

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. - М.: Машиностроение. -1990. -368с.
2. Справочник машиностроения (в 6-ти томах). – Т.4 // Под ред. Н.С. Ачеркана. М.:Гос.НТИ машин. литературы. -1956. 852с.
3. Жернаков В.С., Пернаков Е.Н., Якубов Р.Г. Ресурс и надежность резьбовых соединений – М.: Машиностроение. – 2003. – 292 с.
4. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. - М.: Машиностроение. - 1977. - 488с.
5. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.В. Математическая теория оптимальных процессов. - М.: Наука. - 1969. - 384 с.
6. Дзюба А.П., Левитина Л.Д. Оптимизация формы круглых пластин и оболочек вращения. – Дн-ск: ДГУ. – 1985. – 124с.
7. Дзюба А.П. Метод послідовних наближень розв'язування задач оптимального керування з обмеженими фазовими координатами для оптимізації силових елементів конструкцій // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць – Дн-ськ: Навчальна книга. – Т.5. – 1999. – С. 61-85.
8. Дзюба А.П., Левитина Л.Д., Філяшина І.А. Розрахунок та оптимізація форми меридіану оболонок обертання як чутливих елементів манометричних пристроїв // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: Зб. наук. праць. – Дн-ськ: ДНУ. – 2003. – Вип.7. – С.34-40
9. Дзюба А.П., Левитина Л.Д. Гофрированная мембрана синусоидального профиля: Авторское свидетельство № 1170295 // Открытия и изобретения. – 1985. – № 28. – С.156.

УДК 621.039.543.4.004.82(477)

Д-р техн. наук, профессор Э.И. Черней (г. Москва),
канд. техн. наук, доцент С.Б. Тулуб (г. Киев),
канд. экон. наук, доцент Н.П. Сорока (г. Ровно)

ПРОБЛЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА АВАРИЙНОГО ЭНЕРГОБЛОКА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Обґрунтовано доцільність використання бактеріального вилуджування урану з метою ліквідації осередків радіоактивності, які виникають внаслідок техногенних катастроф.

NUCLEAR COMBUSTIBLE RECYCLING PROBLEMS OF THE EMERGENCY POWER BLOCK ON CHERNOBIL ATOMIC POWER STATION

In clause the expediency of application of leaching by bacteria of uranium for liquidation of the centers of the radio-activity which has arisen owing to accidents of a technical origin is proved.

Актуальной проблемой в эпоху атомных технологий является локализация и нейтрализация территорий и источников потенциальной радиационно-экологической опасности, которые, несмотря на строжайшие меры безопасности, возникают вследствие аварий и катастроф. Одним из примеров таких трагических событий служит авария на Чернобыльской АЭС.

В объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС содержится 2 млн.м³ радиоактивных отходов (РАО) с общей активностью 24 Мки. В зоне отчуждения в период дезактивации накоплено 3720 м³ твердых радиоактивных отходов (ТРО) и 1800 м³ жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Указанные РАО являются источниками альфа-излучения, так как содержат обломки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ). Одной из самых больших проблем «Укрытия» является судьба значительной части «утерянного» ядерного топлива, которое находилось во взорвавшемся реакторе. «Утерянное» ядерное топливо вызывает наибольшие опасения, поскольку несет угрозу возникновения самоподдерживающихся цепных реакций.

При всплесках цепных реакций могут получить избыточные дозы облучения люди, работающие в саркофаге. За пределы саркофага излучение не проникает, так как ему препятствуют бетонные стены. В последний раз подобные всплески фиксировались в сентябре 1996 года. Не исключено, что в глубине «Укрытия» в настоящее время проходят цепные реакции. Топливо может медленно выгорать, как это было в единственном природном реакторе, образовавшемся несколько тысяч лет назад на базе геологических объектов урана в Африке. Цепная реакция в природном реакторе продолжалась до полного выгорания урана. Обязательным условием возникновения природного реактора было наличие воды. Саркофаг в «Укрытии» не является герметичным. С 1997 года из-за осадков из саркофага откачивается ежегодно до пяти тонн воды.

