

турбоустановки ТГ-1 до модернизации $y \sim 2\%$ видно, что в результате изменения конструкции сепарационной части влажность снизилась более чем в 3 раза. С помощью отборов № 1 и 2 установлено равномерное распределение влаги по высоте парового пространства возле блока С. Отбор № 6, расположенный вдоль внешней стенки опускного канала, не показал повышенной влажности. Это свидетельствует об отсутствии стекающей жидкости. Не обнаружено заметного влияния особенностей сепарационных блоков на влажность. Средняя влажность на выходе из сепарационных блоков по результатам испытаний составила 0,6%, что близко к проектной.

Выводы. Модернизация промежуточных сепараторов-пароперегревателей СПП-500-1 с применением жалюзийных пакетов Powervane и изменением схемы движения нагреваемого пара устранила неравномерность распределения влажности по периметру и высоте парового пространства за сепарационными блоками и приблизила влажность к проектной. Разработанная система определения влажности отсепарированного пара по периметру парового пространства сепараторов-пароперегревателей позволила существенно увеличить объем получаемой информации о рабочих процессах и дала возможность выполнения подробного анализа сепарации.

Измерение влажности на турбоустановках Смоленской АЭС показало, что после модернизации неравномерность распределения влажности по периметру и высоте парового пространства за сепарационными блоками снизилась. Измеренная влажность близка к расчетной $\sim 0,5\%$. Заметного влияния на влажность индивидуальных особенностей сепарационных блоков не обнаружено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Егоров М.Ю.** Анализ эксплуатации и пути совершенствования сепараторов-пароперегревателей российских АЭС, связанные с интенсификацией теплообмена. — Новое в российской электроэнергетике, 2018, № 4, с. 15—28.
2. **Давиденко Н.Н., Соломеев В.А., Кругликов П.А. и др.** Совершенствование технико-экономических показателей технологического оборудования действующих АЭС. — Теплоэнергетика, 2008, № 1, с. 14—16. // **Davidenko N.N., Solomeev V.A., Kruglikov P.A. et al.** Improvement of technical and economic indicators of technological equipment at operating nuclear power stations. — Thermal Engng, 2008, v. 55, № 1, p. 18—21.
3. **Егоров М.Ю., Готовский М.А., Федорович Е.Д.** Повышение эффективности систем сепарации и перегрева пара в турбинах АЭС. — Надежность и безопасность энергетики, 2011, № 14, с. 57—64.
4. **Давиденко Н.Н., Соломеев В.А.** Модернизация турбинного оборудования АЭС. — Теплоэнергетика, 2009, № 5, с. 45—47. // **Davidenko N.N., Solomeev V.A.** Modernization of turbine equipment at nuclear power stations. — Thermal Engng, 2009, v. 56, № 5, p. 405—407.
5. **Kolev N.I.** Multiphase Flow Dynamics 5: Nuclear Thermal Hydraulics. London: Springer, 2015.
6. **Готовский М.А., Фокин Б.С., Бельский М.Я. и др.** Результаты испытаний модернизированных сепараторов-пароперегревателей турбоустановки К-500-65/3000 энергоблока № 4 Ленинградской АЭС. — Теплоэнергетика, 2012, № 2, с. 27—32. // **Gotovskii M.A., Fokin B.S., Belen'skii M.Ya. et al.** Results of tests of modernized separator-superheaters of the K-500-65/3000 turbine in № 4 unit of the Leningradskaya NPP. — Thermal Engng, 2012, v. 59, № 2, p. 113—118.
7. **Егоров М.Ю.** Повышение эффективности сепараторов-пароперегревателей турбин АЭС путем их модернизации на основе физического моделирования. — Атомная энергия, 2018, т. 124, вып. 2, с. 115—117. // **Egorov M.Yu.** Efficiency upgrade of separator-superheaters in NPP turbines by Physical-Modeling Based Modernization. — Atomic Energy, 2018, v. 124, № 2, p. 139—142.

Поступила в Редакцию 17.08.18

УДК 661.879

УНИФИКАЦИЯ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНЫХ УРАНОВЫХ ПУЛЬП МЕТОДОМ СОРБЦИОННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

*Молчанова Т.В., Смирнов К.М., Крылова О.К. (АО «ВНИИХТ», г. Москва)
e-mail: molchanovavt@vniiht.ru*

Технологические схемы переработки урановых руд гидрометаллургических заводов остаются достаточно громоздкими, сложными, трудоемкими и требуют дальнейшего совершенствования.

