

В современных условиях уменьшения финансирования и возрастающих санкций возникает необходимость поиска эффективных и энерго- и ресурсосберегающих методов повышения надежности и устойчивости работы электрических сетей.

Повышение энергоэффективности асинхронных двигателей

вторичного рынка как способ энергосбережения

Виталий Дейнего, Дмитрий Дуюнов, Валерий Иванов, г. Москва



Электрические перегрузки на элементах системы распределения электроэнергии зависят от характера нагрузки и режимов ее работы у потребителя. Основной нагрузкой является электропривод с асинхронными двигателями, который потребляет более 80% вырабатываемой энергии. Энергоэффективность асинхронных двигателей закладывается на этапе проектирования и отвечает уровню техники, достигнутому на момент проектирования. Значительная часть эксплуатируемого парка двигателей имеет возраст 30 и более лет, и спроектированы они исходя из уровня техники второй половины прошлого века. На их производство затрачены и продолжают тратиться колоссальные ресурсы. В ходе эксплуатации асинхронные двигатели, из-за нарушения правил эксплуатации и старения изоляции, отказывают и попадают в ремонт. Отремонтированные асинхронные двигатели образуют вторичный рынок. С точки зрения ресурсосбережения их выгоднее отремонтировать, а не пополнять ими вторичный рынок металлов. С точки зрения сетевой компании необходимо при ремонте асинхронного двигателя увеличить его КПД до паспортного значения, а ещё лучше увеличить КПД в диапазоне нагрузок.

Предлагается метод повышения энергоэффективности асинхронных двигателей в диапазоне нагрузок при их капитальном ремонте, основанный на применении запатентованных в РФ совмещенных отмоток «звезда в треугольнике». Увеличение КПД выше паспортных значений в диапазоне нагрузок и уменьшить реактивную мощность. В настоящее время по этой технологии модернизированы образцы асинхронных двигателей от всех производителей. По инициативе разработчика, «цехом российских обмотчиков» организована система по внедрению этой методики. Обмотчиками уже модернизировано асинхронных двигателей на общую установочную мощность более 7 МВт. При этом, в последнее время, ежемесячно модернизируется не менее 1 МВт установочной мощности.

Информация об этом изобретении размещена на сайте ФИПС в разделе «Сотрудничество с регионами России по ссылке «Перспективное изобретение», а также опубликована в журнале «Интеллектуальная собственность (промышленная собственность)». Данная технология предложена для включения в Справочник о наиболее эффективных технологиях в сфере теплоснабжения, электроснабжения, водоснабжения и вода водоотведения, который будет утверждать Председатель Правительства РФ.



Рис. 1

Показательно, что с июля 2014 г. производители электрической энергии в США развернули пилотную программу по качественному ремонту асинхронных двигателей с повышением параметров их энергоэффективности и энергосбережения. При этом они планируют сэкономить у потребителя более 5800 ГВт электрической энергии за 10 лет. Они видят в этом отдельное направление по энергосбережению и обеспечению качества электроэнергии в электросетях своих компаний.

Повышение надежности системы «генерация электроэнергии – передача и распределения электроэнергии – потребление»

В современных условиях уменьшения финансирования на государственные программы по энергосбережению и возрастающих экономических санкций возникает необходимость поиска эффективных и энерго- и ресурсосберегающих методов повышения надежности и устойчивости в системе «генерация электроэнергии – передача и распределения электроэнергии – потребление». Для устойчивости этих «качелей» необходимо обеспечивать:

- баланс мощностей, которой в значительной степени определяется эффективностью генератора и энергосбережением нагрузки у потребителя;
- запас устойчивости по напряжению, который определяется уровнем критического напряжения, соответствующего границе статической устойчивости электродвигателей;
- надежность элементов системы поставки и распределения электроэнергии.

В ряде сетевых компаний объем инвестиций, на реконструкцию и техническое перевооружение электросетей, сопоставим или превышает их остаточную стоимость. Так, в Ленинградской области и в г. Санкт-Петербурге износ линий электропередачи составляет 60%; подстанций – почти 80%. Для обеспечения надежности и развития сетевой инфраструктуры необходимы инвестиции в сумме около 1 млрд. USD. Ограничения финансирования на реконструкцию сети становятся ограничивающим фактором (наряду с генерированием) в процессах электрификации страны (регионов) и развития новых инфраструктурных проектов. На **рис.1** показана динамика изменения роста потребления и пропускной способности электросети.