В связи с этим проблема превращения Чернобыльской АЭС в экологически безопасную систему имеет планетарное значение. Для ее решения в 1994 г. был проведен международный конкурс, в котором участвовало 230 проектов из 18 стран.

Первая группа проектов была направлена на строительство «Укрытия-2». Например, в одном из современных проектов предлагается сооружение вокруг третьего и четвертого энергоблоков конической стены в грунте на глубину около 40 м, под которой будут пройдены штольни для сооружения прочного днища. Все риски, связанные с наземным захоронением аварийного реактора, могут послужить в обозримом будущем источником катастроф планетарного масштаба или превратить укрытие в объект многолетних инвестиций.

К использованию принят проект «Консоль», разработанный учеными Украины, который предусматривает строительство укрытия рядом с саркофагом с последующим перемещением его на саркофаг.

Сторонники второго направления склоняются к тому, чтобы разобрать «Укрытие-1» и вывезти высокоактивные вещества с последующим их захоронением. Это направление связано с решением не менее сложных проблем. По подсчетам специалистов на разборку саркофага и вывозку всего содержимого уйдет как минимум сорок лет. На сооружение второй (предохранительной) оболочки будет затрачено 10-13 миллиардов долларов США. Непосредственно разборка реактора может быть оценена указанной суммой затрат. Необходимо учесть затраты, связанные с перевозкой, переработкой, хранением высокоактивных материалов и другие расходы. Таким образом, суммарные затраты можно оценить в 30 миллиардов долларов США. В процессе перемещения ядерного топлива может образоваться его критическая масса, в результате чего возникнет самопроизвольная цепная реакция.

Наиболее радикальное решение проблемы дает, на наш взгляд, третья группа проектов, предполагающая захоронение содержимого саркофага в земной коре на различных глубинах. В проекте, авторами которого являются академик Е.В. Соболевич [1] и специалисты института «Кривбасспроект», рассматривается вариант захоронения содержимого саркофага на глубине 1000 м в вертикальной выработке, пройденной под саркофагом. Авторы рекомендуют проходить ствол в направлении снизу вверх и по мере выемки породы засыпать его гравием до донной части реактора. По мере того, как снизу будут выбирать гравий, четвертый блок с «Укрытием-1» будет уходить в недра. Реализация проекта связана с целым

рядом технических трудностей. Очевидно, чтобы начать проходку выработки для захоронения «Укрытия-1», необходимо пройти комплекс вспомогательных вертикальных и горизонтальных горных выработок. В самой технологической схеме проходки вертикального ствола диаметром около 200 м снизу вверх имеется целый ряд нерешенных на данном этапе технических и технологических задач.

В 1997 году кафедры «Строительство шахт и подземных сооружений» ДонГТУ совместно с ОАО проектно-техническим трестом «Оргтехшахтострой» и «Трест Донецкшахтопроходка» разработали технологию глубинного захоронения четвертого аварийного энергоблока Чернобыльской АЭС, согласно которой предлагается сооружение сверху вниз вертикального шахтного ствола, транспортирование и погружение объекта «Укрытие-1» в ствол с последующим заполнением его защитным материалом [2]. Основным элементом данной технологии является строительство шахтного ствола глубиной, обеспечивающей протекание подземного атомного взрыва в режиме камуфлета в случае самопроизвольной цепной реакции.

Исходя из фактических размеров объекта «Укрытие» (145 x 98 м) и технологических зазоров для его опускания, необходимо соорудить ствол диаметром около 185 м в свету. Ориентировочные технико-экономические показатели сооружения вертикального шахтного ствола представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Ориентировочные технико-экономические показатели сооружения ствола

Показатель	Количество
Глубина ствола, м	863
Диаметр ствола, м:	
в свету	185
в черне	192
Суточная скорость сооружения ствола, м/сут.	0,16
Явочный состав бригады, чел.	110
Списочный состав бригады, чел.	190
Комплексная норма выработки, м/чел.-см.	0,0013
Полная стоимость сооружения 1 м ствола, млн. грн (млн. долл. США)	3,3 (0,9)
Стоимость сооружения всего ствола, млн. грн. (млн долл. США)	2800(810)
Продолжительность сооружения ствола, лет	15

Наиболее перспективным направлением переработки бедных и труднообогатимых урановых руд в настоящее время является микробиологическое выщелачивание [3].

