

**КОНВЕРСИЯ ОБЕДНЕННОГО  
ГЕКСАФТОРИДА УРАНА –**

**ЗАБОТА О БУДУЩИХ  
ПОКОЛЕНИЯХ**



ЭХЗ  
РОСАТОМ

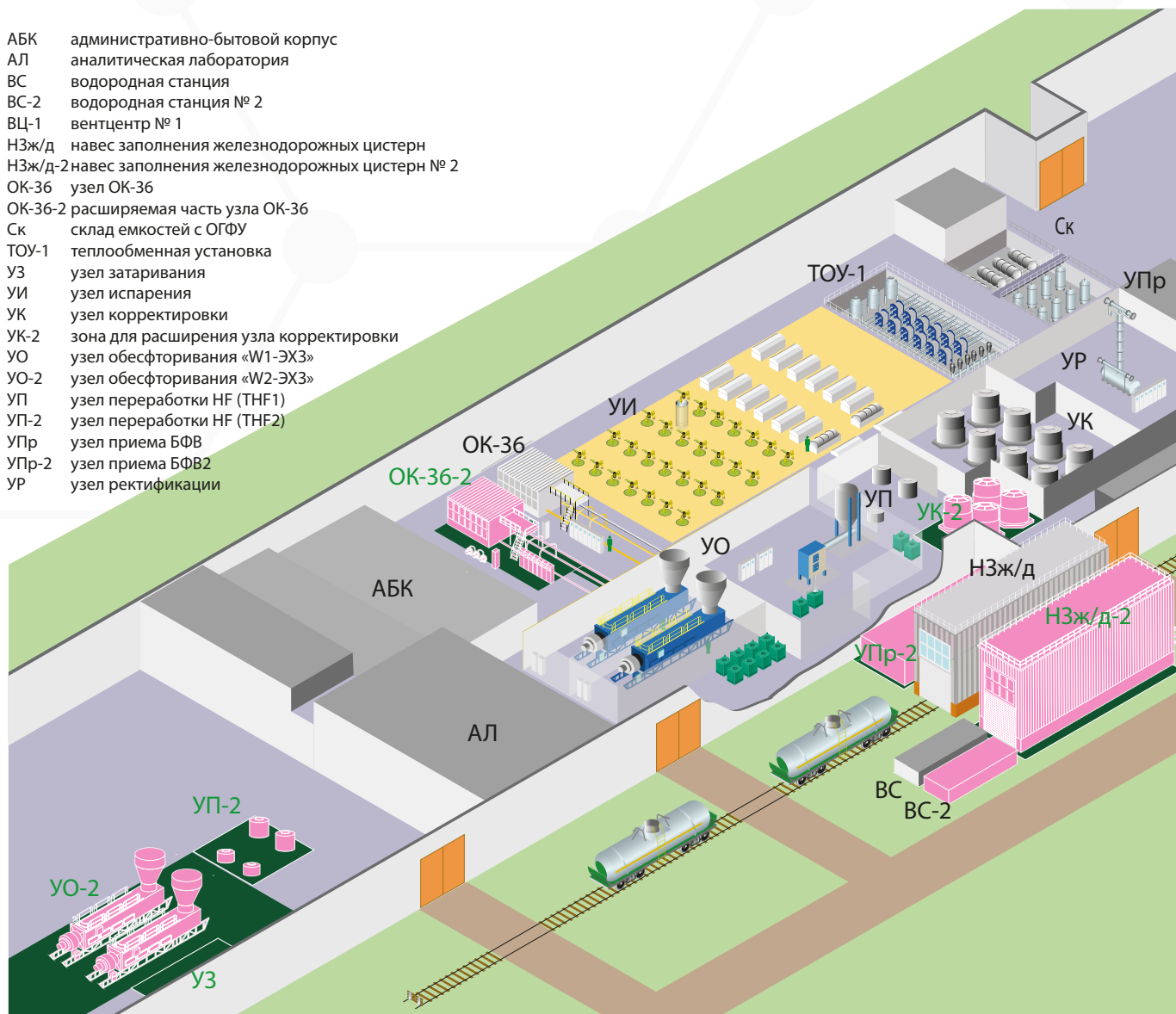


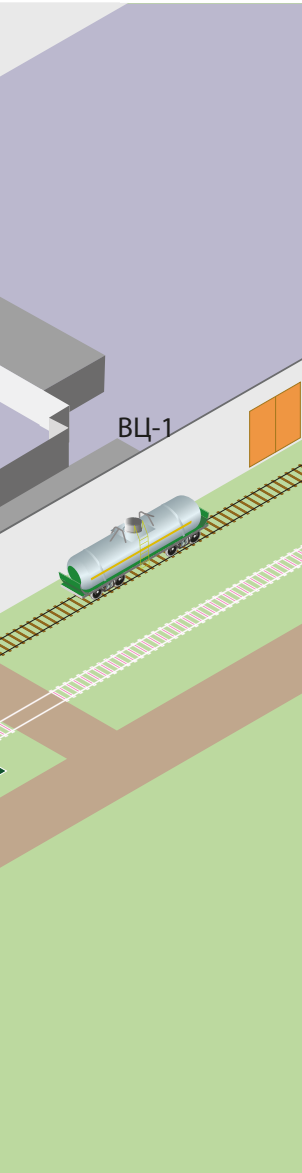


АО «ПО «Электрохимический завод» – одно из разделительных предприятий, входящих в Топливную компанию Росатома «ТВЭЛ». Производит низкообогащенный уран для топливных сборок атомных электростанций, стабильные и радиоактивные изотопы различных химических элементов, фторсодержащую продукцию.

**JSC «PA ECP»** is a separation facility of Rosatom State Corporation. It produces low-enriched uranium for fuel assemblies used in NPPs, stable and radioactive isotopes of various chemical elements and hydrofluoric products.

- АБК административно-бытовой корпус
- АЛ аналитическая лаборатория
- ВС водородная станция
- ВС-2 водородная станция № 2
- ВЦ-1 вентцентр № 1
- НЗж/д навес заполнения железнодорожных цистерн
- НЗж/д-2 навес заполнения железнодорожных цистерн № 2
- ОК-36 узел ОК-36
- ОК-36-2 расширяемая часть узла ОК-36
- Ск склад емкостей с ОГФУ
- ТОУ-1 теплообменная установка
- УЗ узел затаривания
- УИ узел испарения
- УК узел корректировки
- УК-2 зона для расширения узла корректировки
- УО узел обесфторивания «W1-ЭХ3»
- УО-2 узел обесфторивания «W2-ЭХ3»
- УП узел переработки HF (THF1)
- УП-2 узел переработки HF (THF2)
- УПр узел приема БФВ
- УПр-2 узел приема БФВ2
- УР узел ректификации





АО «Производственное объединение «Электрохимический завод» первым в России освоило промышленную переработку обедненного гексафторида урана (ОГФУ). Электрохимический завод решил в масштабах собственного производства проблему утилизации ОГФУ, используя для этих целей технологию, предложенную французскими атомщиками. Технологический процесс обезфторивания ОГФУ прошел проверку временем на установках «W-1» и «W-2», действующих на французском ядерном объекте в г. Пьеррлатте, и доказал свою эффективность.

