

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ РАО

RADWASTE REPROCESSING AND CONDITIONING TECHNOLOGY

А.С. БАРИНОВ, *к.т.н.*,
А.С. ВОЛКОВ, *к.т.н.*,
С.М. ЛАЩЕНОВ, *к.т.н.*
(ГУП МосНПО «Радон»)



A.S. BARINOV,
Candidate of Technical Science,
A.S. VOLKOV,
Candidate of Technical Science,
S.M. LASCHENOV,
Candidate of Technical Science
(SUE Radon Moscow)

■ Основная цель переработки и кондиционирования радиоактивных отходов – повышение их безопасности за счет минимизации объема, перевода в стабильные формы и упаковки в долговечные контейнеры.

В Научно-производственный комплекс (НПК) ГУП МосНПО «Радон» поступают радиоактивные отходы из более 2500 организаций Московского региона. Классификатор предприятия включает 15 групп первичных форм РАО, которые существенно отличаются по своим характеристикам, важным для их безопасной изоляции (активности, периоду полураспада и т.д.):

- источники излучения, удаляемые из защитных контейнеров;
- источники, размещаемые на хранение вместе с защитными контейнерами;
- радиоизотопные приборы (дымоизвещатели, активные элементы уровнемеров, плотномеров и т.д.);
- препараты в ампулах (концентрированный тритий и т.д.);
- РАО, образующиеся при эксплуатации исследовательских реакторов;
- горючие биологические (тушки подопытных животных);
- горючие небιологические (фильтровальные материалы из лабораторий, ветошь, текстиль и т.д.);
- прессуемые (лабораторная посуда, приборы КИП и т.д.);
- кондиционируемые (грунт, обломки стройматериалов, оборудование и т.д.);
- фильтры вентиляционных систем;
- свинцовые изделия;
- жидкие неорганические (производственные сточные воды);
- жидкие органические (масло из вакуумных агрегатов и т.д.);
- жидкие прочие (сцинтилляционные жидкости, растворители, реактивы);
- несортированные.

Отходы каждой группы обрабатываются в отдельной технологической линии. Предварительно в специальной рабочей камере производятся переупаковка и сортировка РАО, а также фрагментация предметов крупного размера и сложной конфигурации.

■ The primary objective of processing and conditioning of radioactive waste is assurance of their enhanced safety as a result of volume minimisation, conversion into stable forms and packaging into durable containers.

The Science and Production Complex of Radon Moscow receives radioactive waste from over 2,500 organisations in the region of Moscow. The range of products that the company accepts includes 15 groups of primary radwaste forms, which may be vastly different in their characteristics important for their safe isolation (levels of radioactivity, half-life, etc.):

- radiation sources retrieved from protective containers;
- radiation sources that are to be stored together with their protective containers;
- radioisotopic devices (smoke detectors, active elements of level meters, density meters, etc.);
- radiation products in ampoules (concentrated tritium, etc.);
- radwaste generated as a result of research reactor operations;
- combustibile biological waste (corpses of experimental animals);
- combustibile non-biological waste (laboratory filtering materials, waste cloth, textile materials, etc.);
- compactable waste (laboratory glassware, measuring instruments, etc.);
- conditionable waste (soil, pieces of construction materials, equipment, etc.);
- filters from ventilation systems;
- lead products;
- liquid non-organic waste (process wastewater);
- liquid organic waste (oil from vacuum units, etc.);
- other liquid waste (scintillation fluids, solvents, reagents);
- miscellaneous non-segregated waste.

Each group of waste is processed using a dedicated production line. There is a special pre-processing cell, in which the radwaste undergoes primary repackaging and segregation, as well as fragmentation of large pieces or waste of complex geometry.

COMPACTION

Waste that is determined to belong in the 'compactable' category (both coming out of segregation and secondary production radwaste) are processed by compaction.

КОМПАКТИРОВАНИЕ

Отходы группы «Прессуемые» (сегрегированные в процессе сортировки и вторичные производственные РАО) подвергаются компактированию.

Предварительно отходы подпрессовываются на небольшом прессе с усилием 20 т внутри 100-литровой металлической бочки. Заполненные бочки с РАО компактируют на гидравлическом прессе с усилием 1500 т, а образующиеся небольшие по высоте цилиндры помещают в 200-литровые бочки. Процесс автоматизирован: все грузовые и складские механизмы (рольганг с цепным транспортером и тензометрическими весами, штабелер-манипулятор, толкатели, захваты, вращающийся стол и т.д.) управляются программатором, а персонал контролирует работы с пульта управления в отдельном помещении.

