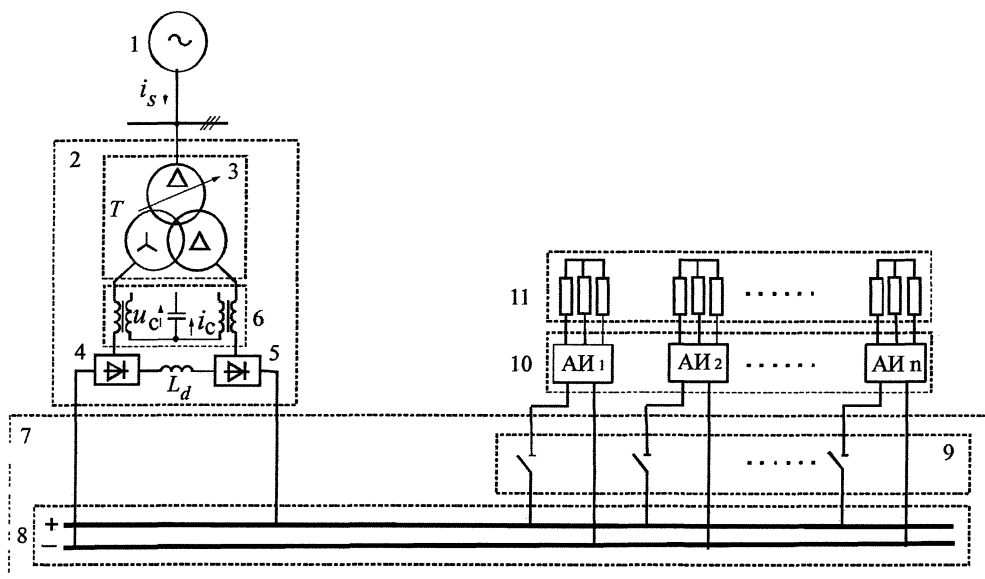


Рис. 1. Принципиальная схема компенсированной преобразовательной подстанции

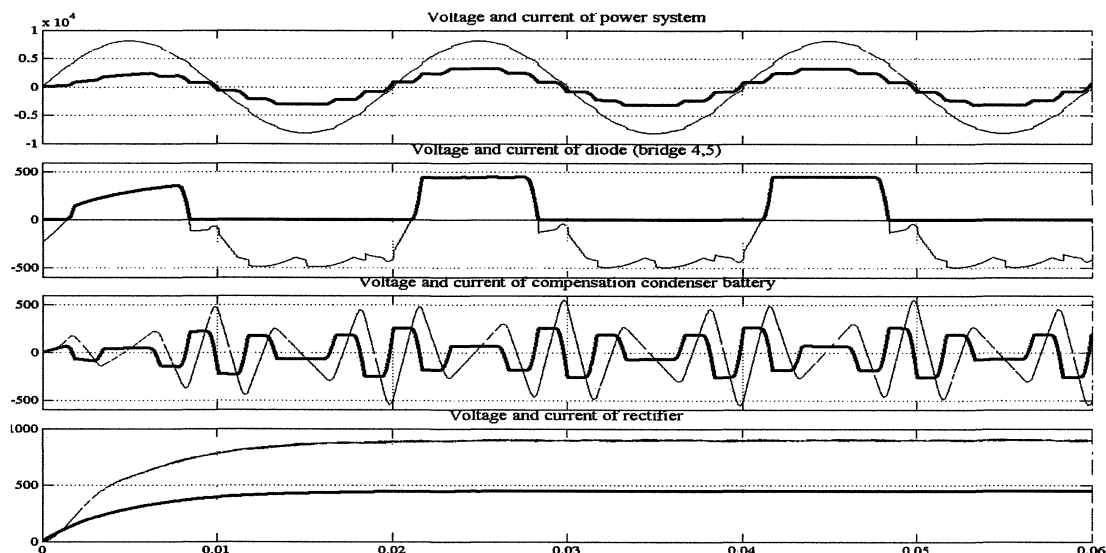


Рис. 2. Временные диаграммы напряжений и токов в компенсированном выпрямителе

лительного устройства 7, создаются переменные напряжения необходимой регулируемой частоты на потребителях 11 с применением синусоидальной широтно-импульсной модуляции (см. рис. 1). Для примера на рис. 3 приведены временные диаграммы напряжений и токов для двух потребителей, работающих на частотах 100 и 50 Гц.