Надежность элементов распределительных электросетей и устойчивая работа электроснабжения в значительной степе-

ни зависит не только от роста электрической нагрузки потребителей, но и от характера нагрузки и ее режимов работы.

В России основная доля потребления электроэнергии приходится на промышленные предприятия. На **рис.2** показана структура потребления электроэнергии по отраслям хозяйства в 2010 г., в млрд. кВт·ч (округленно).

На предприятиях промышленности основным потребителем является асинхронный (АД) или синхронный двигатель. По экспертным оценкам на предприятиях РФ используются от 120 до 150 млн. единиц АД. В **табл.1** приведены данные о доли потребления электроэнергии различным механизмами, а **табл.2** – распределение асинхронных двигателей по установленной мощности и доли потребляемой ими электрической энергии.

На предприятиях водоканала и водоотвода почти 90% электроэнергии потребляют насосы с асинхронными двигателями. На одного жителя нашей планеты приходится более 8 асинхронных двигателей.

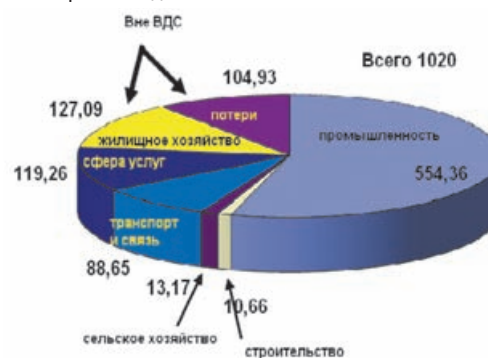


Рис.2

При работе на малых коэффициентах нагрузки серийные АД имеют низкие КПД и малые значения $\cos\phi$, что значительно портит качество электроэнергии в сети. Увеличение реактивной мощности, пусковых токов, уменьшения КПД и $\cos\phi$ нагрузки у потребителей вызывает дополнительные электротепловые перегрузки в элементах электрических сетей, таких как кабелях, трансформаторах, элементах защиты и т.п.

Например, массовое включение кондиционеров, холодильного оборудования при повышении температуры окружающей среды (летняя жара в регионе) может стать причиной веерных отключений и аварий в электросети.

Таблица 1

Тип механизма	В % от общего количества	Тип механизма	В % от общего количества
Вентиляторы	31,9	Смесители	4,3
Транспортеры	18,7	Механизмы перемещения	5,5
Насосы	16,1	Затворы, задвижки	3,2
Станки	9,1	Компрессоры	3,8

Таблица 2

Мощность, кВт	В % от общего количества	В % от общего потребления электроэнергии
до 1	12,7	6,4
от 1 до 5	57,3	39
от 5 до 20	19,3	28,2
от 20 от 100	9,2	20,8
свыше 100	1,5	5,6
Всего	100%	100%

Одной из причин отказов элементов энергосистем является форсированный износ изоляции под воздействием возникающих электрических перегрузок. Следует указать на недопустимость форсированного износа изоляции, когда она быстро теряет свои физические свойства из-за систематических перегрузок токоведущих частей, приводящих к перегреву изоляции. Достаточно сказать, что при превышении температуры обмоток трансформатора сверх допустимого значения на шесть градусов Цельсия сокращается срок возможного использования изоляции почти вдвое и это при значительном износе наших электрических сетей. Источниками токовой пере-

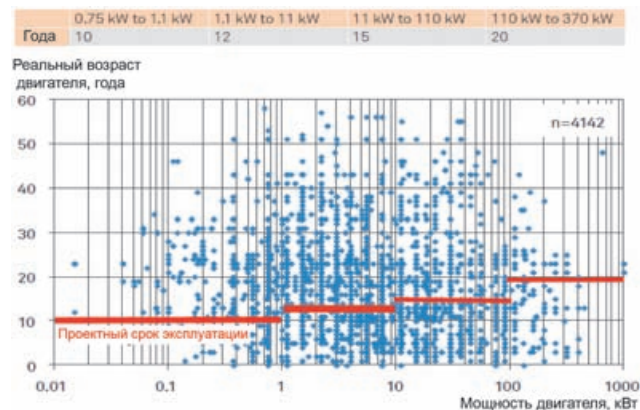


Рис.3

грузки является кратность токов и возрастающее потребление электроэнергии потребителем при смене характера нагрузки с активной на реактивную. Хорошо известны аварии от не скомпенсированной реактивной мощности.