Извлечение урана из низкосортных бескарбонатных руд проводится с использованием методов подземного выщелачивания (ПВ) в режиме жесткого кислотного выщелачивания. Достоинством этой схемы является высокая скорость процесса. К недостаткам технологии следует отнести большой удельный расход кислоты, химическую коагуляцию и загрязнение окружающей среды [3].

В связи с этим проведены исследования по использованию бактериальных растворов, содержащих трехвалентное железо, для выщелачивания урана из руд месторождений Лявлякан, Бешкак и Букиной. В исследованиях использовались бактерии *Acidithiobacillus ferrooxidans* (штамм КСБ). Методом последовательной

адаптации получены устойчивые штаммы этих бактерий, которые могли развиваться в средах, содержащих до 300 мг/л урана. В лабораторных условиях в режиме фильтрационного слабокислотного выщелачивания в течение 370 ч извлекается около 97 % урана. При использовании бактериальных растворов 98 %-ное извлечение урана достигается через 42 ч. При разбавлении бактериальных растворов в два раза скорость выщелачивания урана снижается в 1,7 раза. При этом наблюдается и уменьшение удельного расхода кислоты (табл. 2).

Таблица 2 – Показатели фильтрационного выщелачивания урана в лабораторных опытах (рН = 1,5)

Наименование реагентов	Время, ч	Извлечение урана, %	Расход реагента, кг/кг урана
H ₂ SO ₄	370	96,6	43,6
КСБ (относительная концентрация 100%)	42,5	98,0	36,0
КСБ (относительная концентрация 50%)	72,5	98,0	16,7

Положительные результаты лабораторных исследований позволили перейти к крупномасштабным экспериментам. Бактериальное выщелачивание урана было проведено с использованием откачной скважины, выведенной из эксплуатации. Кислотность пластового раствора по результатам опробования составляла 4,9 г/л, содержание урана – 25 мг/л. В скважину было закачено 0,4 м³ бактериальных растворов (на расстояние 0,3 м по пласту) После двухнедельного выстаивания провели эрлифтное выведение и последующее опробование разбавленного пластового и бактериального растворов. Полученные данные свидетельствуют о том, что в пласте удалось создать требуемый режим выщелачивания и извлечь из пласта остаточные количества урана.

Следующий этап исследований заключался в проведении опытно-промышленных испытаний на одном из участков эксплуатационного блока месторождения Бешкак. Была смонтирована установка для культивирования микроорганизмов и подачи бактериального раствора в скважину. В качестве контрольной служила скважина слабокислотного выщелачивания. Испытания показали, что в начале опытных работ при отмывке водорастворимого урана в контрольной и опытной скважинах концентрация металла достигала 43-68 мг/л, что было обусловлено выносом окисленного урана. В дальнейшем, по мере уменьшения содержания в пласте урана, концентрация в откачиваемых растворах контрольной скважины снизилась до 4 мг/л. В скважине бактериального выщелачивания количество растворенного урана соответствовало показателям кислотного выщелачивания на эксплуатационном блоке.

Полученные результаты исследований по биоокислению сульфидных минералов и извлечению урана в режиме фильтрации свидетельствуют о целесообразности применения биотехнологических методов для извлечения металлов и вовлечения в производство труднообоготимых и низкосортных руд, в том числе «утраченного» урана в четвертом аварийном энергоблоке ЧАЭС.

Аварийный четвертый энергоблок ЧАЭС может рассматриваться как рудное техногенное месторождение полезных ископаемых, минеральное сырье (полезный компонент) в котором представлено ядерным топливом – UO₂ с балансовыми за-

пасами 50 т. Следует ли рассматривать ядерное топливо как дефицитное минеральное сырье? Очевидно нет, так как оно без глубокой переработки не пригодно для использования в реакторах РБМК-1000. Следовательно, главная проблема заключается в обеспечении экологической безопасности четвертого аварийного энергоблока ЧАЭС, как техногенного месторождения с высоким содержанием и значительными запасами урана в незначительном объеме горных пород.