Покажем основные преимущества предлагаемой компенсированной преобразовательной подстанции в условиях работы нефтегазодобывающего комплекса. Прежде всего, оценим ее воздействие на питающую сеть переменного тока. Как видно из диаграмм напряжения и тока на рис. 2, первые гармоники напряжения и тока сети совпадают по фазе, что говорит о полной компенсации реактивной мощности в питающей сети. Причем вследствие использования принципа последовательной компенсации, имеет место саморегулирование реактивной мощности, генерируемой устройством. Результатом этого является снижение

потерь электрической энергии в сети и повышение жесткости внешней характеристики выпрямителя, т.е. поддержание выпрямленного напряжения на шинах 8 при изменениях потребляемого нагрузками 11 тока. Последнее, с одной стороны, обеспечивает указанное выше увеличение возможной длины линий переменного тока от питающей подстанции до преобразовательной подстанции буровой установки, а, с другой, улучшает работу автономных инверторов и питаемых ими потребителей.

Кривые сетевых напряжения и тока имеют форму, классическую для двенадцатифазного режима преобразования (см. рис. 2). Об этом же свидетельствуют результаты спектрального анализа сетевого напряжения, представленные на рис. 4. В напряжении и токе питающей сети исключаются 5 и 7, 17 и 19 и остальные гармоники с шагом 12, что существенно снижает гармоническое воздействие на сеть и повышает качество напряжения в СЭС.

Из рис. 2 и 5 следует, что неиспользуемые

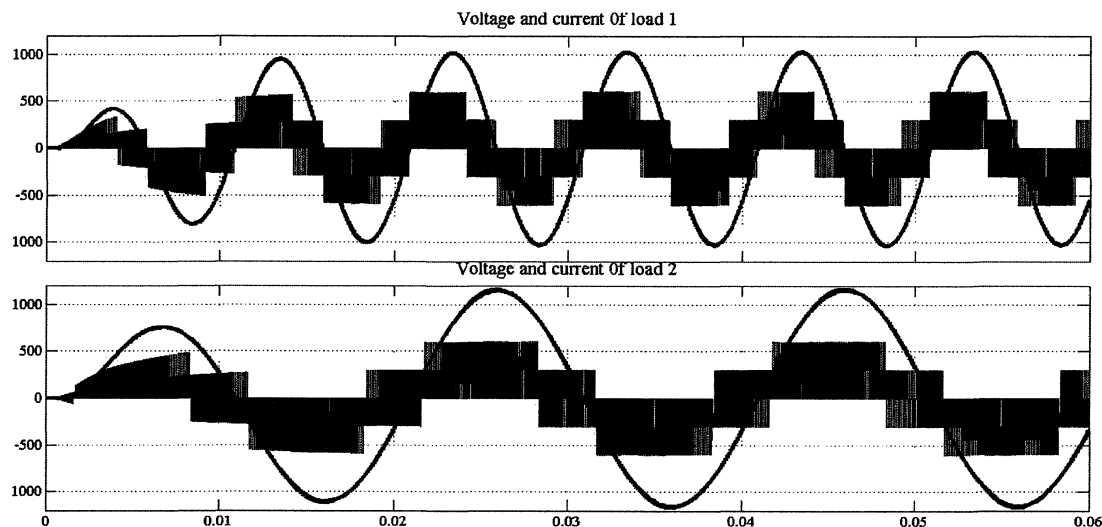


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений и токов потребителей переменного тока с частотами 100 и 50 Гц

в некомпенсированных преобразователях 5 и 7, 17 и 19 гармоники шестифазных блоков теперь нагружают конденсаторы компенсирующего устройства 6, т.е. совершают полезную работу, обеспечивая указанную выше полную компенсацию реактивной мощности в сети. Причем при работе компенсирующего устройства преимущественно на частотах 250 и 350 Гц оно имеет минимальную установленную мощность. Здесь наблюдается аналогичный эффект, который имеется в механическом редукторе - проигрывая в скорости, выигрываем в моменте. В нашем случае компенсирующее устройство работает на частотах 250 и 350 Гц, а компенсация реактивной мощности осуществляется в питающей сети, т.е. на частоте 50 Гц. Проигрывая на таком переходе по частоте, выигрываем по установленной мощности компенсирующего устройства.