Joint Stock Company «Production Association «Electrochemical Plant» (subsidiary of JSC «TVEL» as part of Rosatom State Corporation) was the first in Russia to introduce industrial-scale recycling of depleted uranium hexafluoride ( $\text{DUF}_6$ ). The issue of utilization of  $\text{DUF}_6$  has been solved within JSC «PA ECP» using the technology offered by French nuclear industry.  $\text{DUF}_6$  defluorination process has passed the test of time on W-1 and W-2 plants at the French nuclear facility in Pierrelatte (Areva Group) and proved its efficiency at JSC «PA ECP» in Zelenogorsk.



**СЕРТИФИКАТ** 

**соответствия системы менеджмента  
требованиям стандартов ISO 9001:2015,  
ISO 14001:2015, BS OHSAS 18001:2007  
и ISO 50001:2011**

в соответствии с правилами сертификации, утвержденными  
вышнейшим органом стандартизации в организации

Акционерное общество  
"Производственное  
объединение  
"Электрохимический  
завод"

66300, Российская Федерация,  
Космоградский край,  
пос. Дзержинский,  
ул. Первак Промышленная, дом 1

в области:  
Производство, хранение и поставка урана с обогащением не более 60%, для  
энергетических и исследовательских реакторов. Производство и поставка  
газовой продукции, фторсоединений высокой и безводной фтористой  
кислоты.

Идентификационный номер сертификата:	TIC 15 108 821726 TIC 15 108 810966 TIC 15 116 110820 TIC 15 273 140750	Действителен до: 2021-03-31 Декларирован с: 2018-08-28
--------------------------------------	--	---

Отчет по аудиту №: 3330 ЗЕРС\_Ю

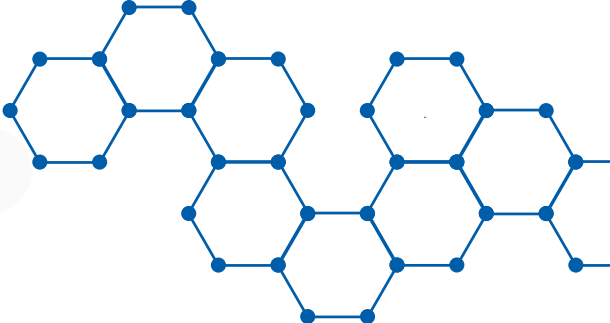
Сертификация проведена в соответствии с требованиями ТСС по применению Акта и  
приказами и распоряжениями территориального надзорного органа.  
Данные сертификаты действительны только вместе с основным сертификатом.

  Рем. 2018-08-28

Сопле по сертификации  
выдана в полномочии  
TUV Thüringen e.V.

© 2018 TUV Thüringen e.V. / TUV Thüringen e.V. is a member of the TUV Group. All rights reserved. TUV Thüringen e.V. is a member of the TUV Group. All rights reserved.



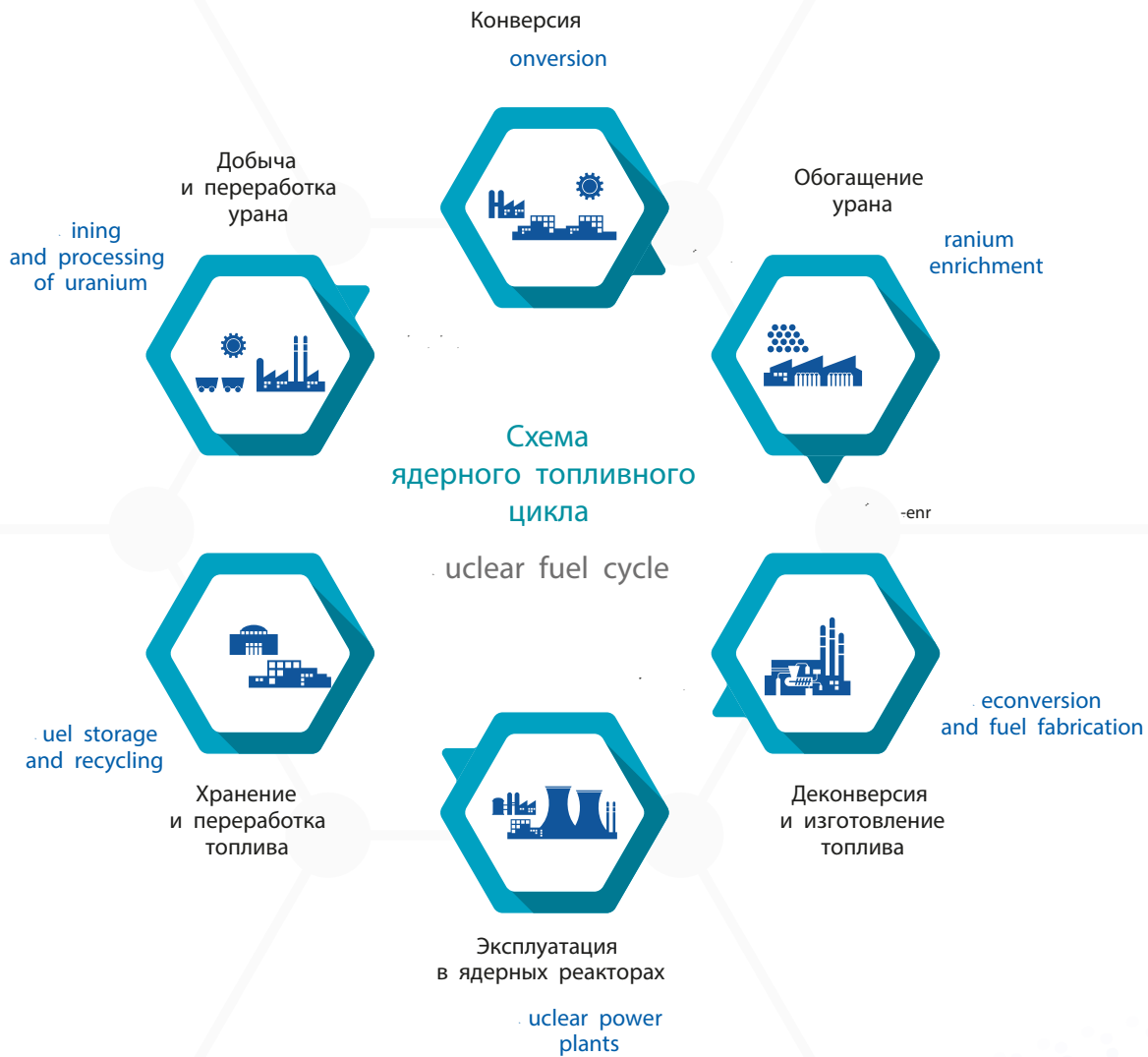
Сергей Васильевич ФИЛИМОНОВ,  
генеральный директор  
АО «ПО «Электрохимический завод»:

– Установка «W-ЭХЗ» – это реализация принятой предприятием экологической политики, предусматривающей снижение уровня потенциального негативного воздействия производственных факторов на окружающую среду. Более того, ЭХЗ взял на себя обязательства последовательно внедрять экологически безопасные технологии, выделяя для этого необходимые ресурсы.

