

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.М. Вывод из эксплуатации объектов атомной энергетики / Москва: Российский Зеленый Крест. Дирекция программы по ядерной и радиационной безопасности. 2003. – 137 с.
2. Всемирная организация здравоохранения [<http://www.who.int/ru/>]
3. Описание программного комплекса Алгоритм. Версия 2.7.1. [<http://www.algorithm2.ru/index.php/ru/>]
4. Solidworks Russia [<http://www.solidworks.ru/>]
5. Компания «НЕОЛАН», проект «База данных по выводу из эксплуатации блоков АЭС» [[http://www.neolant.ru/projects/news\\_detail.php?ID=1539](http://www.neolant.ru/projects/news_detail.php?ID=1539)]

Научный руководитель: Д.С. Самохин, к.т.н., заведующий кафедрой РКР АЭС, ИАТЭ НИЯУ МИФИ.

## **СПОСОБЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОБЫЧИ УРАНА ИЗ МОРСКОЙ ВОДЫ**

Р.Р. Назаров  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС, группа 5022

На сегодняшний день мировая потребность урана для 450 энергоблоков оценивается в 65000 тонн природного урана в год. Уран, как и любой другой металл, добывается на рудниках карьерным или шахтным способом, либо методом подземного выщелачивания. Но залежи, которые подходят для промышленности, большая редкость.

В огромном океаническом объеме концентрация урана сохраняется постоянной. Это достигается за счет стоков рек, которые содержат растворенные соединения урана, и их отложением на морском дне. Таким образом добыча урана из морской воды в умеренных количествах может принять возобновляемый характер, т.к. при его ограниченной добыче концентрация урана будет сохраняться почти постоянной.

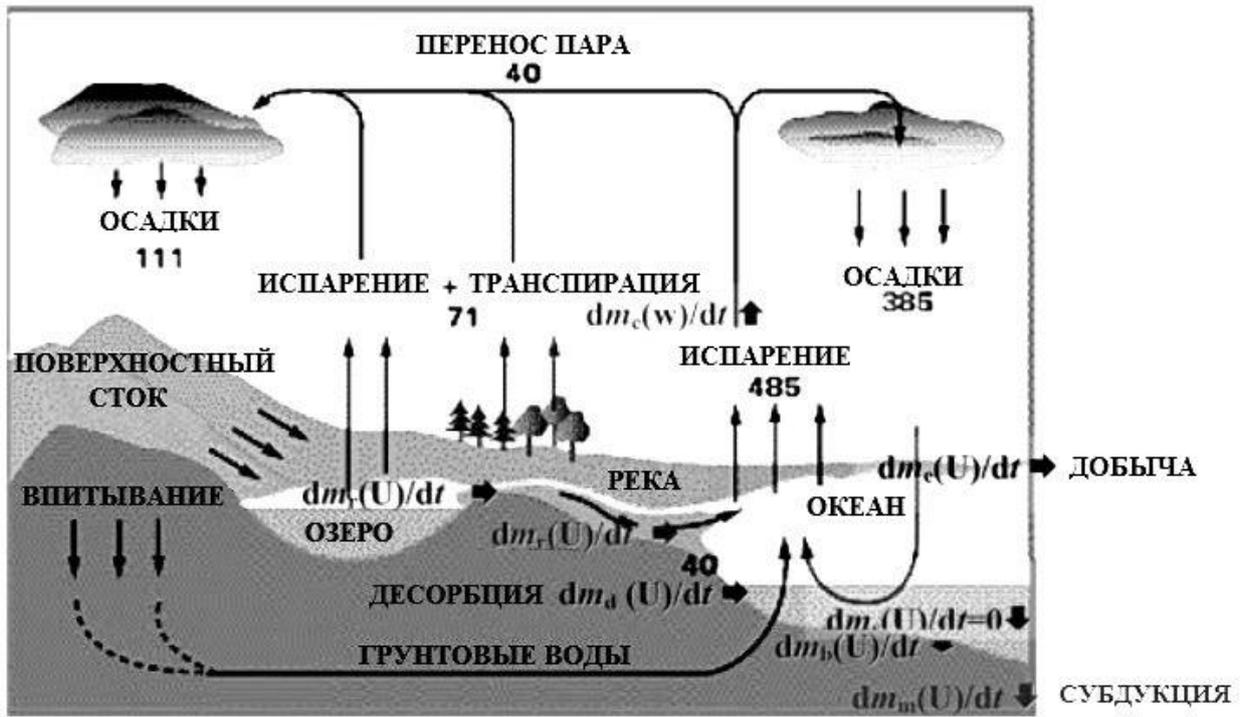


Рис. 1. Круговорот воды и урана в природе.

Уран в водном растворе образует в основном гидрооксидные и карбонатные комплексы. Комплексы уранила с фторидами, сульфатами, фосфатами и органическими веществами игнорируются из-за их низкой концентрации. Основную долю урана в морской воде составляет трикарбонат уранила  $UO_2(CO_3)_3^{-4}$ .