Выщелачивание урана из руд — одна из основных операций гидрометаллургии, имеющая своей целью перевод в водный раствор ценных компонентов руды посредством воздействия на нее разных реагентов (растворителей). Основ-

ным требованиям процесса отвечает такой режим выщелачивания, который обеспечивает быстрый перевод в раствор ценных компонентов руды, минимальный расход реагентов и селективность (минимальное выщелачивание примесей). При выщелачивании урана из руд большая часть реагентов расходуется на взаимодействие с вмещающими породами и сопутствующими минералами, растворение урана зависит от характера вкрапленности руды, скорости диффузии растворителя и продуктов реакции в порах руды и др. В настоящее время на большинстве предприятий режимы выщелачивания обеспечивают высокое извлечение урана в раствор, однако характеризуются значительными непроизводительными затратами реагентов на выщелачивание сопутствующих примесей. Их высокое содержание затрудняет и удорожает дальнейшую очистку урана [1].

Одним из перспективных направлений ионообменной технологии является сорбционное выщелачивание, позволяющее значительно улучшить технико-экономические показатели гидрометаллургической переработки руд [2, 3]. Оно заключается в выщелачивании руд и продуктов их обогащения в разных ионообменных смолах. Введение смол в пульпу позволяет объединить смежные операции технологической схемы, что значительно сокращает издержки производства на аппаратуру, капитальное строительство, расход энергии и реагентов. Кроме того, и это является основным, введение ионитов на стадии выщелачивания позволяет существенно интенсифицировать процесс в отношении как продолжительности, так и полноты извлечения полезных компонентов в готовую продукцию. Наличие анионообменных сорбентов в общем арсенале средств ионообменной технологии позволяет реализовать на практике сорбционное выщелачивание. Ионит, применяемый для выщелачивания урана из руд, обладает селективностью по отношению к урану, достаточно высокой скоростью обмена, максимально возможной сорбционной емкостью при малой равновесной концентрации урана. Аниониты чувствительны к многим примесям, поэтому необходимо изучение химического и минералогического состава руд.

По некоторым физико-механическим и физико-химическим свойствам не все урановые руды можно эффективно перерабатывать стан-

дартными методами, включающими раздельное выщелачивание рудной пульпы и сорбцию урана из выщелоченной пульпы, а также другие технологические приемы. К такому типу относятся урановые руды, характеризующиеся:

невосприимчивостью к разным способам обогащения;

высокой пластичностью рудовмещающих глин, требующей специальной рудоподготовки;

наличием большого количества (до 30—90%) тонкодисперсных глин, способных к интерламинарному набуханию, ионному обмену.

Сорбционное выщелачивание руд с такими свойствами позволяет снять указанные ограничения.

По мере истощения складских запасов урана, на которых базируется относительное благополучие в обеспечении топливных потребностей АЭС, реальным источником для компенсации возможного дефицита сырья представляется увеличение производства природного урана. Планируется осваивать новые рудники на базе резервных месторождений Стрельцовского рудного поля ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» [4]. Следует отметить, что более половины запасов урана и 70% богатых руд локализованы в карбонатных породах Аргунского месторождения, для переработки которых предусмотрена реконструкция технологической схемы завода. Повышение технико-экономических показателей гидрометаллургического производства немаловажно ввиду отчетливо проявляющейся тенденции к уменьшению содержания урана в добываемых и перерабатываемых рудах.

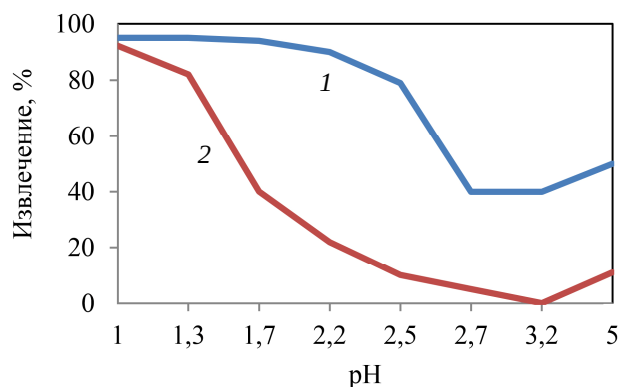
Целью настоящей работы является исследование основных закономерностей воздействия ионита на эффективность выщелачивания при переработке урановых руд разного типа. В связи со сложным характером выщелачивания урана из руд, зависящим от большого числа факторов, эффективность кислотно-сорбционного выщелачивания различна для разных руд и проб. Чем больше выщелачивание урана из руды зависит от факторов, активное воздействие на которые может оказывать ионит, тем больший эффект дает сорбционное выщелачивание.