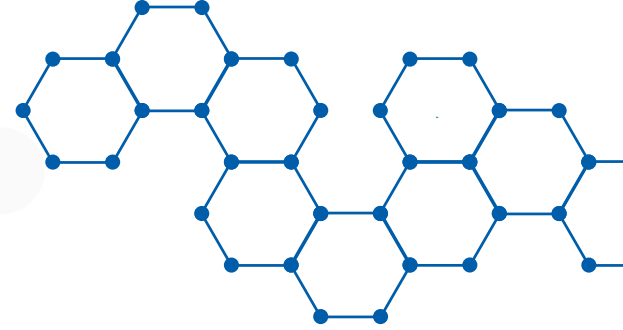
Мы доказываем свою заинтересованность и ответственность делом, понимая, что вкладываем деньги не только в благополучие и экологическую привлекательность предприятия. Внедрение здесь, на сибирской земле, эффективной технологии для перевода обедненного гексафторида урана в безопасную для хранения форму – это наш вклад в решение одной из проблем атомной отрасли.

**Sergey Filimonov,**  
General Director of JSC «PA ECP»:

– W-ECP is the result of the facility's environmental policy that contemplates reducing the level of potential negative industrial impact on environment. Moreover, ECP has committed to consistently implement environmentally safe technologies and allocate necessary resources for that purpose. We prove our interest and commitment by actions, for we understand that we put money not only into wellness and environmental attractiveness of the facility. Introducing here in Siberia a successful French technology for conversion of depleted uranium hexafluoride into a storage-friendly state is our contribution to solve one of the problems in the nuclear industry.





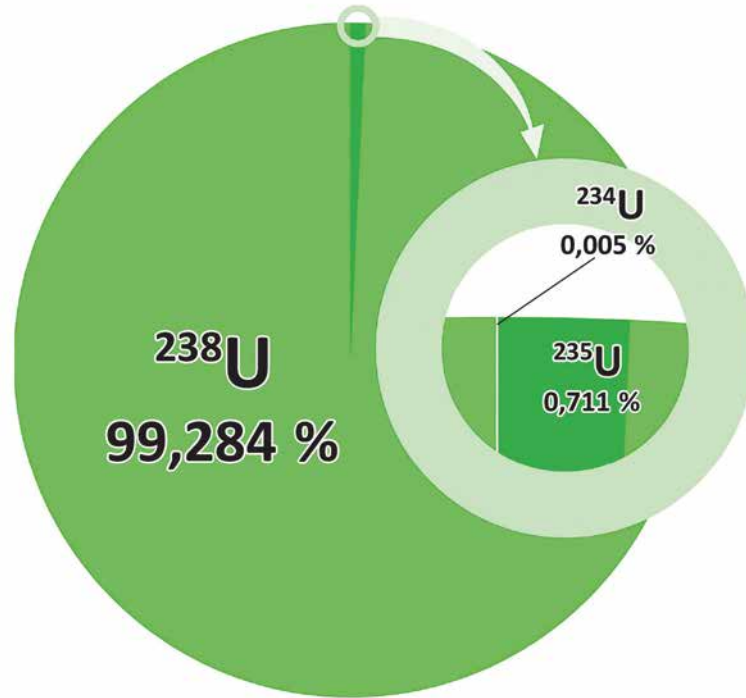


Природный уран состоит из трех изотопов

Natural uranium consists of three isotopes

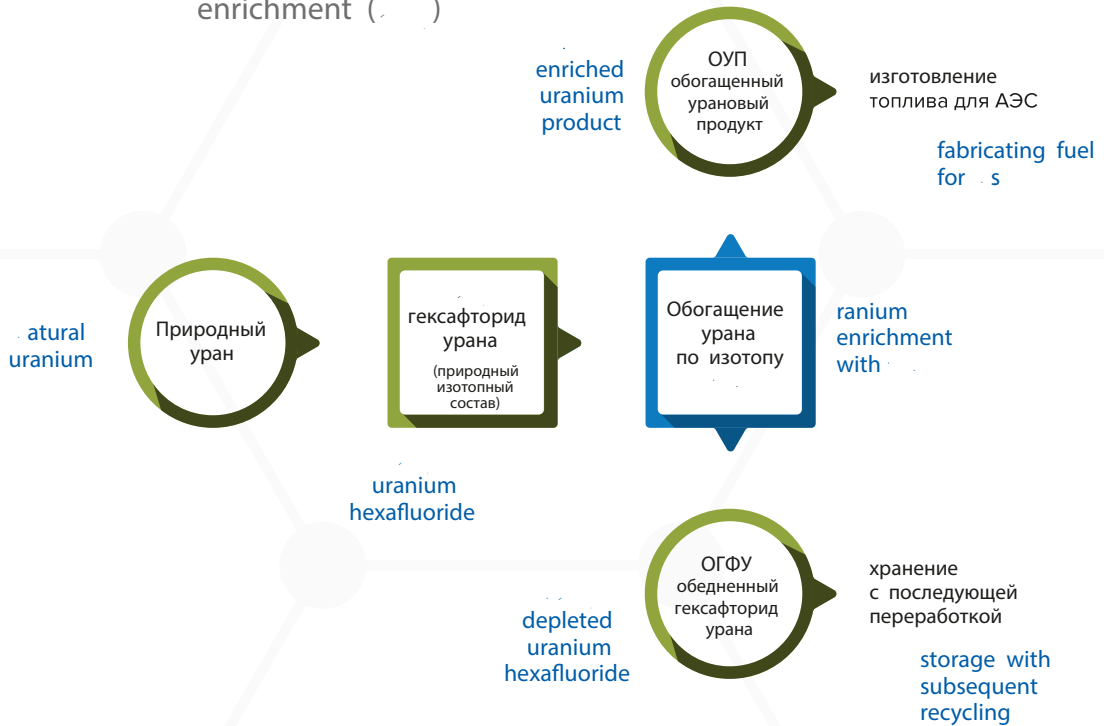
На урановом топливе, обогащенном изотопом  $^{235}\text{U}$ , сегодня работает большинство атомных энергетических реакторов. Для того, чтобы уран можно было использовать в реакторах АЭС, его обогащают до 5 % по изотопу  $^{235}\text{U}$ .