Средняя концентрация урана в морской воде, как сообщается, составляет около 3,3 миллиардных долей. Сравнение его концентрации с концентрациями других элементов показано на рисунке ниже. В общем объеме морской воды, а она составляет 1,37 млрд. км<sup>3</sup>, содержится около 4,5 млрд. тонн урана. Это примерно в 1000 раз больше, чем количество урана, содержащегося на поверхности морского дна. И этого количества достаточно, чтобы обеспечивать все атомные станции мира в течении 70000 лет при сохранении текущих объемов потребления.

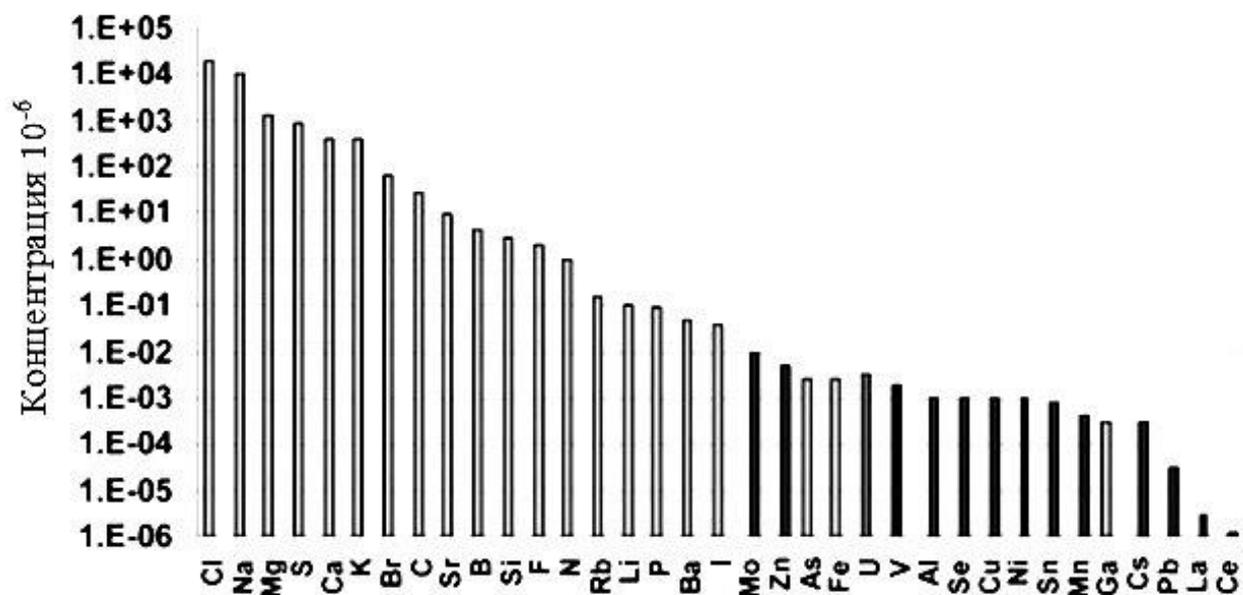


Рис. 2. Содержание элементов в морской воде (черным выделены добываемые металлы, представляющие непосредственный интерес).

Существует три основных направления извлечения урана из морской воды с использованием неорганических, органических и биоорганических сорбентов.

Исследований с неорганическими абсорбентами было проведено сравнительно мало. Возможно из-за сильной склонности к сорбции взвешенных органических веществ, а также из-за покрытия коллоидных частиц FeOH, что затрудняет их использование. Основная же часть исследований велась с органическими и биоорганическими абсорбентами.

В 2006 году был продемонстрирован гель с органическим сорбентом в виде группы амидоксима для селективной адсорбции урана хелированием в морской воде с pH 8,3.

В Японии технология извлечения урана из морской воды была продемонстрирована в середине 1990-х годов в лабораторных условиях. Стоимость добычи составила \$260 за кг урана.

Одним из способов извлечения урана из морской воды является использование в виде абсорбента уран-направленного нетканого материала. Общая масса урана, добытого в ходе эксперимента в 2003 году из трех ящиков, содержащих 350 килограмм этой ткани, составила 1 килограмм желтого осадка после 240-дневного погружения в океан.

В 2006 году та же группа исследователей продемонстрировала, что 1 килограмм адсорбента, погруженного в воду на 60 дней, дает 2 грамма урана. При 6-ти кратном цикле стоимость такого урана оценивается в \$880 за один килограмм, включая стоимость производства адсорбента, сбора урана и его очистки.

В 2012 году исследователи из Национальной лаборатории Ок-Ридж объявили об удачной разработке нового абсорбирующего материала и окрестили его NiCar. Он превосходит предыдущие аналоги, которые своей поверхностью задерживают молекулы, атомы или ионы. По результатам, полученным иссле-

дователями в Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, NiCap также эффективно удаляет токсичные металлы из воды.

