УДК 621.3

Применение комплексов моделирования в реальном времени для современных энергосистем нефтегазовых предприятий

Д.О. Мочалов
ведущий инженер-программист[1]
bastov.do@gmail.com

Я.В. Законьшек
технический директор[2]
janez.zakonjsek@relarte.com

М.А. Шамис
к.т.н., генеральный директор[2]
shamis.m@ennlab.ru

[1]ЗАО «ЧЭАЗ-ЭЛПРИ», Чебоксары, Россия
[2]ЗАО «ЭнЛАБ», Чебоксары, Россия

Предприятия нефтегазовой сферы являются сложными производственно-энергетическими комплексами, состоящими из объектов генерации электроэнергии, распределительных сетей и объектов потребления. В жизнедеятельности такого предприятия электроэнергетический сектор играет важнейшую роль, определяя решение производственных задач всех подразделений, оказывая существенное влияние на формирование экономических показателей. В условиях постоянного развития и усложнения энергосистем (ЭС) в нефтегазовой сфере возникают задачи исследования их поведения как в штатных, так и в аварийных режимах. Решение этих задач требует внедрения эффективных инструментов моделирования ЭС. Появление доступных цифровых комплексов моделирования в реальном времени (КМРВ) позволяет вывести процесс решения указанных задач на новый уровень по скорости решения и качеству получаемых результатов.

Материалы и методы
Научный обзор.

Ключевые слова
комплекс моделирования в реальном времени, электрические сети, нефтегазовые предприятия, вторичная аппаратура

Реализация цифровых комплексов моделирования ЭС в реальном времени

Симулятор в реальном времени представляет собой мощный программно-аппаратный комплекс, вычисления в котором распределяются между несколькими процессорными модулями, количество которых подбирается под разность модели энергосистемы.

Основное достоинство КМРВ — возможность включать реальные устройства в модель ЭС в условиях замкнутой петли взаимодействия по входным и выходным электрическим сигналам. Поэтому симулятор обладает развитой системой ввода-вывода физических сигналов для быстрого взаимодействия в реальном времени между моделью энергосистемы и проверяемым внешним оборудованием. Набор интерфейсов и протоколов включает в себя список всех наиболее используемых способов передачи информации в приборах современной электроэнергетики. Это наборы бинарных и аналоговых входов и выходов, порты обмена информацией по различным протоколам: Ethernet, МЭК61850 различных модификаций (GOOSE и "Sampled values") и т.д. На рис. 1 показаны примеры подключения внешнего оборудования (в данном случае аппаратуры релейной защиты) к КМРВ.

Сложность оборудования симулятора и его стоимость в большой степени зависит от того, какие по скорости переходные процессы должны отражаться моделью, а также насколько большой должна быть модель. Чем быстрее исследуемые переходные процессы в исследуемой цепи, тем короче должен быть шаг вычислений и, следовательно, сложнее модель энергосистемы.

Графический интерфейс программного обеспечения КМРВ реализуется с учетом максимально удобного построения модели исследуемой ЭС. Дизайн внешнего вида элементов цепи, напоминающий привычные схемы, способы оперирования инструментами окна, способы их настройки нацелены на работу широкого круга специалистов, позволяя им начать работу с помощью предоставляемых производителем готовых моделей. Поскольку программно-аппаратный комплекс моделирования — оборудование специализированное, требующее обучения операторов навыкам работы, вопросам понятности, интуитивности и ассоциативности интерфейса уделяется большое внимание.

Основное условие получения адекватной картины при моделировании — наличие моделей компонентов электросети, максимально точно отражающих параметры реальных устройств. Набор моделей элементов, содержащихся в библиотеке, обязательно включает все виды оборудования, используемого в энергетических системах (различные источники электроэнергии, включая нетрадиционные и возобновляемые источники, линии электропередач, всевозможные потребители, системы РЗА, разнообразные управляющие элементы, в том числе комплексы силовой электроники, и др.). Модели элементов ЭС постоянно совершенствуются и уточняются, библиотека пополняется моделями новых видов оборудования.