В РФ в эксплуатации находится более 120 млн. шт. АД. Этот парк эксплуатируемых АД постоянно пополняется новыми двигателями, совокупность которых образует первичный рынок (7%). В ходе эксплуатации асинхронные двигатели отказывают и их направляют на ремонт. Отремонтированные асинхронные двигатели образуют вторичный рынок (5%), который по объему соизмерим с первичным рынком (7%). Доля российских производителей от общего числа продаваемых АД на рынке России составляет не более 4%. Каждый производитель АД имеют систему контроля качества, которая гарантируют заданный класс энергосбережения и уровень показателей надежности при тяжелых условиях эксплуатации. Но вторичный рынок асинхронных двигателей остается без такого тотального контроля качества.

Практика эксплуатации асинхронных электродвигателей для привода вспомогательных механизмов на электровозе РЖД показывает, что увеличение срока службы и повышение надежности работы машин дает относительно большой экономический эффект, чем улучшение других технико-экономических показателей. Но с точки зрения распределительных сетей очень важно сохранение паспортных значений показателей энергосбережения и энергоэффективности у отремонтированных АД. Качество ремонта асинхронных двигателей определяет энергоэффективность и энергосбережение того оборудования, в котором они применялись до ремонта. Если качество ремонта низкое, то и энергоэффективность и энергосбережение оборудования значительно снизится. Работа АД с низким КПД и $\cos\phi$ приведет к отрица-

тельным изменениям показателей качества электричества в электросети и существенно повлиять на устойчивость ее работы. В настоящее время в промышленности применяется широкая гамма асинхронных двигателей различных годов разработок, которые за время службы подвергались ремонту.

На рис.3 показано распределение эксплуатационного парка асинхронных двигателей по возрасту. Выборка взята для парка находящихся в эксплуатации АД асинхронных, на 18 промышленных предприятиях в Швейцарии (Источник: S.A.F.E., 2014 г.). Из них 56% двигателей используются дольше проектного срока их эксплуатации.

Использование АД в частотно регулируемом электроприводе

Последнее десятилетие отмечено увеличением применения серийных АД в частотно-регулируемом приводе (ЧРП) в механизмах с переменной производительностью. Высокочастотная коммутация в преобразователях частоты (ПЧ) обуславливает появление подшипниковых токов в АД. Их вредные последствия изучены не до конца, а способы борьбы с ними (вплоть до отказа от металлических подшипников) требуют исследований. Выходное трехфазное напряжение большинства преобразователей частоты (ПЧ) формируется путем широтно-импульсной модуляции. Это приводит к воздействию на межвитковую и межфазовую изоляцию электродвигателя импульсных напряжений, амплитуда которых превышает амплитуду основной частоты выходного напряжения. Для устранения преждевременного старения изоляции и снижения срока службы обмотки требуется введение в состав ПЧ специальных фильтров. Такой шаг приводит к снижению результирующего КПД преобразования энергии и увеличивает стоимость ПЧ. Другой путь – модернизация обмоток статора АД.

Учитывая важность задачи обеспечения надежной и устойчивой работы электросетей, в условиях снижения инвестиций и санкций, предлагается методология и техническое решение по повышению энергоэффективности и ресурсоэнергосбережению асинхронных двигателей вторичного рынка. В частности предложена технология по перемотке статоров асинхронных машин любой мощности и любых производителей (Германии, Италии и Китая, которые поставляют на российский рынок более 95% асинхронных двигателей). Эта технология позволяет перевести отремонтированный АД из класса энергосбережения IE в класс IE2 и выше, при этом, не превышая уровня финансовых и материальных ресурсов, отпущенных на штатный ремонт.

Это идет в разрез принятой в России стратегии эксплуатации асинхронных двигателей «отказал – купи новый». Окупаемость нового энергоэффективного АД 2...3 года. При такой стратегии идет стимулирование заграничного производителя и пополнение рынка цветным металлическим ломом (рис.4).