Для добычи диоксида урана (UO_2) из четвертого энергоблока ЧАЭС необходимо разработать и утвердить проект комплекса бактериального выщелачивания. Для разработки разделов проекта горно-геологической направленности можно считать целесообразным привлечение к работе ученых и специалистов НАЭК «Энергоатом», Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Национального горного университета, Института геологических наук НАН Украины.

Бактериальное выщелачивание по аналогии с охлаждением руды осуществляют по контурной и сплошной схемам.

При контурной схеме бактериального выщелачивания предусматривается селективное орошение определенного объема руды, расположенной, например, в окрестности реактора. Сплошная схема бактериального выщелачивания предусматривает орошение всего объема руды, заключенной в саркофаге. Извлечение полезного компонента из продукционных растворов производят на промышленной площадке, расположенной в окрестности аварийного энергоблока.

Для этой цели используется комплекс сооружений, называемый сорбционной установкой. Комплекс состоит из сорбционных и регенерационных колонн, бассейнов для богатых и бедных растворов, емкостей для доводки химического концентрата, насосов, системы трубопроводов и вспомогательных сооружений для приготовления выщелачивающих растворов.

Выщелачивающий раствор готовится в специальном бассейне путем добавления в обычную техническую воду кислоты или щелочи до требуемой концентрации. Прошедший через руду и обогатившийся ураном выщелачивающий раствор носит название продукционного раствора. Извлечение урана из продукционного раствора происходит в сорбционных колоннах диаметром 2-3 и высотой 6-8 м, в которых находится ионообменная смола, обладающая избирательными сорбционными свойствами. Уран из раствора сорбируется на смоле, а обедненный раствор направляется в бассейн, доукрепляется реагентами и вновь используется для выщелачивания.

Разработаны и нашли широкое применение высокопроизводительные сорбционные колонны с зажатым слоем смолы или колонны с верхним дренажем. Особенность их конструкции и принципа работы заключается в том, что дренажное устройство располагается в верхней части колонны. Движение раствора осуществляется снизу вверх. Загруженная в колонну ионообменная смола потоком раствора поднимается вверх и прижимается к дренажной сетке. По мере прокачивания богатого раствора нижний слой смолы насыщается быстрее остального объема и периодически выпускается в промежуточную емкость. Одновременно с выпуском насыщенной смолы сверху догружается свежая смола, объемом, равным выпущенному. Насыщенная ураном смола перекачивается в регенерационную ко-

лонну, в которой она освобождается от сорбированного урана путем прокачивания через нее специального раствора. Обогащенный ураном раствор в виде товарного реагента поступает на каскад осаждения, состоящий из трех последовательно подключенных емкостей. В первой емкости кислотность раствора снижается до значения $pH=4,5$, во второй - до значения $pH=7,5$, в третьей получают пульпу концентрата и откачивают ее в сгуститель, из которого в виде товарного концентрата отправляют на перерабатывающее предприятие.

Автоматизация сорбционного комплекса осуществляется путем установки соответствующих устройств, датчиков и приборов, необходимых для контроля за технологическим режимом и управления процессом, а также для передачи информации в центральный диспетчерский пункт на ПЭВМ.

Проектирование комплекса бактериального выщелачивания производится на основании технического задания (ТЗ) на проектирование, в котором указываются геологические, гидрогеологические, тепловые, радиационные требования, а также требования по технике безопасности.