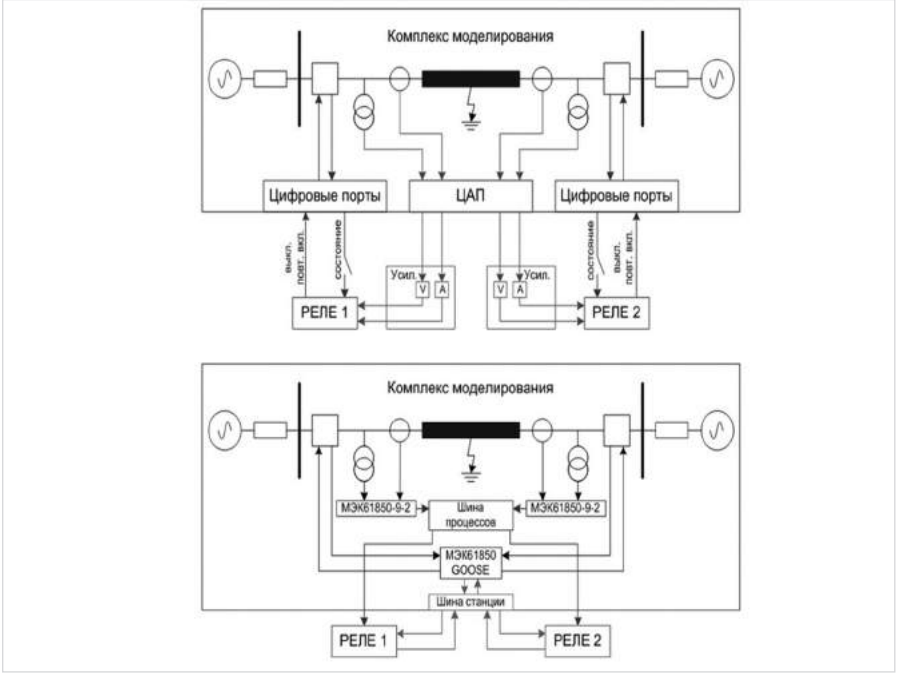

Рис. 1 — Примеры подключения внешнего оборудования к КМРВ

Направления применения цифровых КМРВ. Исследование режимов энергосистем, электромагнитных и электромеханических переходных процессов.

Задача исследования электромагнитных и электромеханических переходных процессов ЭС всегда была одной из важнейших. Применительно к эксплуатируемым на сегодняшний день ЭС эта задача включает следующие исследования:

- КЗ в различных точках сети;
- повторные включения;
- броски тока;
- феррорезонансные явления;
- статическая и динамическая устойчивость ЭС систем при введении в эксплуатацию новых энергообъектов и модернизации старых, при подключении новых потребителей.

Специализированный КМРВ позволит значительно ускорить подобные расчеты, что значительно сокращает время и стоимость реализации новых энергообъектов. Появляется возможность сразу видеть реакцию системы в любой ее точке при внесении изменяющего воздействия. Время затрачивается только на составление адекватных моделей элементов исследуемой сети, от точности которых будет зависеть точность результатов.

Все более актуальной задачей становится исследование переходных процессов в сетях с распределенной генерацией, вследствие интенсивного развития сектора малой энергетики, основу которой составляют газо- и паротурбинные установки (ГТУ, ПТУ), энергетические установки на возобновляемых источниках энергии (ВЭУ, главным образом ветрогенераторные). ГТУ, ПТУ и ВЭУ устанавливаются непосредственно у потребителей и подключаются к распределительной электрической сети на напряжениях 6–35 кВ. Организация правильного подключения объектов малой генерации к сети централизованного электроснабжения составляет основную техническую проблему этой области энергетики. Очень трудно просчитать переходные процессы во всех режимах работы такой сложной сети, а тем более найти «узкие места» в ней и предсказать возможные проблемы. Задача усложняется тем, что объекты распределенной генерации в России часто состоят из импортного оборудования с новыми динамическими характеристиками и возможностями управления. Использование КМРВ позволяет увидеть реальную картину сложных переходных процессов в точках соединения энергопотоков сетей централизованного электроснабжения и сетей малой генерации, изучить качество генерируемой энергии по уровням напряжения и гармоническому составу. Посредством описанной полнофункциональной виртуальной электростанции появляется возможность выявить особенности ее функционирования и, в частности, определить требования к устройствам РЗА, необходимым для надежного функционирования сети с распределенной генерацией.