СЖИГАНИЕ

Процесс сжигания используется для преобразования материалов, подверженных гниению и химическому старению, в более компактную и стабильную форму – минеральный зольный остаток.

Установки для сжигания РАО обладают ограниченным ресурсом эффективного использования, поэтому на ГУП МосНПО «Радон» практикуется поддержание в рабочем состоянии одновременно двух моделей: одной с заканчивающимся сроком эксплуатации, другой – новой, усовершенствованной на основе предыдущего опыта.

Установка «Факел» действует уже более 20 лет. Основное устройство – керамическая печь, источник тепла – форсунка на жидком топливе.

По каждой группе РАО установлен набор критериев приема. Одна из функций предприятия – характеристика РАО, то есть проверка соответствия реальных характеристик передаваемых упаковок действующим требованиям, а также получение уточняющих и дополнительных данных для учетной базы.

For each group of radwaste there is an established set of acceptance criteria. One of the company's functions is characterisation of radwaste, that is, verification of compliance of the actual waste package characteristics with applicable requirements, as well as collection of additional and more precise information for the accounting database.

Печь выложена двумя слоями разных огнеупорных материалов и закрыта стальным кожухом. Ее полость разделена на камеры сжигания, дожига и осаждения. Первая камера оборудована колосниковой решеткой, где РАО сжигаются в неподвижном слое, с дутьевыми отверстиями, в которые подается воздух, подогретый теплом отходящих газов. Под ней находится камера дожига с поворотной колосниковой решеткой для выгрузки золы. В камере осаждения дымовые газы резко меняют направление, обходя керамическую перегородку. При этом продолжается дожиг летучих продуктов, а наиболее крупные частицы летучей золы и сажи отделяются от потока в отдельный накопитель. После сжигания партии отходов производится охлаждение и выгрузка золы.



Упаковка РАО на конвейере γ -спектрометрической установки
A package of radwaste on the γ -spectrometry conveyor

The first stage of processing is pre-compression of the waste using a small press by 20 tonnes force inside a 100-litre metallic drum. Then, the drums loaded with radwaste are further compacted using a 1,500 tonnes force hydraulic press, with the resulting small-height cylinders placed into 200-litre drums. The process is automatic: all loading and warehousing mechanisms (roller table with a chain transporter and tensometric balance, stacker-manipulator, pushers, grippers, turntable, etc.) are controlled by a programmer unit, within personnel monitoring the process from a control station in a separate room.

INCINERATION

The incineration process is used to convert those materials that are prone to rotting and chemical ageing into the more compact and stable form that is mineral ash residue.

The radwaste incineration plants have a limited effective life span, which is why Radon Moscow maintains and operates two such plants in parallel: one that is nearing the end of its operating life, and the other newer, which features upgrades from past operational experience.

The Fakel plant has been in use for over 20 years. Its core is a ceramic oven, which the source of heat provided by a liquid-fuel burner.

The oven is lined with two layers of different fire-proof materials and enclosed in a steel case. Its internal cavity is divided into combustion, post-combustion and sedimentation chambers. The first chamber is fitted with a fire grate, where the radwaste is burnt in a fixed layer, with blasting holes through which air is fed that is pre-heated by exhaust gases. Beneath that, there is the post-combustion chamber with a rotating fire grate for ash removal. In the sedimentation chamber, the combustion gases change their direction abruptly, bypassing a ceramic partition. This continues the post-combustion of volatile products, with the largest particles of air-borne ash and soot being separated from the flow and settling in a special collector. After incineration of a batch of waste, the oven is cooled and the ash is removed.

In order to prevent it from scattering, the ash is wetted with water and loaded into 100-litre metallic drums, which are placed unlidged into 200-litre drums. Then, any voids



Печь установки «Плутон»: нижняя часть шахты – плавильная камера
 Pluton plant furnace: the lower section of the shaft, which is the smelter

Для предотвращения распыления зола смачивается водой и выгружается в 100-литровые металлические бочки, которые без крышек помещаются в 200-литровые бочки. Затем полости 200-литровых бочек заполняются матричным материалом и, таким образом, образуются блоки частично омоноличенной золы.