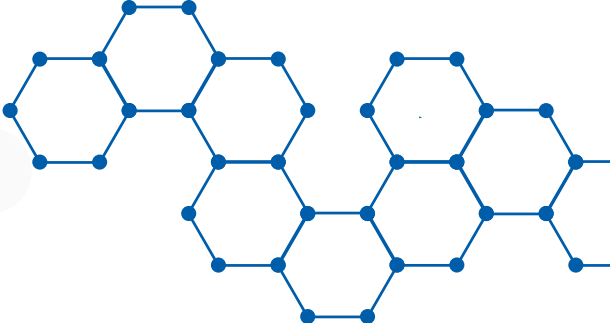
Most NPPs operate on nuclear fuel enriched with  $^{235}\text{U}$ . For uranium to be used in reactors of NPPs, it is enriched with  $^{235}\text{U}$  to 5 %.



Для проведения процесса обогащения природный уран переводят в форму гексафторида (UF<sub>6</sub>)

Natural uranium is converted to hexafluoride for enrichment (UF<sub>6</sub>)





Для обогащения урана Электрохимический завод, как и другие разделительные предприятия Росатома, использует современные высокоскоростные газовые центрифуги. Обогащенный урановый продукт (ОУП) направляется заказчику.

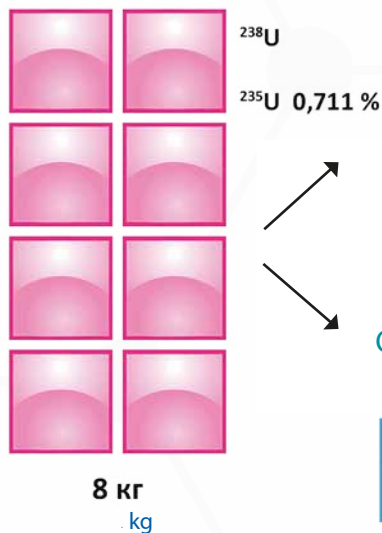
Обедненный гексафторид урана (ОГФУ), или «хвосты», с меньшим содержанием  $^{235}\text{U}$ , чем в сырье, помещается в стандартные стальные емкости или контейнеры и хранится на складах предприятия.

As well as other separation facilities of Rosatom, ECP uses high-speed gas centrifuges for uranium enrichment. The enriched uranium product (EUP) is shipped to customers.

The depleted uranium hexafluoride ( $\text{DUF}_6$ ) or «tails» containing less  $^{235}\text{U}$  than raw uranium is placed into standard steel vessels or containers and stored within the facility.

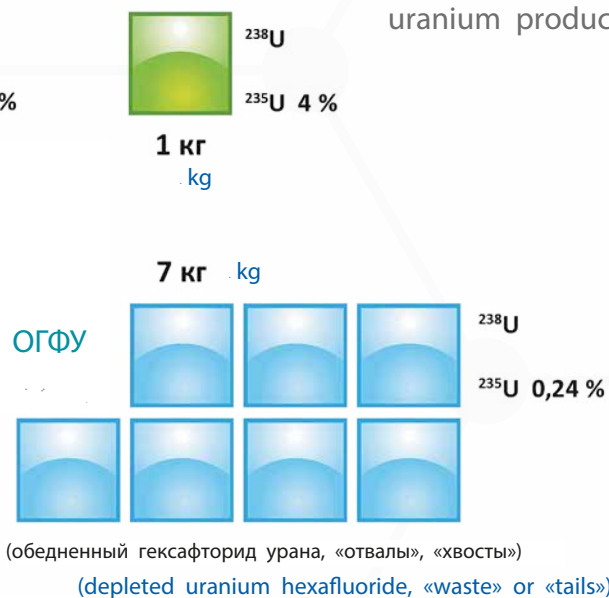
## Природный уран

Natural uranium




## ОУП (обогащенный урановый продукт)

(enriched uranium product)



Например, при получении 1 кг обогащенного урана с содержанием 4 %  $^{235}\text{U}$  потребуется 8 кг природного урана; при этом образуется около 7 кг обедненного урана.

For example, 8 kg of natural uranium are needed to produce 1 kg of enriched uranium with 4 % of  $^{235}\text{U}$ . This will also generate 7 kg of depleted uranium with 0.24 % of  $^{235}\text{U}$ .



Обедненный уран, независимо от химической формы (гексафторид, закись-окись, металл), в основном состоит из  $^{238}\text{U}$ , который может быть использован в реакторах на быстрых нейтронах (в перспективе они заменят действующие реакторы на тепловых нейтронах).

При обогащении урана образуется и обедненный уран, в котором содержание изотопа  $^{235}\text{U}$  ниже, чем в природе.

Depleted uranium consists mainly of  $^{238}\text{U}$  regardless of its chemical form (hexafluoride, oxide, metal), which can be used in fast neutron reactors (that will replace contemporary thermal neutron reactors).

Uranium enrichment also generates depleted uranium with lower than natural content of  $^{235}\text{U}$ .

Обедненный гексафторид урана образуется в больших количествах во всех странах, где обогащают уран (Великобритания, Германия, Китай, Нидерланды, Россия, США, Франция, Япония).

В соответствии с заключением экспертов Международного агентства по атомной энергии – МАГАТЭ (ISBN 92-64-195254, 2001) обедненный гексафторид урана рассматривается как ценный энергетический ресурс, а также потенциальный источник фтора при получении озонобезопасных хладонов и других органических продуктов.

Plenty of  $\text{DUF}_6$  is generated all countries that enrich uranium (China, France, Germany, Japan, Netherlands, Russia, UK, USA).

According to the decision of IAEA expert team (ISBN 92-64-195254, 2001), depleted uranium hexafluoride is considered as a valuable energy resource and a potential fluorine source for ozone-friendly coolants and other organic products.



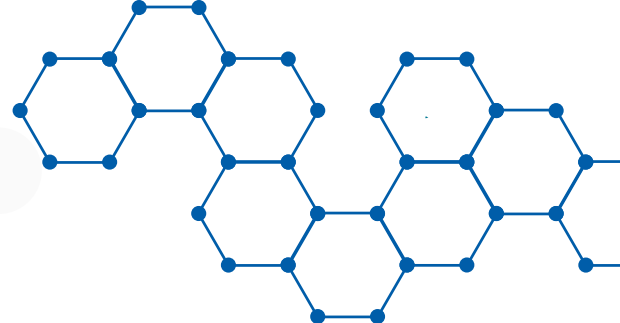
## ДОСТОИНСТВА ОБЕДНЕННОГО УРАНА КАК МАТЕРИАЛА:

высокая плотность, тугоплавкость,  
сравнительная дешевизна.

## ДРУГИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЕДНЕННОГО УРАНА

Обедненный уран применяется при  
изготовлении:

- противовесов и гироскопов для летательных аппаратов и быстроходных судов;
- больших инерционных маховых колес, служащих для аккумулярования энергии;
- экранов медицинской радиотерапевтической аппаратуры для биологической защиты от рентгеновского и гамма-излучения;
- контейнеров для транспортировки радиоактивных изотопов;
- присадок, применяемых при бурении нефтяных скважин;
- катализаторов для некоторых химических реакций;
- ламп накаливания, полупроводников, люминофоров.



## ADVANTAGES OF DEPLETED URANIUM AS A MATERIAL:

high density, low fusibility, relatively  
low cost.

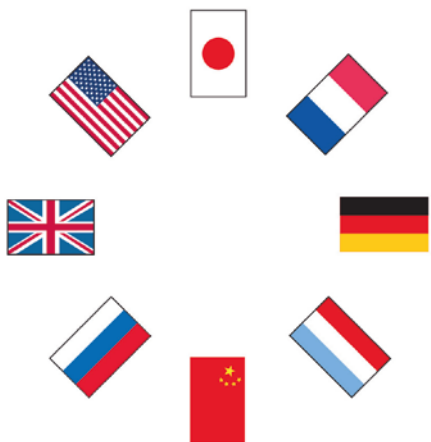
## OTHER APPLICATIONS OF DEPLETED URANIUM

Depleted uranium is used in:

- counterbalances and gyroscopes of aircrafts and fast marine vessels;
- large inertial flywheels for energy accumulation;
- medical radiotherapy equipment screens for biological protection against X-ray and gamma radiation;
- containers for transportation of radioactive isotopes;
- additives used to drill oil wells;
- catalysts for some chemical reactions;
- incandescent lamps, semiconductors, phosphors;
- Kermets (stainless steel alloys and uranium oxides) for the production of containers for the safe transportation, storage and disposal of RAW.

За весь период промышленного производства атомного оружия и топлива для атомной энергетики (начиная с 1940-х годов) во всем мире накопилось более 1,5 миллиона тонн обедненного урана. Объемы ОГФУ продолжают расти, увеличиваясь ежегодно почти на 50 тысяч тонн.

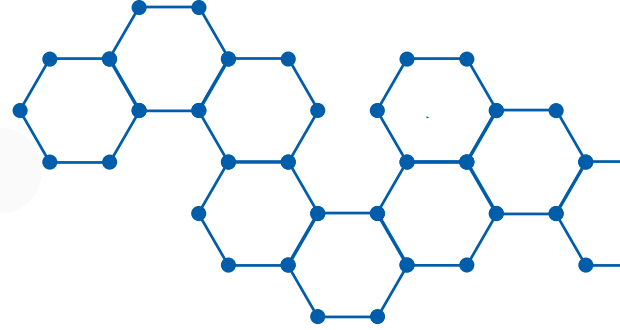
ОГФУ хранится в герметичных стальных емкостях на открытых площадках заводов по обогащению урана. Срок хранения отдельных емкостей с ОГФУ уже превышает 50 лет.



Over the entire period of industrial production of nuclear weapons and nuclear fuel (since the 1940s), more than 1.5 million tons of depleted uranium have accumulated worldwide.  $\text{DUF}_6$  volumes continue to grow, increasing annually by almost 50 thousand tons.

$\text{DUF}_6$  is stored in sealed steel tanks at open sites of uranium enrichment plants. The storage period of individual  $\text{DUF}_6$  tanks already exceeds 50 years.





АО «ПО «Электрохимический завод»

Закись-окись урана ( $U_3O_8$ ) – вещество, близкое к природному состоянию урановых руд.

Этот продукт химически устойчив, легко поддается консервации, удобен при транспортировке, его можно хранить сколь угодно долго – идеальные свойства для стратегического топливного запаса энергетики ближайшего будущего, основой которой станут реакторы на быстрых нейтронах.

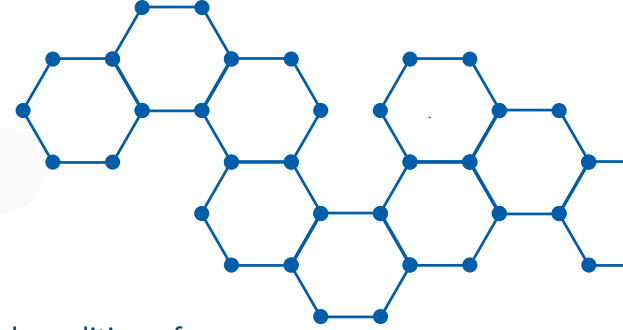
Несмотря на положительный опыт, накопленный в обращении с ОГФУ, его химическая агрессивность делает подобный способ хранения потенциально опасным. Диверсия, природная или техногенная катастрофы – все эти события могут привести к тяжелым последствиям.

Атомщики всех стран, имеющих производства по обогащению урана, отдавали себе отчет, что рано или поздно в интересах общественной безопасности ОГФУ придется перевести тем или иным способом в менее опасную форму.

Франция первой из ядерных стран успешно решила задачу промышленной утилизации ОГФУ.

Уникальная для российской атомной отрасли установка «-ЭХЗ» способна переводить химически опасный обедненный гексафторид урана в устойчивую химическую форму – закись-окись урана, пригодную для безопасного длительного хранения.





Triuranium octooxide ( $U_3O_8$ ) is a substance close to the natural condition of uranium ore.

This product is chemically resistant, easily preserved and transported, it can be stored for any amount of time: these are perfect properties for a strategic fuel reserve of near future power industry based on fast neutron reactors.

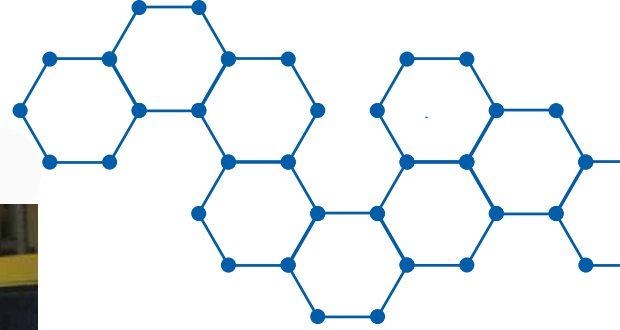
Despite the positive experience with  $DUF_6$ , its chemical aggressiveness makes it potentially hazardous for storage. Sabotage, natural or industrial disasters are possible events in our troubled times that can cause dire consequences.

Nuclear industries in all countries that enrich uranium understand, that sooner or later it will be necessary for public safety to convert  $DUF_6$  into a less hazardous form in one way or another.

France was the first nuclear country to provide successful solution to industrial recycling of  $DUF_6$ .