Исследование вторичного оборудования

Возможность подключения реального внешнего оборудования в процессе моделирования и в реальном времени является одним из основных преимуществ КМРВ. Отмеченное позволяет проводить исследования вторичного оборудования ЭС в реальных условиях эксплуатации, что незаменимо для современных комплексов РЗА, представляющих собой микропроцессорные устройства со сложными алгоритмами распознавания аварийных ситуаций и реагирования на них. Рис. 1 показывает пример использования КМРВ для проверки устройств РЗА:

- в результате подключения проверяемого устройства РЗА к КМРВ формируемые симулятором токи и напряжения начинают подаваться в проверяемое устройство;
- устройство реагирует на сигналы от КМРВ (так же, как если бы оно было установлено на подстанции) и вырабатывает ответные управляющие сигналы, которые могут быть как обычными дискретными, так и потоками данных цифровых протоколов;
- эти сигналы заводятся обратно в модель ЭС и подключаются к виртуальным исполнительным приборам, например, выключателям, реакция которых изменяет состояние моделируемой ЭС;
- все это выполняется в режиме реального времени.

Проверяемое устройство «воспринимает» КМРВ как реальную среду и реагирует на процессы, очень близкие к реальным, получая немедленный отклик виртуальной ЭС на вырабатываемые воздействия. Появляется возможность проверить устройство РЗА совместно с моделью того объекта, где эти устройства будут установлены, с учетом наличия моделей измерительных трансформаторов тока и напряжения [4]. При использовании КМРВ отпадает необходимость создавать для каждого нового комплекса свой проверочный стенд, поскольку аппаратная составляющая КМРВ остается без изменений (либо со временем усиливается новыми вычислительными мощностями). Существующие в настоящее время микропроцессорные комплексы РЗА создаются с возможностью гибкой настройки, что подразумевает наличие достаточно большого списка параметров-уставок, который необходимо сконфигурировать для функционирования в конкретных условиях эксплуатации. Поэтому создание для настраиваемого оборудования РЗА таких условий с помощью моделирования в реальном времени позволяет быстро и удобно произвести уточнение уставок. Немаловажная проблема, стоящая перед разработчиками в условиях постоянно усложняющихся ЭС, состоит в создании для современных систем РЗА еще более изощренных и точных алгоритмов выявления аварий. Это требует от разработчиков более углубленного изучения закономерностей переходных процессов в энергосистемах, изучения режимов энергообъектов, в том числе с подключенными устройствами РЗА. Моделирование в реальном времени существенно сокращает сроки исследований, поскольку подробная модель ЭС всегда «под рукой», и новые решения можно проверять сразу, не отходя от рабочего места.

Наличие КМРВ также позволяет избавиться от пилотной эксплуатации приобретаемых приборов, заменяя ее испытанием во всех необходимых режимах работы с использованием модели своей сети. Такая проверка также позволяет исследовать поведение эксплуатируемой ЭС или ее участка при установке нового оборудования, оценить его эффективность и выявить слабые места.

Многие современные системы управления энергообъектов строятся с применением управляемых силовых полупроводниковых приборов (высоковольтных тиристоров и транзисторов), требующих надежных систем отпирания-запирания и сложных алгоритмов управления. Системы, где требуется управление с применением силовой электроники, включают в себя:

- системы передачи электроэнергии постоянного тока (HVDC);
- системы компенсации реактивной мощности, содержащие:
  - статические тиристорные компенсаторы реактивной мощности (SVC);
  - гибкие системы передачи переменного тока с компенсацией реактивной мощности (FACTS);
  - статкомы;
- системы возбуждения и регулирования напряжения и частоты электрических машин, системы управления ими, в том числе частотные электроприводы и устройства плавного пуска электродвигателей;
- системы распределенной генерации (ветряные генераторы, солнечные батареи, топливные элементы и др.).

Область применения полупроводниковых силовых приборов в электроэнергетике в настоящее время активно расширяется. Вопросы разработки сложных силовых полупроводниковых комплексов и их применения в энергосети также требуют глубокого исследования. Использование КМРВ в этом случае поможет решить две группы вопросов. Первая касается исследования процессов внутри полупроводникового комплекса, разработки эффективных алгоритмов управления силовыми ключами для синхронной работы всей цепи приборов, вторая относится к задачам исследования работы систем управления силовыми полупроводниковыми комплексами вплоть до вопросов их функционирования в масштабе энергосистемы. В первом случае проводится моделирование управляющей системы или ее части с формированием исполнительных сигналов для драйверов ключей. Во втором случае осуществляется исследование готовой системы управления с целью выявления «узких» мест в алгоритмах, для чего строится модель полупроводникового комплекса, для которого предназначена система управления, и модель сети, в которой предполагается применять этот комплекс. Оба направления подразумевают подключение внешнего исследуемого оборудования к симулятору. Для этого оборудование симулятора обеспечивает как формирование, так и прием сигналов с длительностями порядка единиц микросекунд.