Производительность установки – до 150 кг РАО в час. Наряду с твердыми отходами на установке могут сжигаться жидкие органические отходы, чаще всего, техническое масло.

Новая установка сжигания – «Плутон» – имеет следующие принципиальные отличия от предыдущей:

- использование шахтной печи с высотой в восемь раз больше поперечника;
- основной процесс – пиролиз (термическое разложение органических материалов), что обеспечивает менее интенсивный унос аэрозолей;
- источником нагрева являются электродуговые плазматроны; температура в горячей зоне превышает 1600°C, что превращает зольный остаток в жидкотекучий шлак;
- наряду с горючими веществами в ограниченном количестве могут перерабатываться отходы, содержащие металл и минеральные материалы; тем самым ослабляются требования к предварительной сортировке принимаемых РАО.

Нижняя часть печи представляет собой плавильную камеру, в своде над которой установлены два плазматрона. Горячие газы поднимаются сквозь массу отходов, заполняющих шахту. В верхней части печи происходит сушка загружаемого материала, ниже – пиролиз, еще ниже – окислительный пиролиз (частично сгорание, частично крекинг), в плавильной камере – полное сгорание органики. Образовавшийся пирогаз дожигается в отдельной камере, обогреваемой плазматроном.

Негорючий остаток (жидкотекучий шлак) сливают в стальные контейнеры объемом 25 л и охлаждают. В результате получают отвержденный шлак – стеклоподобным материалом с высокой водостойкостью, в десять раз большей, чем у цементованных отходов.

ПЕРЕРАБОТКА ЖРО

Оборудование, которым располагает НПК ГУП МосНПО «Радон», позволяет очистить поступающие

inside the 200-litre drums are filled with a matrix material, thus forming blocks of partly grouted ash.

The plant's capacity is up to 150 kg of radwaste per hour. Alongside solid waste, the plant can incinerate liquid organic waste, most frequently technical oils.

The new incineration plant – Pluton – possesses the following features that distinguish it from the older one:

- utilisation of a shaft furnace with its height eight times its cross section;
- the main process that is employed is pyrolysis (that is, thermal disintegration of organic materials), which provides for less intensive carrying-away of air-borne particles;
- the source of heat is provided by electric arc plasma jets; the temperature inside the hot zone is in excess of 1,600°C, which prevents conversion of ash residue into fluid slag;
- along with combustible substances, the plant can process limited amounts of waste that contains metal and mineral materials; this makes the requirements to pre-segregation of incoming radwaste less stringent.

The lower part of the oven is a smelting chamber, the roof of which has the two plasma jets built in. Hot gases rise through the bulk of the waste that fills the shaft. Drying of the loaded material occurs in the upper section of the oven, beneath which pyrolysis takes place, and yet further down, oxidating pyrolysis (partial combustion and partial cracking), with the organics combustion process completed in the smelting chamber. The resulting pyrolysis gas is post-burned in a separate chamber using heat from the plasma jets.

Non-combustible residue (fluid slag) is drained into steel 25-litre containers and cooled. The output is solidified slag – a glass-like material, which is highly resistant to water – dozens of times more resistant than cemented waste.

LIQUID RADWASTE PROCESSING

The Science and Production Complex of Radon Moscow possesses equipment capable of purifying incoming liquid radwaste to the extent that it can be discharged into an open body or stream of water.

Mechanical cleaning (pre-screening) of the waste is performed in a settling clarifier, as well as in siphon, keramzit and sand filters, with finer purification by charcoal and ion-exchange filters. Depending on the nature of contamination, various combinations of facilities may be employed.

The plant's capacity is up to 5 m³/hour. Efficiency of purification is measured by concentrations of α -, β - and γ -radionuclides, salt content, muddiness, content of sulphates, chlorides, nitrates, oil products, etc.

The mobile Aqua-express installation is also used, which operates using sorbents and ion-exchange materials. When necessary, ultra-filtration or micro-filtration plants may also be used. The equipment is built as a set of small-size modules and can be quickly deployed on various sites near sources of liquid radwaste.

Efficiency of filtration depends directly on the content of salts in the water; additionally, this method is also sensitive to the properties of contaminants. This, however, is not true for the alternative method of water distillation, that is, water evaporation with subsequent condensation of vapours. Contaminants remain in the evaporator concentrate of the evaporator. At the same time, the distillation meth-

ЖРО до степени, которая допускает их сброс в открытую гидрографическую сеть.