**W-ECP plant is unique for Russian nuclear industry and can chemically convert hazardous depleted uranium hexafluoride into a stable chemical form, triuranium octooxide, suitable for safe long-term storage.**





АО «ПО «Электрохимический завод»

## Основные химические реакции процесса

Main chemical reactions  
of the process

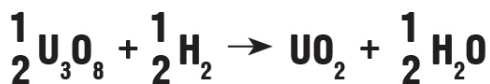
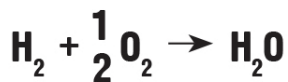
Гидролиз hydrolysis



Пирогидроллиз pyrohydrolysis



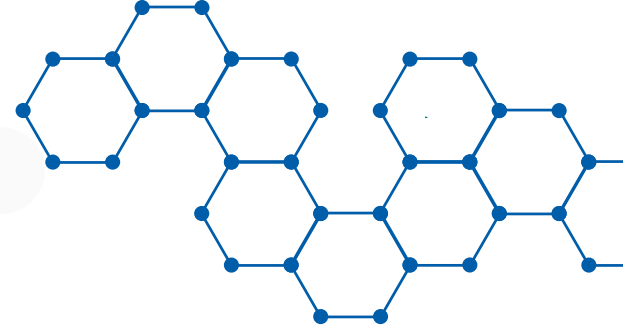
Вторичные реакции secondary reactions



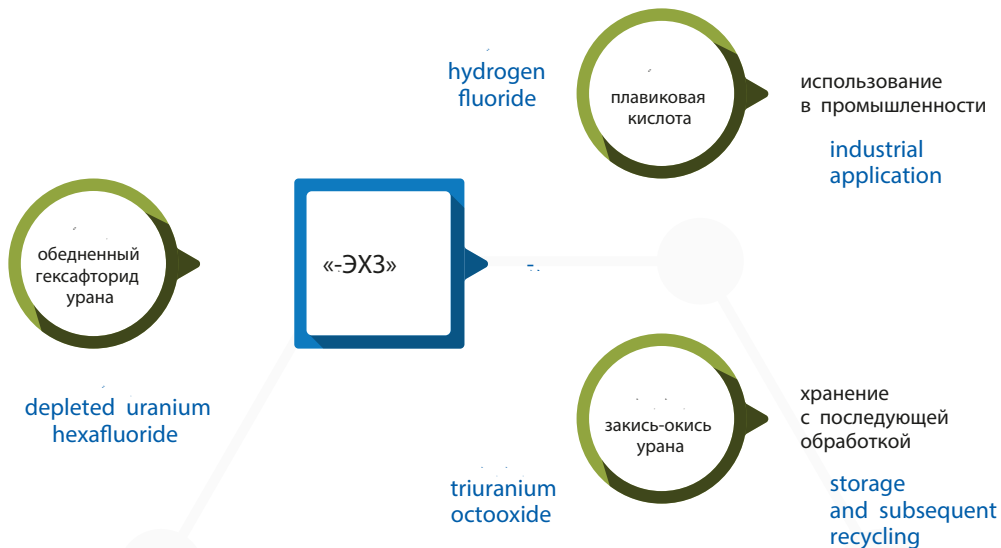
Сущность используемого в установке «W-ЭХЗ» способа заключается во взаимодействии газообразного  $\text{UF}_6$  с водяным паром в головной части вращающегося трубчатого реактора с образованием уранилфторида, который по мере продвижения по реактору в условиях высоких температур конвертируется в  $\text{U}_3\text{O}_8$  с помощью пароводородной смеси.

W-ECP uses the interaction between gaseous  $\text{UF}_6$  and water vapour in the frontal part of the rotating tube reactor that produces uranyl fluoride. Then, as it moves in the reactor, uranyl fluoride is converted to  $\text{U}_3\text{O}_8$  with hydrogen mixture.





«W-ЭХЗ» – установка полного извлечения фтора из ОГФУ. Создана с целью уменьшения количества ОГФУ на складах предприятия путем переработки ОГФУ в закись-окись урана и фтористый водород.



W-ECP fully recovers fluorine from  $\text{DUF}_6$ . It was designed to reduce the amount of stored  $\text{DUF}_6$  in the facility by recycling  $\text{DUF}_6$  into  $\text{U}_3\text{O}_8$  and hydrogen fluoride.

Стальная емкость с ОГФУ поступает с площадки хранения в цех и устанавливается на коллектор узла испарения.

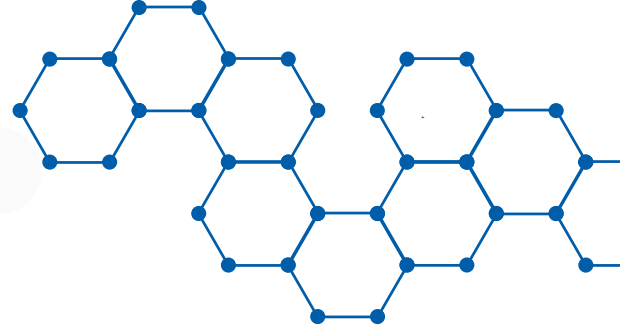
В узле испарения  $UF_6$  переходит из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу, и поступает в реактор обесфторивания.



Steel vessel with  $DUF_6$  is taken from the storage site to the processing department and connected to the feed unit.

In the feed unit,  $UF_6$  transforms from solid into gas skipping the liquid state and goes into the defluorination reactor.

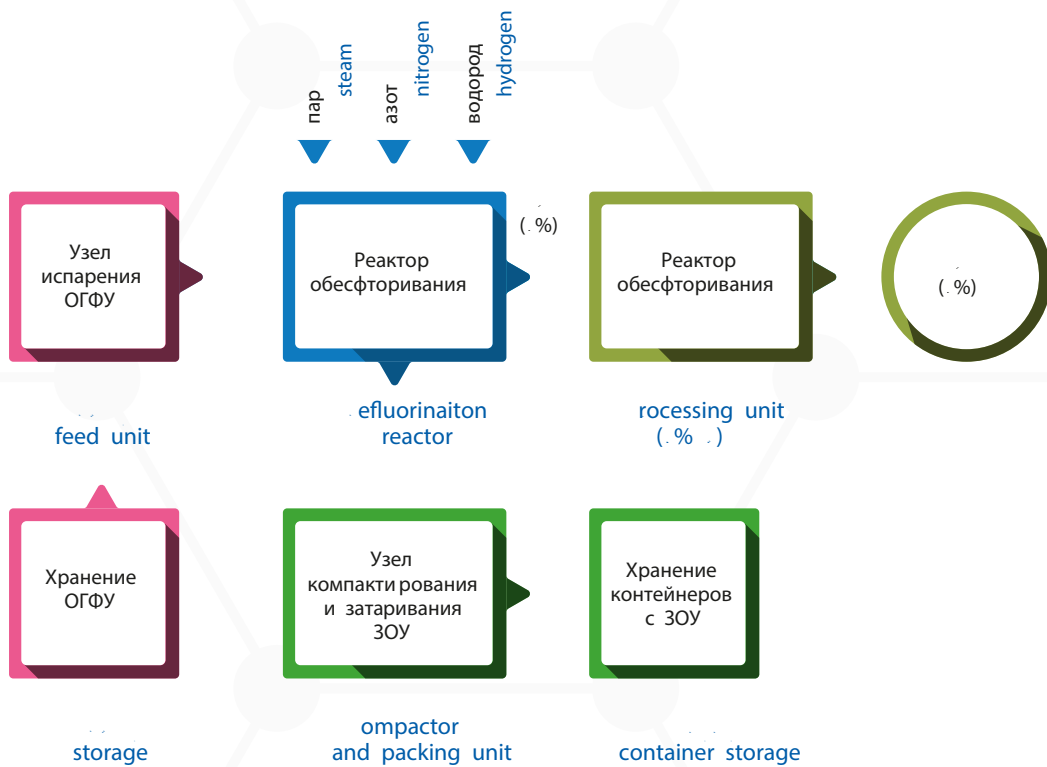




АО «ПО «Электрохимический завод»