КМРВ предоставляют большие возможности при разработке и исследовании систем управления различными типами электрических машин: синхронных и асинхронных. Уже довольно подробно проработаны модели

электродвигателей, общее число настраиваемых параметров которых может доходить до 50–70. Указанное позволяет довольно подробно смоделировать любую машину для разработки и тестирования системы управления с виртуальным подключением к моделируемому объекту управления любой нагрузки и системы питания. Это дает возможность отрабатывать функционирование разрабатываемой системы управления на моделях электродвигателей различных мощностей и конфигураций без необходимости в использовании их реальных прототипов.

Другой тип электрических машин, генераторы, неотъемлемая часть любой энергосистемы и их стабильная работа — одна из составляющих стабильного функционирования сети. Разработка и исследование систем управления генераторами, особенно в системах распределённой генерации, представляет собой сложную и актуальную задачу, поскольку к вырабатываемой электроэнергии предъявляется всё возрастающие требования, как в статических, так и динамических режимах, а также в широком диапазоне изменения нагрузки. Когда необходимо преобразовывать генерируемую электроэнергию, исследование еще больше затрудняется наличием полупроводниковых выпрямителей и инверторов, которыми также нужно управлять. КМРВ позволяет разрабатывать и проверять работу систем управления генераторами, используя модели генераторов синхронного и асинхронного типа при работе на сеть в различных режимах.

Применение в нефтегазовой сфере

Электрические сети нефтегазодобывающих предприятий (НГДП) преимущественно имеют радиально-магистральную и радиальную схемы, как правило, с 3-мя последовательными ступенями трансформации на напряжения 110, 35, 6 (10) кВ. Питание главных понизительных подстанций (ГПП) на напряжения 110 кВ и 35 кВ осуществляется в основном по двухцепным воздушным линиям электропередачи.

Потребителями электроэнергии в основной технологической цепочке добычи и первичной переработки нефти являются:

- механизмы добычи нефти, это станки — качалки нефти (СКН), установки с погружным электроцентробежным насосом (ЭЦН), винтовые насосы и др.;
- объекты сбора и перекачки нефти, к которым относятся групповые замерные установки (ГЗУ), дожимные насосные станции (ДНС);
- объекты подготовки и первичной переработки нефти, это электрообезвоживающие и электрообессоливающие установки, термохимические установки, насосные станции внешней перекачки нефтесборных пунктов;
- газокомпрессорные станции, компримирующие попутный нефтяной газ;
- объекты поддержания пластового давления — кустовые насосные станции (КНС), водораспределительные блоки (ВРБ), водозаборы, установки очистки сточных вод;
- буровые установки.

Большинство из названных выше объектов получают электроэнергию по воздушным линиям электропередачи напряжением 6(10) кВ. В последние годы в электроэнергетике нефтегазодобывающих предприятий появились элементы распределенной генерации.

Предметами исследований, с использованием представленных здесь методов моделирования, вызывающими наибольший интерес, на взгляд авторов, могут быть:

- работа мощных насосов КНС с приводами 0,3–2,0 МВт при АВР;
- процессы самозапуска при восстановлении электроснабжения отходящих линий, питающих СКН;
- анализ качества электроэнергии и выбор РЗА при подключении к действующим распределительным подстанциям буровых установок;
- выбор оборудования и параметров РЗА в условиях изменения значений и направления потоков мощности при подключении к сетям предприятия элементов распределенной генерации.