Механическая очистка (фильтрация) производится в отстойнике-осветлителе, а также на сипроновом, керамзитовом и песчаном фильтрах, более тонкая очистка – с использованием угольных и ионообменных фильтров. В зависимости от характера загрязнений аппараты системы могут эксплуатироваться в разных сочетаниях.

Производительность водоочистной установки – до 5 м³/час. Показатели эффективности очистки – концентрация α -, β - и γ -радионуклидов, солесодержание, мутность, содержание сульфатов, хлоридов, нитратов, нефтепродуктов и т.д.

Используется также мобильная модель «Аква-экспресс», которая работает с применением сорбентов и ионообменных материалов. В необходимых случаях используются также ультрафильтрационный или микрофильтрационный аппараты. Оборудование сконструировано в малогабаритные модули и может быть оперативно смонтировано на различных площадках вблизи источников ЖРО.

Эффективность фильтрационной очистки напрямую зависит от содержания солей в воде, кроме того, этот метод «чувствителен» к свойствам загрязняющих компонентов. Это не характерно для альтернативного метода – дистилляции воды, то есть ее упаривания с последующей конденсацией паров. Загрязнения остаются в кубовом остатке выпарного аппарата – концентрате. Однако метод дистилляции достаточно энергоемок и считается, что его целесообразно применять при концентрации солей более 100 г/л.

Основной аппарат в подобной установке ГУП МосНПО «Радон» – роторный пленочный испаритель, который представляет собой вертикальный цилиндр высотой 8 м и диаметром 0,6 м. Внутри аппарата вокруг вертикальной оси вращается ротор с лопатками, которые распределяют подаваемую жидкость в тонкую пленку, опускающуюся по внутренней стенке испарителя. По мере опускания жидкости вода интенсивно испаряется и концентрация солей, соответственно, возрастает. Солесодержание ЖРО повышается с нескольких граммов до 400-600 г/л, объем снижается в десятки раз.

Образующийся конденсат удовлетворяет требованиям по сбросу в открытую гидрографическую сеть. А концентрат передается на отверждение: с повышенной кислотностью и содержанием сульфатов и хлоридов в количествах менее 1% мас. – на остекловывание, остальной – непосредственно на цементование.

ОСТЕКЛЫВАНИЕ

Оборудование установки остекловывания состоит из двух подсистем – концентрирования малосолевых растворов и отверждения концентратов. Подсистема концентрирования действует на основе роторных пленочных аппаратов и аналогична описанной выше установке.

Процесс приготовления стекла начинается с глубокого упаривания концентрата, до величины содержания солей 1000 г/л. Этот продукт смешивается с сырьевыми компонентами шихты для боросиликатного стекла – датолитом, бентонитовой глиной, кварцевым песком. В состав узла приготовления шихты входят: печь для сушки сырьевых компонентов; бункер; смесители; подъемник; шнековый питатель; пылеулавливающий агрегат; пери-

од is energy-consuming and is considered to be efficient enough when salt concentration exceeds 100 grams/litre.

The core of this plant that is in use at Radon Moscow is the rotary film evaporator, which is essentially a vertical cylinder 8 metres tall 0.6 metre in diameter. Inside the apparatus there is a vertical axle with a rotor, whose blades work the incoming fluid into a thin film that flows down the inner wall of the evaporator. As the liquid flows downward, the water evaporates actively, with salts concentration increasing accordingly. The salt content in the liquid radwaste increases from a few grams to 400-600 grams/litre, with the volume reducing by factors of ten and more.

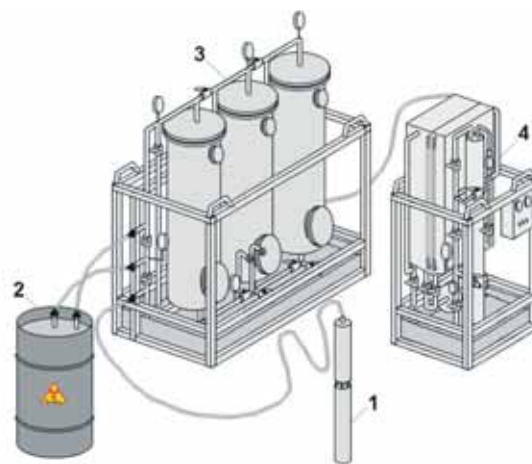
The resulting condensate is clean enough to be discharged into open pools of water. The concentrate is further transferred to solidification: that with high acidity and sulphates and chlorides content less than 1% weight is vitrified, with the rest cemented directly.