# Схема установки «ЭХЗ»

-. layout



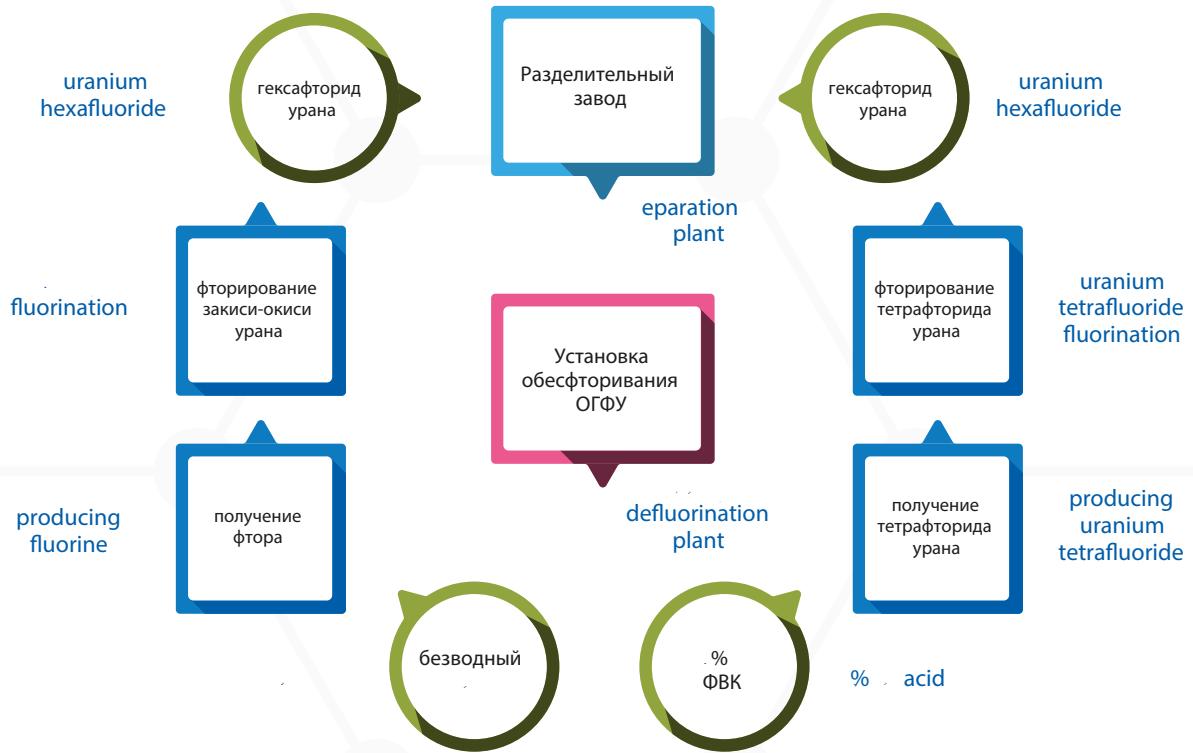
В реактор также подаются водяной пар, водород и азот. На выходе из реактора получаются два «потока» – порошок закиси-оксида урана ( $U_3O_8$ ) и фтористоводородная кислота (HF). Закись-окись урана поступает на участок затаривания, откуда в контейнерах отправляется на специальный склад для длительного хранения. Фтористоводородная кислота проходит две стадии фильтрации, конденсируется и собирается в сборники. Полученная 70 % фтористоводородная кислота направляется на узел ректификации, где происходит получение безводного фтористого водорода и 40 % фтористоводородной кислоты.



Water steam, hydrogen and nitrogen are also introduced into the reactor. The reactor produces two «flows»  $U_3O_8$  powder and gaseous hydrogen fluoride. Uranium oxide goes to the packing unit, and then to a special long-term storage site. Hydrogen fluoride is condensed and then prepared for commercial use: 40 % and 70 % hydrofluoric acid and anhydrous hydrogen fluoride.

## Цикличное использование $\text{UF}_6$ в атомной отрасли

cyclical use of  $\text{UF}_6$  in the nuclear industry



Полученные безводный фтористый водород и фтористоводородная кислота (ФВК) могут использоваться в разных отраслях промышленности, в том числе и атомной. Для транспортировки их потребителям в цехе оборудован участок для заполнения железнодорожных цистерн.

The produced hydrofluoric acid and anhydrous hydrogen fluoride may be used in various industries including the nuclear industry. The processing department has a railroad tank filling unit to ship the product to customers.

Контроль и управление установкой производится с центрального пульта двумя операторами. Программное управление позволяет выдерживать оптимальное соотношение реагентов в реакторе при оптимальных условиях (давление, температура, скорости вращения реторты и шнека реактора).

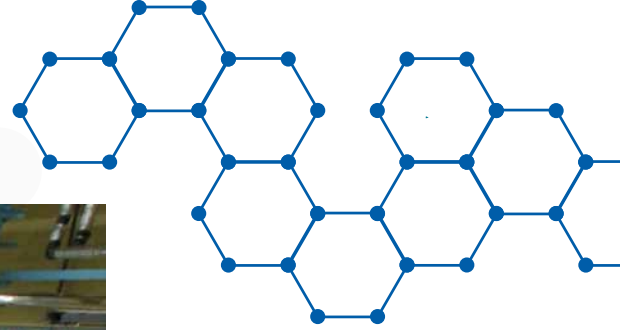


All process control, except for individual manual operations (such as replacement of containers at the feed unit), is carried out by an automated system. Control and management of the plant is carried out from a central console by two operators. The software control allows the optimum reagent ratio in the reactor to be maintained under optimal conditions.

Почему используется буква «W»?  
Литера «W» в названии французских заводов «W-1» и «W-2» для переработки ОГФУ появилась из принятых в специальной литературе обозначений потоков гексафторида урана в каскадах разделительных производств: питание (Feed), продукт (Product), отвал (Waste). Поток обедненного  $UF_6$  – W (Waste). А уже потом «W» перекечевала и в название российской установки – «W-ЭХЗ».