Чрезвычайно актуальной, для НГДП является проблема селективности ОЗЗ в сетях напряжением 6(10) кВ работающих в режиме с изолированной нейтралью. Она вызвана тем, что это разветвленные сети, имеют малую суммарную емкость на землю (около 0,006 мкФ/км), а переходные сопротивления при обрыве провода в месте ОЗЗ иногда составляют несколько кОм. Токи нулевой последовательности при этом малы и соизмеримы с небалансами сети, от которых защита от ОЗЗ должна быть отстроена. В таких условиях чрезвычайно сложно обеспечить правильную работу защиты от ОЗЗ. При любом ОЗЗ в сети с изолированной нейтралью ток нулевой последовательности опережает или отстает относительно напряжения нулевой последовательности. Для выбора защиты достаточно знать ее поведение в этих случаях. При установке в сети заземляющих резисторов угол между напряжением и током нулевой последовательности может изменяться в достаточно больших пределах. В редких но возможных случаях наличия перемежающейся дуги, фазовые соотношения между током и напряжением нулевой последовательности искажаются. В этом случае высокочастотный шум может усложнять действие направленной токовой защиты от ОЗЗ. Сложность процессов при ОЗЗ в сетях нефтегазодобывающих предприятий делает выбор средств РЗА весьма непростой задачей. Решение этой задачи затрудняется отсутствием классификации разновидностей защит внутри класса «направленные защиты от ОЗЗ». В создавшейся ситуации целесообразно при выборе средств РЗА использовать КМРВ.

Обучение

Комплексы КМРВ широко используют в обучающих целях как для проведения занятий со студентами вузов [3], так и для повышения квалификации персонала энергопредприятий. Применение КМРВ позволяет студентам лучше представить переходные процессы в ЭС, плотнее увязать эти процессы с функционированием вторичной аппаратуры. Учебные занятия становятся более динамичными и эмоциональными.

В процессе повышения квалификации КМРВ дают возможность существенно повысить качество подготовки персонала служб РЗА, АСУ, специалистов, занимающихся SCADA-системами и телемеханикой. Являясь универсальным устройством, КМРВ позволяет заменить целый ряд специализированных тренажеров. Отдельно хочется отметить широкие возможности КМРВ при подготовке оперативного персонала (диспетчеров, дежурных) и поддержании их навыков на высоком уровне. Комплекс позволит моделировать различные варианты аварий любой сложности, развитие которых в процессе тренировки не является заранее предопределенным, а будет зависеть от действий специалиста, заставляя его учиться принимать своевременные и правильные решения.

Примером использования КМРВ для обучения операторов служит разработанный в Корее стенд-симулятор на базе 26 вычислительных модулей КМРВ производства канадской компании RTDS Technologies. По мнению его создателей, применение КМРВ является лучшим способом развития понимания у студентов и инженеров процессов, происходящих в ЭС.

Итоги

КМРВ получают все большее распространение среди предприятий–разработчиков и производителей электрооборудования, сетевых компаний, научно-исследовательских и образовательных учреждений. Такие комплексы находят применение при решении сложных технических задач, которые возникают все чаще в условиях постоянного усложнения оборудования и нарастающей интеграции энергосистем, в том числе электросетей нефтегазодобывающих предприятий, когда привычные методы расчетов и исследований либо невозможно применить, либо их применение приводит к длительному и дорогостоящему процессу получения результата.

Выводы

Основными преимуществами КМРВ являются:

- возможность включения в модель исследуемой энергосистемы реального оборудования;
- существенная экономия времени решения задач по сравнению с обычными методами;
- сокращение времени разработки до начала эксплуатации в реальной энергосистеме;
- возможность решения большого круга задач.

Список используемой литературы

1. H.W. Dommel, Digital Computer Solution Of Electromagnetic Transients In Single- And Multiphase Networks, Ieee Trans. On Power Apparatus And Systems, Vol. Pas-88, issue 4, pp. 388-399, April 1969.
2. Законьшек Я., Славутский А.Л. Цифровое моделирование современных энергосистем в реальном времени // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 01.
3. Rigby B.S. Undergraduate Laboratory Examples for the RTDS Real Time Digital Simulator. RTDS Technologies Inc., 2012.
4. Peters C., et all. Real Time Digital Simulation of Wide Area Protection and Control Schemes Using Phasor Measurement Units

The use of real-time simulators in oil and gas companies

UDC 621.3

Authors:
Dmitriy O. Mochalov — leading engineer-programmer[1]; bastov.do@gmail.com
Janez V. Zakonjsek — technical director[2]; janez.zakonjsek@relarte.com
Mikhail A. Shamis — ph.d., technical director[2]; shamis.m@ennlab.ru

[1]CJSC "ChEAZ-ELPRI", Cheboksary, Russia Federation
[2]CJSC "EnLAB", Cheboksary, Russian Federation

Abstract
Oil and gas companies consist of electric power-generating facilities, distribution networks and consumption facilities. In the conditions of stable development of power systems of oil and gas companies and their complication, behavior of power systems must be studied both in normal and abnormal modes. Real time digital simulators (RTDS) help to solve these problems fast and qualitatively. The article is about using RTDS for research processes in power systems of oil and gas companies.