Переменные напряжения потребителей 11 формируются использованием в автономных инверторах 10 синусоидальной широтно-импульсной модуляции. Эти потребители получают возмож-

ность полноценного питания с различной регулируемой частотой напряжения. Об этом говорят временные диаграммы на рис. 3 и 6-9. Спектральные составы напряжения и тока потребителей 11 определяются первой гармоникой и массивами высокочастотных гармоник, сконцентрированных возле частот, кратных несущей частоте. На приведенных диаграммах несущая частота равна 10 000 Гц. Как видно из рис. 6-9, в кривых напряжения, имеющих ярко выраженный импульсный характер, коэффициент искажения синусоидальности существенно выше, чем в кривой тока. Индуктивная нагрузка, такая как асинхронный двигатель, является хорошим фильтром для высокочастотных гармоник. При создании СЭС данный эффект может быть использован. Однако при этом асинхронные машины должны иметь специальное исполнение. Использование обычных двигателей, рассчитанных на синусоидальный режим работы, возможно с применением предвключенных низкочастотных фильтров.

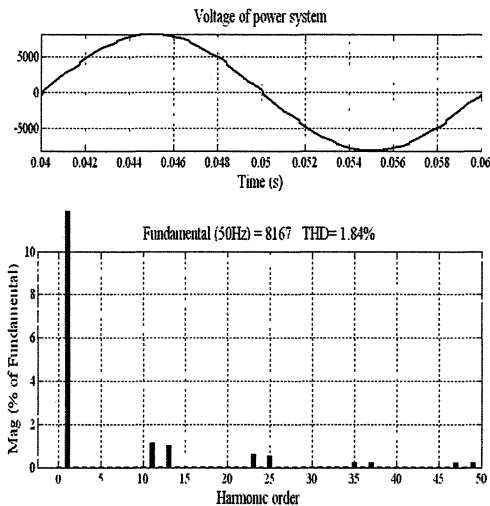


Рис. 4. Спектр напряжения питающей сети

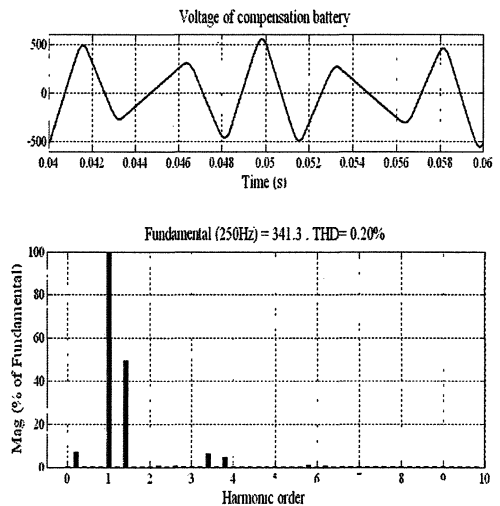