Достоинства новой технологии ремонта АД

Наша инновационная технология ремонта вселяет в старое железо асинхронного двигателя новую энергоэффективную жизнь в широком диапазоне нагрузок и энергосберегающее долголетие. Физическая сущность предложения вытекает из того, что в зависимости от схемы подключения трехфазной нагрузки к трехфазной сети (звезда или треуголь-

ник) можно получить две системы токов, образующих между векторами индукции магнитных потоков угол в 30 электрических градусов. Соответственно, к трехфазной сети можно подключить электродвигатель, имеющий не трехфазную обмотку, а шестифазную. При этом часть обмотки должна быть включена в звезду, а часть в треугольник и результирующие вектора индукции полюсов одноименных фаз звезды и треугольника должны образовывать между собой угол в 30 электрических градусов.

Технология позволяет после ремонта серийного асинхронного двигателя обеспечить следующее:

- меньший потребляемый ток – на 20...35% (в зависимости от режима);
- более высокий пусковой момент – на 35%;
- меньшие пусковые токи – на 35%;
- больший минимальный момент – на 35%;
- больший максимальный момент – на 10%;
- возможность эксплуатации как в режиме работы S1, так и в режиме работы S3;
- улучшены вибро-шумовые характеристики, в среднем уровень шума ниже на 5 дБ;
- КПД и cosφ, близкий к номинальному в диапазоне нагрузок от 30 до 140%;
- большая перегрузочная способность;
- высокие рекуперационные возможности.



Рис.4

«Цех обмотчиков по ремонту асинхронных двигателей» воспринял эту технологию перематки статора асинхронных двигателей и генераторов, и активно ее внедряет у заказчиков, потребителей

электрической энергии. При этом схемы совмещенных обмоток получают из консультационного центра в ООО «АС и ПП» г. Зеленоград. В их среде эта технология получила название «Славянка».

В ходе ремонта асинхронных двигателей (для повышения его энергоэффективности) могут быть использованы следующие мероприятия:

- повышение коэффициента заполнения паза медью. Например, использование современных более тонких изоляционных материалов для пазовой изоляции. Использование проводов с более тонкой изоляцией. Подбор и комбинация сечений проводов, дающих максимальное заполнение паза;
- технические решения, препятствующие протеканию поперечных токов через подшипники, щиты, корпус двигателя и вал;
- применение современных подшипников и смазок для них;
- замена «вентиляторов» более эффективными, замена крышек внешних вентиляторов крышками с меньшим аэродинамическим сопротивлением;
- применение для лобовых частей компаундов с высокой теплопроводностью;

- установка магнитных клиньев;
- перевод схем на максимальное число параллельных соединений полюсов;
- применение пропиточных лаков с высокой теплопроводностью;
- использование проводниковых материалов из медных «сплавов» с низким температурным коэффициентом сопротивления;
- снижение переходных сопротивлений в соединениях.

При перематке обмоток статора асинхронного двигателя можно воспользоваться электронным справочником (Цветков С.А. Справочник обмотчика асинхронных электродвигателей, 2011, microtesla@yandex.ru), но при этом необходимо помнить, что совмещенные обмотки по технологии «Славянка» имеют особенности и как оригинальные технические решения защищены патентами РФ.

Промежуточные результаты по внедрению технологии «Славянка» при ремонте асинхронных двигателей докладывались на «Ярославском энергетическом форуме 2011» и на последующих форумах, выставках и совещаниях, организованных Инновационным центром «Сколково». При обсуждении государственной программы «Энергоэффективность и развитие энергетики на 2013...2020 годы», которое состоялось в Аналитическом центре при Правительстве Российской Федерации в октябре 2014 г., вскрылось непонимание, экспертами Министерства энергетики, Министерства экономического развития РФ важности вопроса по использованию энергосберегающего потенциала асинхронных двигателей вторичного рынка для обеспечения надежности электросетей. И это при условии резкого сокращения финансирования государственной программы, притом, что на реализацию наших предложений не нужны значительные финансовые ресурсы.

Ремонт АД в США

Однако эта инновация нашла энергичный отклик в электроэнергетических компаниях США. С массовым внедрением у потребителей электроэнергии привода с асинхронным двигателем и частотным регулированием, которые они активно продвигали, к электроэнергетическим компаниям США пришло понимание, что это приводит к:

- изменению характера нагрузки сети (она становится реактивно-импульсной), а это приводит к уменьшению запаса устойчивости электросети и к увеличению негативных рисков электроэнергетической безопасности;
- перераспределению отказов асинхронных двигателей. Более 50% отказов приходится на такой опасный их вид, как разрушение подшипников;
- уменьшению энергоэффективности асинхронного двигателя на единицы процентов после ремонта, что является неуправляемым риском для электросети.