Materials and methods
Scientific review

Results
RTDS are becoming more common among developers and manufacturers of electrical equipment, grid companies, research centres and universities. Such simulators are used for solving complex technical tasks that occur during increased complexity of the equipment and increased integration of power systems of oil and gas companies. They are advantageous to use when the traditional methods of calculation and research can't be applied, or their application leads to a long and expensive process of getting results.

Conclusions
The main advantages of RTDS are:

- the ability to connect real equipment to the virtual model of power system;
- saving time of tasks solving as compared with common methods;
- reducing the development time before using equipment in a real power system;
- the ability to solve a large variety of tasks.
- RTDS can be widely used to study oil and gas company networks.

Keywords
real-time simulator,
power network,
oil and gas companies,
secondary equipment

References
1. H.W. Dommel, Digital Computer Solution Of Electromagnetic Transients In Single- And Multiphase Networks, Ieee Trans. On Power Apparatus And Systems, Vol. Pas-88, issue 4, pp. 388-399, April 1969.
2. Zakonjsek J. V., Slavutsky A.L., *Tsifrovoe modelirovaniye sovremennih system v realnom vremeni.* [Real-time digital simulation of modern power systems]. *Releynaya zashchita I avtomatika*, 2012, issue 01 (March).
3. Rigby B.S. Undergraduate Laboratory Examples for the RTDS Real Time Digital Simulator. RTDS Technologies Inc., 2012.
4. Peters C., et all. Real Time Digital Simulation of Wide Area Protection and Control Schemes Using Phasor Measurement Units

РАЗРАБОТКА, ПРОИЗВОДСТВО И ВНЕДРЕНИЕ НА ОБЪЕКТЫ ГАЗОВОЙ, НЕФТЯНОЙ И ДРУГИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО И ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ, СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ПРОЧИХ ПРИБОРОВ.

Общество с ограниченной ответственностью
Завод "Калининградгазавтоматика"

ОСНОВНЫМ ВИДОМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗАВОДА ЯВЛЯЕТСЯ ПРОИЗВОДСТВО:

- ЯЧЕЕК КРУ КЛАССА НАПРЯЖЕНИЯ 6-10 КВ СЕРИИ MCSET И NEXIMA
- С ЭЛЕГАЗОВЫМИ И ВАКУУМНЫМИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ
- ШКАФОВ НКУ ДО1000 В СЕРИИ OKKEN И PRISMA PLUS
- КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ВНУТРЕННЕЙ
- УСТАНОВКИ (ЦЕХОВЫЕ)
- СИСТЕМ ГАРАНТИРОВАННОГО БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ
- ШКАФОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯМИ АВО ГАЗА
- УЗЛОВ УПРАВЛЕНИЯ КРАНАМИ (ЭПУУ)
- ВЗРЫВОЗАЩИЩЕННЫХ ОБОЛОЧЕК (КОРОБОК)
- ЩИТОВ И ПУЛЬТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
- ШКАФНОЙ ПРОДУКЦИИ
- ПРОЧИХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Благодаря высокому качеству и надежности выпускаемого оборудования, а также безупречной работе на протяжении многих лет, завод завоевал себе репутацию надежного поставщика энергетического оборудования на российском рынке. Среди предприятий использующих наше оборудование можно выделить следующие: ОАО "Газпром", ОАО "Роснефть", НК "ЛУКОЙЛ", ФСК ЕЭС, холдинг МРСК, ОАО "ГМК Норникель", ООО УК "Металлоинвест" и ряд других.

ООО ЗАВОД «КАЛИНИНГРАДГАЗАВТОМАТИКА»
236022, РФ, г. Калининград, Гвардейский пр-т, д. 15
Тел.: (4012) 576-032, факс (4012) 576-024
Отдел продаж: 576-033, 576-028, 576-125.
E-mail: zavod@kga.ru Web.: www.kga.ru