VITRIFICATION

Equipment of the vitrification plant consists of two subsystems: concentration of low-salt waste and solidification of concentrates. The concentration subsystem operates on the basis of rotary film evaporators and is similar to the one described above.

The glass-making process starts with deep evaporation of the concentrate to achieve salt content of around 1,000 grams/litre. This product is then mixed with the raw batch components for borosilicate glass: datolite, bentonite clay, quartz sand. The batching unit includes the following components: raw materials drying oven; batcher; mixers; elevator; auger feeder; dust catcher; peristaltic pumps. The batch mix is paste-like, precluding formation of radioactive dust.

Glass melting is performed in a 'cold crucible' induction smelter using high-frequency current generators. The glass melt is then drained through a stop valve into 22-litre metallic containers. The glass is then baked in a tunnel oven. The rate of glass cooling is one degree per minute. The outgoing blocks of glass in metallic containers are very stable and highly resistant to water. The plant's total production capacity is 75 kg of glass per hour.



Установка «Аква-экспресс» / Aqua-express plant:
 1 - погружной насос / submersion pump;
 2 - фильтр-контейнер / filter-container;
 3 - фильтрационный модуль / filtration module;
 4 - ультрафильтрационный модуль / ultra-filtration module.



Кондиционирование РАО. Закачка цементной матрицы в контейнер КМЗ, заполненный первичными упаковками РАО

Conditioning of radwaste. Pumping the cement matrix into a KMZ container filled with primary waste packages

стальгидравлические насосы. Шихта имеет пастообразную консистенцию, что препятствует образованию радиоактивной пыли.

Варка стекла производится в индукционном плавителе типа «холодный тигель» с использованием высокочастотных генераторов тока. Затем стекломасса через сливной затвор порционно удаляется в металлические контейнеры объемом 22 л. Следующая операция – отжиг стекла – осуществляется в туннельной печи. За минуту стекло охлаждается на 1°С. Стеклоблоки в металлических контейнерах характеризуются высокой стабильностью и водостойкостью. Общая производительность установки – 75 кг стекла в час.

Все установки, где реализуются «горячие» технологические процессы (сжигание и остекловывание) оборудованы сложной системой очистки удаляемых газов от радиоактивных и токсичных компонентов.

КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Каждая технологическая линия завершается процессом кондиционирования РАО, то есть изготовлением упаковок, пригодной для долгосрочной изоляции.

Основное содержание процесса состоит в приготовлении цементного матричного материала и иммобилизации в него содержимого промежуточных форм РАО, а также заполнении цементом или бентонитом пространства между упаковками РАО.

На кондиционирование отправляются:

- полученные в результате технологической обработки промежуточные формы РАО;
- продукты прессования (в 200-литровых бочках), фрагментирования, сжигания (зола в 200-литровых бочках, шлакоблоки и блоки остеклованных РАО в малых контейнерах), концентрирования ЖРО;
- часть РАО группы «Фильтры»;
- продукты сортировки и переупаковки РАО групп «Кондиционируемые», «Несортированные», «Источники в контейнерах», «Радиоизотопные приборы»; «Ампулированные препараты», «Жидкие прочие»;
- РАО групп «Жидкие неорганические» и дренажные воды.

В составе установки для цементирования ЖРО и приготовления матричного материала – цементный силос, винтовой конвейер, дозатор цемента с весоизмерительным устройством, дозатор затворителя, дозатор сыпучих техно-

All facilities where 'hot' processes take place (incineration and vitrification) are equipped with a complex system of exhaust gas treatment in order to remove any radioactive and toxic components.

CONDITIONING

Each processing line ends with a radwaste conditioning process: that is, production of a package that would be suitable for long-term isolation.

The essence of the process is making a cementing matrix material and using it for immobilisation

of any intermediate radwaste forms, as well as filling any empty spaces between packages of radwaste with cement or bentonite.