Why «W» letter is used?  
«W» appeared in French  $DUF_6$  processing plants W-1 and W-2 from designations used in special literature for flows of uranium hexafluoride in separation cascades: Feed, Product, Waste. Waste (W) is the flow of depleted  $UF_6$ . Then «W» was carried also into the name of the Russian plant W-ECP that completely replicates W-2 plant with the latest technical modifications.






АО «ПО «Электрохимический завод»

Современная атомная энергетика, основанная на разомкнутом, или открытом, ядерно-топливном цикле, использует в основном изотоп  $^{235}\text{U}$ , которого в природном уране всего 0,711 %. По оценкам экспертов, в середине XXI века нынешние реакторы на тепловых нейтронах, отработав положенный срок, постепенно будут выводиться из эксплуатации. Им на смену придут реакторы на быстрых нейтронах, в которых в качестве топливного материала будет применяться изотоп  $^{238}\text{U}$ . Его в природном сырье около 99,289 %, а в ОГФУ – еще больше. В ядерном реакторе АЭС  $^{238}\text{U}$  превращается в плутоний, который в свою очередь может использоваться как топливо. Эту топливную схему специалисты называют замкнутым ядерным топливным циклом: топливо, «сгорая», производит новое топливо, причем даже в большем объеме.

Перевод отвалных запасов урана из гексафторида в закись-окись дает возможность безопасного долговременного хранения энергетического ресурса до тех пор, пока он не будет востребован новыми энергетическими технологиями. Вложение средств в переработку ОГФУ – это инвестиции в здоровье, безопасность и энергообеспеченность будущих поколений.







Modern nuclear power industry based on open nuclear fuel cycle uses mainly isotope  $^{235}\text{U}$ , which is only 0.711 % in natural uranium. According to experts' estimates, in the middle of the XXI century the current thermal neutron reactors will be gradually decommissioned after they have worked through their intended service life. They will be replaced by fast neutron reactors that will use  $^{238}\text{U}$  as fuel. It is about 99.289 % in natural raw materials and even more in  $\text{DUF}_6$ .

In an NPP nuclear reactor,  $^{238}\text{U}$  transforms into plutonium, which in turn can be used as fuel. This fuel scheme is called a closed nuclear fuel cycle: the «burning» fuel produces new fuel, and even in a larger volume.

Conversion of uranium tailings from hexafluoride to triuranium octoxide makes it possible to safely store energy resources until they are in demand with new energy technologies. Investments in  $\text{DUF}_6$  recycling are investments in health, safety and energy supply of future generations.

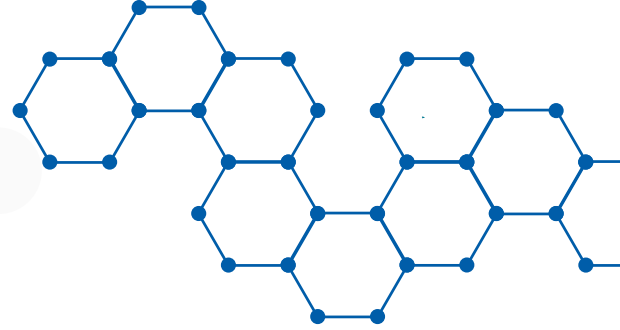
**. марта . года** – в Москве подписан контракт о строительстве в Зеленогорске завода по конверсии обедненного урана между французскими фирмами «Кожема» и SGN – с одной стороны и российскими ОАО «Техснабэкспорт» и ФГУП «ПО «ЭХЗ» – с другой.

**. декабря . года** – введена в эксплуатацию третья в мире и первая в России установка переработки ОГФУ.

**March 25, 2005** – a contract was signed in Moscow for the construction of a depleted uranium conversion plant in Zelenogorsk between French companies Cogema and SGN and the Russian companies Tenex and FSUE «PA ECP».

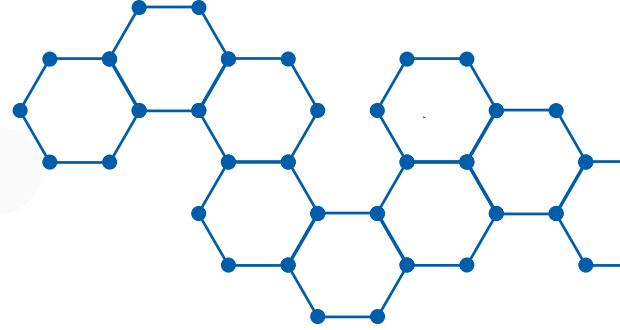
**December 18, 2009** – the world's third and Russia's first  $\text{DUF}_6$  processing unit was put into operation.



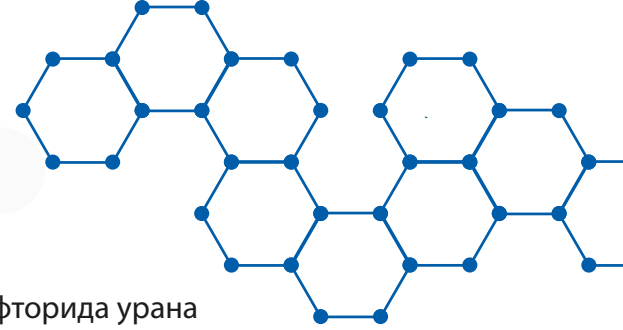


АО «ПО «Электрохимический завод»









**Декабрь . года** – цех вторичной переработки гексафторида урана («W-ЭХЗ») добавил к товарной линейке ОАО «ПО «Электрохимический завод» новый продукт – безводный фтористый водород. Это стало возможным благодаря вводу в опытную эксплуатацию уникального производственного участка, не имеющего аналогов в России и в мире, – узла ректификации 70 % фтористоводородной кислоты.

**Октябрь . года** – на установке «W-ЭХЗ» переработано 50 000 тонн обедненного гексафторида урана.

**. год** – на ЭХЗ освоена бестарная технология подачи обедненного гексафторида урана в установку «W-ЭХЗ». Это уникальный для мировой атомной промышленности опыт подачи ОГФУ на обесфторивание непосредственно с технологических каскадов.

**December 2010** – the depleted uranium hexafluoride processing shop (W-ECP) added a new product, anhydrous hydrogen fluoride, to the product line of ECP. This became possible due to the commissioning of a unique production site that has no analogues in Russia and in the world – the 70 % hydrogen fluoride rectification unit.

**October 2015** – 50,000 tonnes of depleted uranium hexafluoride were processed at the W-ECP plant.

**2017** – The ECP adopted a bulk technology of supplying depleted uranium hexafluoride to the W-ECP plant. This practice is unique for the global nuclear industry in supplying  $\text{DUF}_6$  directly from separation cascades.



ЭХЗ  
РОСАТОМ

АО «ПО «Электрохимический завод»

663690, Россия,

Красноярский край, г. Зеленогорск,  
ул. Первая Промышленная, д. 1

E-mail: taifun esp.ru