Рис. 5. Спектр напряжения на конденсаторной батарее

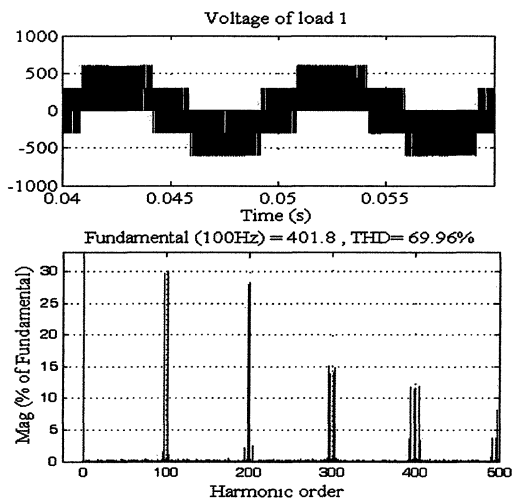


Рис. 6. Спектр напряжения на потребителе с частотой 100 Гц

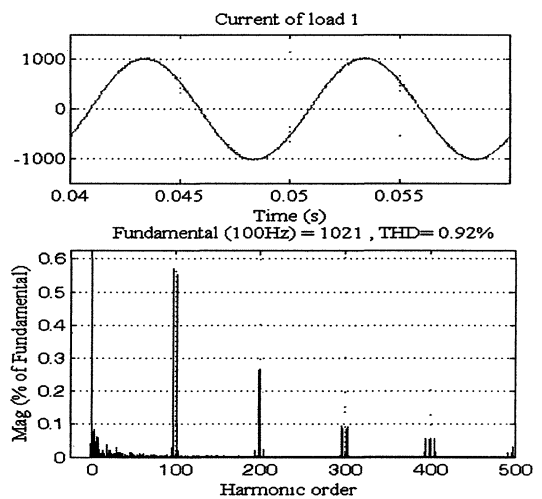


Рис. 7. Спектр тока потребителя с частотой 100 Гц

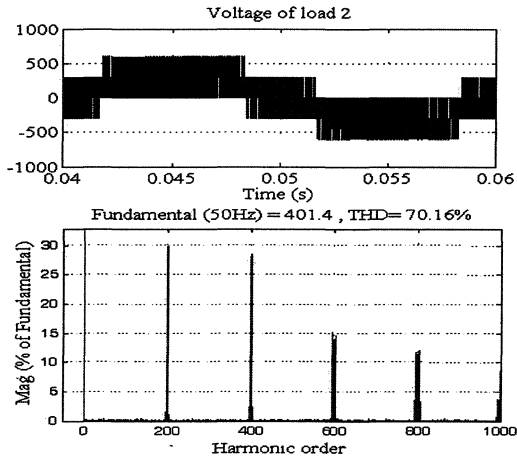


Рис. 8. Спектр напряжения на потребителе с частотой 50 Гц

К объектам электроэнергетики предъявляются высокие требования по дизайну. Некоторое представление о дизайне рассматриваемых преобразовательных подстанций дают фотографии (рис. 10-12). Дизайнерские решения подчинены возможности транспортировки подстанций автомобильным, морским и железнодорожным транспортом, минимальным срокам и затратам при введении оборудования в

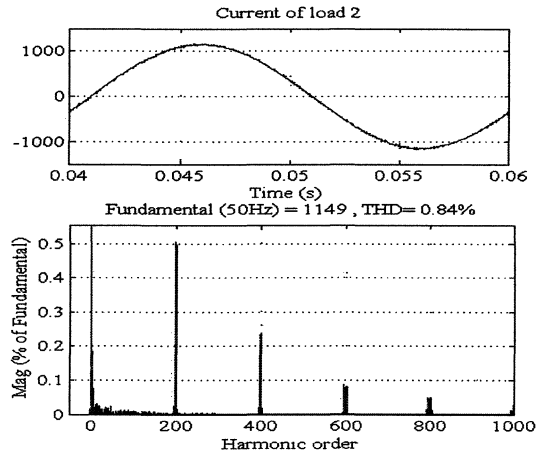


Рис. 9. Спектр тока потребителя с частотой 50 Гц

эксплуатацию, надежности и удобству управления буровыми установками, а также высокой ремонтно-пригодности. Поэтому преобразовательные подстанции разрабатываются в виде законченных программно-технических комплексов в блочно-модульном исполнении. Электрооборудование подстанции размещается в специальном контейнере (рис. 10). Контейнер изготавливается в климатическом исполне-