В 2013 году были также протестированы другие поглощающие группы, такие как имидеидоксим, или группы, полученные из карбамоилфосфорамидичной кислоты  $\text{H}_2\text{N}-\text{C}=\text{O}-\text{NH}-\text{P}=\text{O}(\text{OH})_2$ . Тестирование технологии извлечения с использованием таких функциональных групп, как диазоний  $\text{R}-\text{C}(=\text{NOH})-\text{NH}-\text{C}(\text{R})_2$ , нанесенных на углеродную основу, показало их высокую эффективность адсорбции.

Среди всех методов извлечения урана из морской воды один представляется довольно перспективным. Это цветение воды для повышения концентрации урана. Цветение воды представляет собой развитие планктона, которое вызывается быстрым размножением водорослей, сопровождающееся изменением цвета воды.

Но до настоящего момента лишь небольшое количество урана извлечено из морской воды. Несколько организаций, в том числе Агентство по атомной энергии Японии, Национальная лаборатория Ок-Ридж и Атомный научно-исследовательский центр им. Х. Баба в Индии, пытаются оптимизировать процесс извлечения урана. Их методы включают использование лент ионообменного пластика, связанных с полистиролом для придания жесткости. Они размещены в проволочные клетки и закреплены на якорю в течении морской воды. После 1-2 месяцев пластик вынимается и вымачивается в кислоте, чтобы растворить трикарбонат уранила. Затем раствор обрабатывается для осаждения оксида урана.

Другой альтернативный способ для извлечения урана из морской воды – это наномембранная фильтрация. Он может быть включен в процесс опреснения морской воды с использованием мембран.

По данным Организации экономического сотрудничества и развития за 2008 год, при использовании метода Сёко стоимость добычи урана из морской воды составит около \$300 за килограмм, в то время как стоимость урана при традиционной добыче составляет \$100-200 за кг.

Переработка абсорбента и производство других стратегических металлов, также растворенных в морской воде, могут компенсировать некоторые издержки. Снижения затрат можно добиться эффективным использованием морских течений, приливов и теплой воды. Также крупномасштабные морские эксперименты могут повысить производительность этих технологий и сделать извлечение урана из морской воды более конкурентоспособным.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. J.W. Ball, D.K. Nordstrom. User's Manual for WATEQ4F, with Revised Thermodynamic Data Base and Test Cases for Calculating Speciation of Major, Trace, and Redox Elements in Natural Waters // U.S. Geological Survey Open-File Report.-1992.-N 91.-p. 189.
2. U. Bardi. Extracting minerals from seawater: an energy analysis // Sustainability.-2010.- pp. 980–992.

3. M. Carboni, C.W. Abney, Sh. Liu, W. Lin, W. Li. Highly porous and stable metal-organic frameworks for uranium extraction // Chem. Sci.-2013.- N 4, pp. 2396–2402.
4. N. Seko, A. Katakai, Sh. Hasegawa, M. Tamada, N. Kasai, H. Takeda, T. Sugo, K. Saito. Aquaculture of uranium in seawater by a fabric-adsorbent submerged system // Nucl. Technol.-2013.- N 144.- pp. 274–275.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, старший преподаватель каф АТЭС ЭНИН ТПУ.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПГУ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ**

А.А. Уваров, А.М. Антонова  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, АТЭС

Парогазовая установка с противодавленческой паровой турбиной (ПГУ-П) позволяет реализовать когенерационный комбинированный цикл. Авторами в работе [1] проведен анализ влияния экономичности отдельных узлов установки на тепловую эффективность ПГУ-П. При проектировании ПГУ-П для достижения ее высокой эффективности необходимо иметь оптимальные значения термодинамических параметров, расходов рабочего тела и сетевой воды, наиболее выгодное соотношение электрической и тепловой мощностей. Целью данного исследования является установление зависимостей между перечисленными факторами при заданных параметрах и характеристиках ГТУ. При этом ввиду взаимозависимости различных факторов не все из показателей управляемы. Исследование проводилось на математической модели ПГУ-П.

### **1 Моделирование тепловой эффективности ПГУ-П**

Результаты расчетного исследования эффективности ПГУ-П

Тепловая эффективность ПГУ-П характеризуется значениями полного КПД, величиной электрической мощности паровой турбины и соотношением электрической и тепловой мощностей; чем выше это отношение, тем выше тепловая эффективность ПГУ-П. Модель основана на балансовом методе и представляет собой систему уравнений материальных и энергетических балансов парогазовой установки и отдельных ее элементов.

Особенность данного исследования заключается в том, что в качестве проектного режима принята работа ПГУ-П при температуре наружного воздуха  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (расчетная температура для проектирования отопления в условиях г. Томска). Основные показатели ГТУ рассчитываются с учетом ее энергетической характеристики; учтен подогрев воздуха до температуры  $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , который осуществляется путем рециркуляции воздуха на выходе из компрессора. За основу ПГУ-П принята ГТУ Siemens SGT5-4000F, имеющая в режиме работы ГТУ при температуре наружного воздуха минус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , показатели:

- электрический КПД –  $35,37\%$ ;