Conditioning is performed on the following types of waste:

- interim radwaste forms produced as a result of technological processing;
- products of compaction (in 200-litre drums), fragmentation, incineration (ash in 200-litre drums, slag blocks and blocks of vitrified radwaste in small-size containers), and liquid radwaste concentration;
- some of the filter radwaste;
- products of segregation and re-packaging of radwaste falling into the conditionable, non-segregated, containerised sources, radioisotopic devices, ampoule-contained water, and miscellaneous liquid waste categories;
- liquid non-organic radwaste and drainage waters.

The plant for liquid radwaste cementation and matrix material batching includes a cement silo, auger conveyor, cement batcher with a weighing device, locking agent batcher, dry additives batcher, and 0.5 m³ mixer with ce-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОЛГОВЕЧНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

CHARACTERISTICS OF LONG-TERM STORAGE CONTAINERS

Параметр / Parameter	НЗК-РАДОН NZK-RADON	КМЗ KMZ
Масса контейнера, кг Weight of container, kg	4400	1160
Масса упаковки РАО, кг Weight of waste package, kg	6500	10000
Размеры, мм / Dimensions, mm: длина / length ширина / width высота / height	1650 1650 1375	1650 1650 1375
Внутренний объем, м ³ Internal volume, m ³	1,9	2,9
Толщина стенок корпуса, мм Wall thickness, mm	110	5
Толщина дна, мм Bottom thickness, mm	120	8
Толщина крышки, мм Lid thickness, mm	125	10
Материал Material	Железобетон Reinforced concrete	Сталь Steel

логических добавок, смеситель с узлом выгрузки цементно-го раствора емкостью 0,5 м³. Отдельный узел используется для цементирования водных растворов, содержащих минеральные масла и/или органические жидкости.

Чтобы в цементированных формах не образовывались пустоты (воздушные пузыри), в матричную смесь вводят пластифицирующие добавки. Время приготовления порции цементного материала – не более 5 мин.

Производительность установки – 8 м³/ч. Матричный материал поступает в упаковки с помощью перистальтического насоса и шланга.

Типичные упаковочные средства промежуточных форм – 200-литровые бочки, пластиковые малые и большие мешки. При кондиционировании их размещают в долговечные контейнеры – металлические КМЗ и железобетонные НЗК-Радон (для наиболее опасных отходов).

Контейнер НЗК-Радон изготовлен из высокопрочного бетона. Зазор между крышкой и корпусом уплотняется с применением специальной бетонной смеси, которая не подвергается усадке в процессе твердения. Продолжительность сохранения эксплуатационных качеств контейнера в режиме хранения составляет 50 лет, в режиме окончательной изоляции – 300 лет.

После технологической обработки и кондиционирования 15 разновидностей первичных форм РАО превращаются в три категории – низкой и средней активности, а также содержащие долгоживущие радионуклиды – и направляются на долгосрочную изоляцию.

ment mortar unloading unit. A separate unit is used for cementation of water solutions that contain minerals oils and/or organic fluids.

In order to make sure that the cemented forms do not have any voids (air bubble inclusions), plasticising agents are added to the matrix mix. The time needed to prepare a single batch of the cement material does not exceed 5 minutes.

The capacity of the plant is 8 m³/hour. The matrix material is supplied into the packages by a peristaltic pump and a hose.

Standard packages for interim waste forms include 200-litree drums, and small and large size plastic bags. During conditioning, these are placed inside durable containers such as the metallic KMZ and reinforced concrete NZK-Radon, with the latter used for the most dangerous waste types.

The NZK-Radon container is made of high-strength concrete. Any gap between its lid and body is sealed using a special concrete mix, which does not shrink as it solidifies. The container is designed to retain its qualities for 50 years in interim storage mode, and for 300 years in final isolation mode.

After technological processing and conditioning, the 15 incoming types of primary radwaste forms are all converted into three basic categories – low and intermediate-level waste, as well as waste containing long-lived radionuclides – and forwarded to long-term isolation.

11-Й ПЕТЕРБУРГСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФОРУМ

28–30 СЕНТЯБРЯ 2011 САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

выставки, конференции и круглые столы

www.forumtek.ru

Генеральный
спонсор
Форума



Оргкомитет

ВЫСТАВОЧНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



Тел.: (812) 3208091

Факс : (812) 3208090

e-mail: forumtek@restec.ru