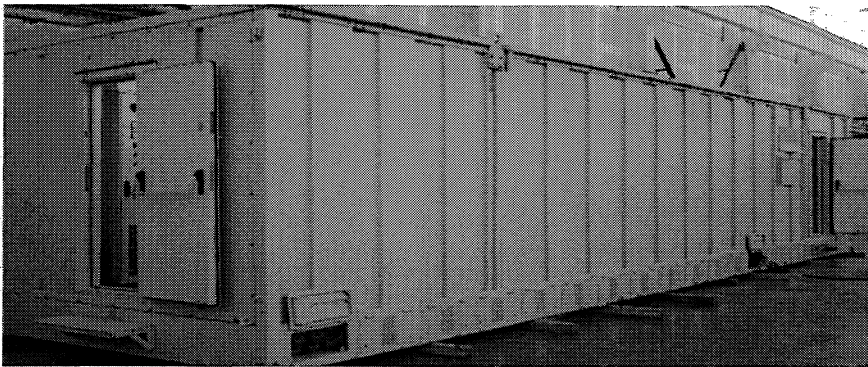


Рис. 10. Общий вид контейнера

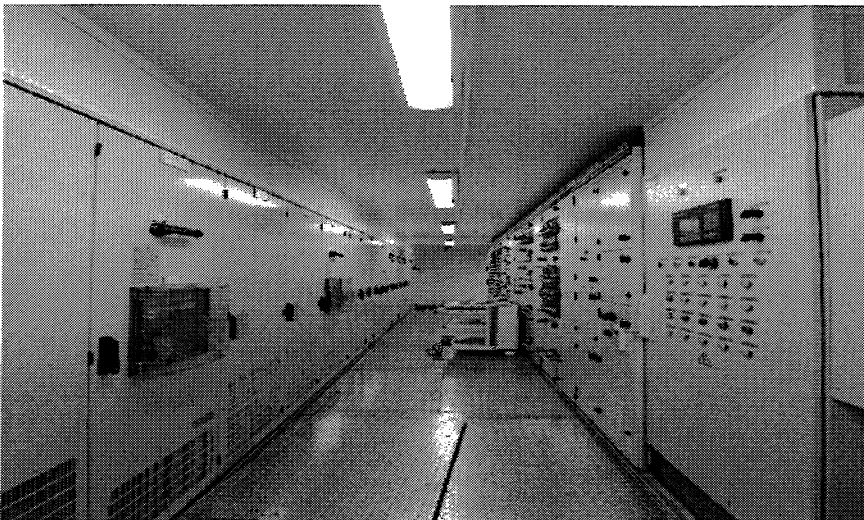


Рис. 11. Дизайн внутреннего пространства контейнера

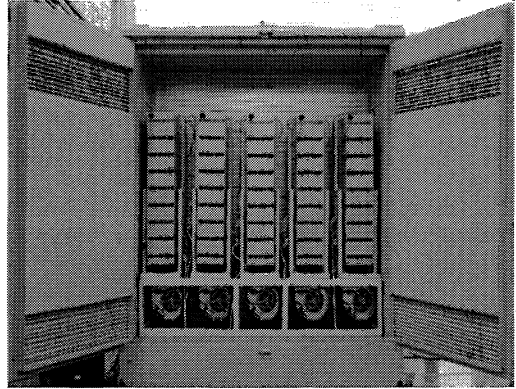
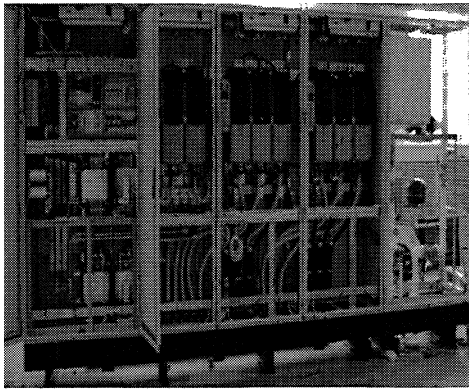


Рис. 12. Дизайн компоновки основного оборудования

нии УХЛ1 по ГОСТ 15150-69. Он оснащен системой регулирования температуры. Температура внутри контейнера поддерживается в диапазоне от +10 до +40 °С при изменении внешней температуры от -50 до +45 °С. Контейнер комплектуется системами: освещения, обогрева, кондиционирования, связи и пожарной сигнализации. Габаритные размеры коридора обслуживания в контейнере и современный дизайн (рис. 11) полностью отвечают нормативным требованиям.

#### Литература

1. Чупин, С.А. Современные системы управления механизмами буровых установок российского производства / С.А. Чупин // Энергетика тюменского региона. -2008. -№ 1.-С. 61-64.

2. Хохлов, Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутационные конденсаторы нечетнократных гармоник токов преобразовательных блоков /Ю.И. Хохлов. - Челябинск: ЧГТУ, 1995. - 355 с.

Поступила в редакцию 04.02.2009 г.

**Хохлов Юрий Иванович** - доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ, декан энергетического факультета Южно-Уральского государственного университета, заведующий кафедрой «Системы электроснабжения». Специалист в области теоретических основ электротехники, силовой электроники и энергосбережения. Контактный телефон: 8-(351) 267-92-51.

**Khohlov Yuri Ivanovich** - doctor of technical sciences, professor, corresponding member of the Academy of Electrotechnical Science of the Russian Federation, Dean of the Power Engineering Faculty of South Ural State University, Head of the Power Supply Systems department, expert in the field of electrical engineering theory, power electronics and power saving systems. Contact phone: 8-(351) 267-92-51.

**Федорова Мария Юрьевна** - старший преподаватель кафедры «Дизайн» ЮУрГУ. Специалист в области промышленного дизайна. Контактный телефон: 8-912 777 7169.

**Fedorova Maria Yuryevna** - senior lecturer of the Design department of South Ural State University, expert in the field of industrial design. Contact phone: 8-912 777 7169.

**Бахтиев Фидан Фиргатович** - аспирант кафедры «Системы электроснабжения». Специалист в области силовой электроники. Контактный телефон: 8-906 865 7249.

**Bakhtiev Fidan Firgatovich** - post-graduate student of the Power Supply Systems department of South Ural State University. The field of scientific activity is power electronics. Contact phone: 8-906 865 7249.

**Чупин Сергей Анатольевич** - генеральный директор НТЦ «Приводная техника». Специалист в области автоматизированного электропривода. Контактный телефон: 8-912 308 0248.

**Chupin Sergey Anatolyevich** - general director of the research and development centre «Drive technology». Specialist in the field of automated electrical drive. Contact phone: 8-912 308 0248.