В США на долю отказов АД из-за отказов обмоток статора приходится 16%. Эти отказы происходят из-за старения изоляции (перегрев обмоток) или пробоя изоляции обмоток. Замена обмоток статора или ремонт, которые выполняются ненадлежащим образом или выполненные на двигателе со значительными отклонениями, часто является причиной ухудшения его эффективности ниже паспортных значений. Специалисты США отмечают, что даже небольшое

уменьшение КПД асинхронного двигателя может вызвать значительное увеличение общих эксплуатационных расходов.

Понимание выше указанных проблем и желание получения дополнительной прибыли от сэкономленной электроэнергии у потребителя заставило энергогенерирующие компании США приступить к построению системы повышения энергоэффективности асинхронных двигателей при их ремонте.

15 июля 2014 г. компания АЕР Огайо, которая входит в состав American Electric Power, выбрала компанию Advanced Energy для оказания помощи в развитии пилотной программы по ремонту асинхронных двигателей. В этой программе Advanced Energy отвечает за:

- выбор и сертификацию четырех сервисных центров по ремонту асинхронных двигателей, на территории, которую обслуживает АЕР Огайо;
- обеспечения того, чтобы отремонтированные в этих центрах двигатели не теряли свою эффективность.

Общая характеристика участников этого пилотного проекта приведена в **табл.3**.

Таблица 3

Участники пилотного проекта	Характеристика
АЕР Огайо	Обеспечивает электроэнергией почти 1,5 млн. клиентов. Входит в состав American Electric Power.
American Electric Power	Является одним из крупнейших энергетических компаний в США. Поставляя электроэнергию в более чем 5,3 млн. клиентов в 11 штатах. АЕР входит в число крупнейших производителей электроэнергии в стране, владеющий почти 38 тыс. МВт генерирующих мощностей в США.
Advanced Energy	Проводит независимое тестирование эффективности асинхронных двигателей, способствует в лидерстве по ремонту АД. На протяжении более 20 лет осуществляет независимое тестирование эффективности двигателей в США, Канаде и Мексике. Является единственной независимой лабораторией в Северной Америке для добровольной аккредитации лабораторий по испытанию асинхронных двигателей.

Компания АЕР Огайо разработала эту программу для обслуживания своих промышленных клиентов, которые будут ремонтировать асинхронные двигатели, в качестве меры по повышению энергоэффективности. Согласно ей двигатели должны быть отремонтированы в аккредитованном Центре и испытаны для подтверждения их эффективности и получения финансовых льгот.

В этом пилотном проекте запланированы финансовые стимулы для:

- клиентов АЕР Огайо – 2 USD за 0,7 кВт (за одну лошадиную силу);
- аккредитованного сервисного центра, обеспечивающего ремонт АД – 1 USD за 0,7 кВт.

Компания Advanced Energy проводит сертификацию Центров, способных ремонтировать двигатели по требованиям, изложенным в пилотной программы АЕР Огайо. Первыми будут ремонтироваться асинхронные двигатели мощностью более 221 кВт (300 лошадиных сил) и выше. Это отправная точка в пилотном проекте, а в будущем будет рассматриваться меньшие мощности асинхронных двигателей. Это будет после того, как будут определены Центры, будут налажены контакты с клиентами, а АЕР Огайо и Advanced Energy подтвердят интерес в выполнении проекта.

Центры, которые предоставляют клиентам качественный ремонт АД и гарантируют эффективность и надежность отремонтированного асинхронного двигателя, получают сертификат от Advanced Energy на 15 лет. Ричард Салливан, Глав-

ный координатор по ЕЕ / PDR Департамента АЕР Огайо сказал: «Мы рады, что в партнерстве с Advanced Energy будем реализовывать программу по улучшению эффективности перемотки статоров двигателей. В наших программах уже оплачиваются стимулы для частотно-регулируемых приводов и новых двигателей, которые превышают эффективность NEMA премиум. Этот пилотный проект поможет снизить потребление энергии старыми асинхронными двигателями, которые могут быть перемотаны несколько раз, прежде чем их заменят».