Гидрогеологические и технологические параметры: коэффициент фильтрации, м/сут; фактическая пористость руды, %; коэффициент проницаемости, m^2 ; требуемое количество выщелачивающих растворов, m^3 ; продолжительность заполнения саркофага выщелачивающими растворами, сут; содержание кислоты и штаммов в выщелачивающих растворах, г/л или pH ; конечное давление выщелачивающих растворов, Мпа; производительность по продукционным растворам с использованием сплошной или контурной схем выщелачивания в установленном режиме выщелачивания, $m^3/г$; проектная продолжительность выщелачивания с использованием сплошной или контурной схем выщелачивания, сут; проектное извлечение урана, %; проектные потери выщелачивающего раствора, %; общее (накопительное) количество, находящегося в саркофаге выщелачивающего раствора, в том числе количество раствора, находящегося в магистральном и участковых трубопроводах и растворосборниках, m^3 ; температура руды, $^{\circ}C$ и др.

При проектировании проходки подземных, открытых горно-подготовительных выработок и растворосборников необходимо исходить из общих требований, предъявляемых для подземных и открытых горных работ.

В проекте указываются: направление передвижения обслуживающего персонала; направление вентиляционной струи; замерные пункты; пункты отбора проб; а также технические сооружения (трубопроводы, задвижки, насосы, компрессоры и др.).

Установленные мощности насосов, для перекачки выщелачивающих и продукционных растворов, должны превышать средний часовой приток в два раза. На станции устанавливается не менее двух насосов. Насосные станции оснащаются приборами для измерения расхода растворов и давления. Магистральные и участковые трубопроводы для растворов и технической воды окрашиваются в разные цвета.

После завершения всего комплекса подготовительных работ и проверки температуры руды производится проверка эксплуатационных характеристик комплекса бактериального выщелачивания, путем закачки в саркофаг под давлением технической воды. Передача комплекса в эксплуатацию производится комиссией, которая составляет акт о приемке комплекса.

Для управления процессом выщелачивания осуществляется постоянный контроль за количеством и температурой выщелачивающих и продукционных растворов, содержанием в них урана, рабочим давлением, кислотностью, окислительно-восстановительным потенциалом, содержанием в растворах железа и других примесей.

К обслуживанию комплекса бактериального выщелачивания должен допускаться только персонал, прошедший специальный инструктаж.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соботович Е.В. Де і як ховати радіоактивні відходи? Вісник НАН України, 1998, №3-4.
2. Шевцов Н.Р., Гудзь А.Г., Бабичев В.А. Технология глубинного захоронения аварийного энергоблока Чернобыльской АЭС. Вестник национального горного университета Украины, 1999, №5.
3. Толстов Е.А., Латышев В.Е., Лильбок Л.А., Куканова С.И., Зайнитдинова Л.И. Применение биотехнологии при выщелачивании бедных и упорных руд. Горный журнал, 2003, №8.

УДК 629.11.012.5:658.567.1.004.8

Д-р техн. наук В.Н. Беляков,
инж. О.А. Молчанов
(ИГТМ НАН Украины)

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ИЗНОШЕННЫХ ШИН

Проаналізовано існуючі технології переробки шин, визначені переваги, недоліки та напрямки їх розвитку.

THE ANALYSIS OF PROCESSING WORN OUT TIRES

In this article have been analyzed existing technologies of processing tire's and also have been curttained their merits, demerits and directions of their development.

Изношенные шины представляют собой самую крупнотоннажную продукцию полимерных отходов. Они образуются и накапливаются в промышленных предприятиях, автохозяйствах, предприятиях шиномонтажа и автосервиса, а также в частном секторе.

По оценкам различных источников ежегодно к уже имеющимся в мире добавляются от 10 до 15 млн. тонн использованных шин [1]. Во многих европейских странах имеются программы, нацеленные на поддержку сбора, хранения и переработки отработанных покрышек. В большинстве случаев оплачивается сам факт утилизации автомобильных шин (100 – 450 EUR за тонну в разных странах). В Украине, в начале 2004г. также была принята программа, направленная на переработку изношенных шин.

В то же время нельзя не отметить, что изношенная шина представляет собой ценное полимерное вторичное сырье, содержащее резину, технический углерод и высококачественный металл. Экономически эффективная переработка шин позволит не только решить экологические проблемы, но и обеспечить высокую рентабельность перерабатывающих производств.

Исходя из вышесказанного, было бы не разумно не использовать такие огромные запасы изношенных шин в качестве объекта переработки и получения в про-