В обсуждениях и сравнительных испытания АД, выполненных по технологии «Славянка», уже участвуют специалисты из Германии, Индии, Китая, Италии, а также иностранные эксперты из инновационного центра «Сколково».

Внедрение запатентованных в РФ обмоток типа «Славянка» позволит:

- с относительно небольшими финансовыми затратами обеспечить устойчивость энергосистемы (АД с этой обмоткой устойчиво работают при более низком напряжении, а

перемотанные по этой технологии статоры генераторов позволят повысить запас по генерируемой мощности при значительном снижении расхода первичного энергосистемы (воды, топлива и т.п.);

- повысить надежность элементов сети распределения электрической мощности;
- получить экономию энергии на установочной мощности;
- уменьшить расход электрической энергии на единицу выпускаемой продукции, обеспечив конкурентоспособность российских товаров;



Рис.5

- пересмотреть тарифы ЖКХ (меньше потребление электрической энергии, меньше расходы на ремонт, меньше цена на электродвигатели и т.п.);
- разработать эффективный электропривод для электро-транспорта;
- повысить эффективность генераторов и качество электрической энергии в сетях.

Общим элементом электрических машин (электрогенератора и электродвигателя) являются обмотки их статора, которые можно выполнять по технологии «Славянка». Общая эффективность такого относительно не затратного мероприятия показана на **рис.5**.

21 октября 2014 года в Госдуме РФ состоялось 6-е заседание Координационного совета Президиума Генерального совета Всероссийской Политической партии «Единая Россия» по вопросам энергосбережения и повышения энергетической эффективности в рамках партийного проекта «Энергетическая безопасность». Заседание провел Глава Координационного совета, первый заместитель председателя Комитета Госдумы по энергетике Юрий Липатов. В своем выступлении он обратил внимание на новые условия, в которых сейчас приходится работать, а именно экономические санкции ЕС в отношении России, в связи с чем вопрос импортозамещения становится приоритетным в отборе проектов для внедрения на территории страны. Учитывая важность вопроса по рекомендации НП «Энергоэффективный город», на совещании был рассмотрен вопрос о применении энергоэффективного асинхронного двигателя с совмещенными обмотками, выполненного по технологии «Славянка». В насто-

ящее время, эта технология ремонта с большой эффективностью применяется при ремонте асинхронных двигателей.

Выводы:

1. В настоящее время в мировой практике электрических компаний формируется новое направление мероприятий по обеспечения надежности электросетей и устойчивости энергоснабжения. Это сертифицированное управление качеством ремонта вторичного рынка асинхронных двигателей, энергоэффективность, которого ранее никто не гарантировал.

2. Энергосетевым компаниям России необходимо при заключении договоров на поставку электроэнергии обязывать, чтобы потребитель обеспечивал высокую гарантированную энергоэффективность своего оборудования на протяжении всего срока ее службы. И в качестве примера рекомендовать при ремонте асинхронных двигателей применять совмещенные обмотки «звезда в треугольнике», выполненные по технологии «Славянка». Это позволит обеспечить электроэнергией большее число потребителей, не увеличивая пропускную способность сети, или высвободить ресурсы сети для ее планового ремонта.

3. Надзорным органам при формировании заключения по аудиту энергосбережения рекомендовать организациям по ремонту асинхронных двигателей принимать меры по повышению КПД и cosφ (при работе АД в широком диапазоне нагрузок), уменьшению кратности токов, увеличению кратности моментов отремонтированных асинхронных двигателей. Это в значительной мере повысит надежность и устойчивость работы распределительной сети электроэнергии.



AC/DC-преобразователи мощностью 100 Вт в закрытом корпусе

Серия TML-100C

Высокоэффективное и легко устанавливаемое решение для промышленного оборудования и распределенных систем питания

- Компактный низкопрофильный корпус
- Активный корректор коэффициента мощности
- Высочайший КПД в широком диапазоне нагрузок
- Функция удаленного включения/выключения
- Сигнал «DC-OK»
- Выходные напряжения 12, 15, 24, 48 В DC с возможностью подстройки в пределах ±5% от номинального значения



www.tracopower.com



Компания СЭА

электроника электротехника компоненты оборудование

Украина, 02094, г. Киев, ул. Краковская, 13-Б
 тел.: [044] 291-00-41, факс: [044] 291-00-42
www.sea.com.ua | info@sea.com.ua