Для выщелачивания урана из руд применяют серную кислоту и пиролюзит как окислитель. При сорбционной переработке выщелоченной пульпы твердая фаза контактирует с

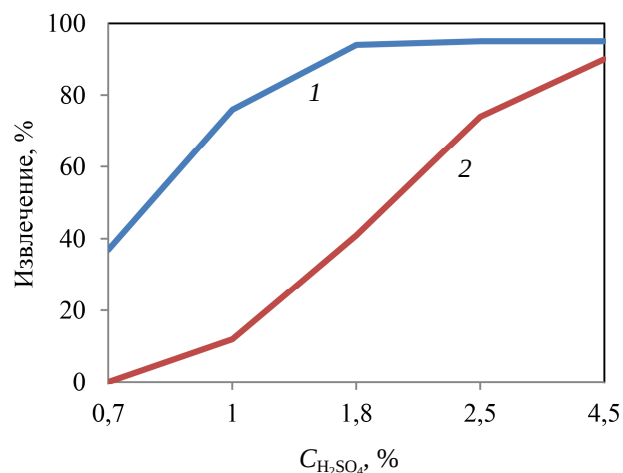
ионитом неэффективно около 3—4,5 ч (во всех пачуках), что достаточно для завершения выщелачивания урана при температуре естественного разогрева пульпы непосредственно при сорбционной обработке. Кроме того, оптимальная кислотность pH 1,3—1,8 для выщелачивания и сорбции на сильноосновном анионите АМП почти совпадает. Поэтому сорбционное выщелачивание при переработке руд является перспективным и обеспечивающим совмещенную переработку руд с разным содержанием урана по более короткой технологической схеме.

Изучено кислотно-сорбционное выщелачивание урана из бедных и богатых руд с разным химическим и минералогическим составом. Следует отметить, что значительный удельный вес в экономическом эффекте в схемах сорбционного выщелачивания занимает повышение извлечения урана. Поэтому процесс целесообразно проводить при максимальном градиенте концентрации урана от аппарата к аппарату в неравномерных условиях. В силу разной скорости выщелачивания урана и примесей изначально жидкая фаза пульпы имеет малый солевой состав, поэтому насыщение ионита протекает при более благоприятном соотношении урана и примесей, что обеспечивает получение более высокой сорбционной емкости ионита. Испытания проводили в полупериодическом режиме — через пачуки непрерывно пропускали пульпу со временем ее пребывания в каждом аппарате 30—45 мин и периодическим переключением пачуков с насыщенным анионитом (после наступления проскока урана в растворе за хвостовым пачуком ≤ 5 мг/дм³). Число последовательно соединенных аппаратов в цикле сорбции зависело от содержания урана в руде. В каждый пачук загружали порцию анионита из условия поддержания определенного соотношения объема анионита и пульпы в аппарате.

На рис. 1, 2 показано кислотное (агитационное) и кислотно-сорбционное выщелачивание урана с добавлением сильноосновного анионита АМП из руды, содержащей 0,171% урана. При высоких показателях pH извлечение урана при выщелачивании с ионитом в несколько раз больше, с понижением pH разница уменьшается, однако до pH 1,2—1,3 остается значительной. Если учесть, что кинетика выщелачивания урана велика, то влияние ионита в этом случае сводится преимущественно к уменьшению concentra-



Р и с. 1. Влияние pH на извлечение урана при кислотно-сорбционном (1), кислотном выщелачивании (2)



Р и с. 2. Влияние расхода серной кислоты на извлечение урана при кислотно-сорбционном (1), кислотном выщелачивании (2)

ции урана в жидкой фазе и тем самым к снижению сорбции урана рудным остатком. На кривой 1 рис. 1, характеризующей извлечение урана в зависимости от pH среды, имеется резко выраженный минимум. Известно, что каолиниты и монтмориллониты являются хорошими сорбентами в нейтральной среде. Это позволяет сделать вывод, что количество сорбируемых форм урана в рудах невелико и при кислотной обработке уран перераспределяется между жидкой фазой и рудным остатком, в результате чего при pH 3 он находится преимущественно в сорбируемом состоянии. Левая ветвь кривой 1 характеризует, видимо, наличие в руде растворимых карбонатов, которые связывают уран в трикарбонатный комплекс, сохраняющийся до pH 5—5,5. При серно-кислотном выщелачивании для извлечения 90—92% урана расход серной кислоты составляет более 5% массы руды. Ионит позволяет повысить извлечение урана до 95—96% при расходе серной кислоты 2,5—4%

(см. рис. 2). Таким образом, совмещение сорбции и выщелачивания позволяет повысить извлечение урана при снижении расхода серной кислоты.

При серно-кислотном выщелачивании руды с 0,13% урана при расходе серной кислоты 15% массы руды и избыточной кислотности 3—5 г/дм³ содержание урана в кеках составило 0,005%. При снижении избыточной кислотности выщелоченной пульпы до pH 2 и 2,8 содержание урана в отвальных кеках повышается до 0,01 и 0,017% соответственно. Отмечена индифферентность выщелачивания руды к изменению соотношения т:ж пульпы в пределах 1:1—1:2.

В табл. 1 видно, что сорбционным выщелачиванием можно получить отвальные кеки с содержанием урана 0,005—0,006% при pH пульпы 1,7—2. Оптимальный расход серной кислоты составил 13,6%. Установлен характер дозировки кислоты с распределением ее подачи в головной пачук 12% и в пачук № 3 — 1,6%. Такие условия сорбционного выщелачивания обеспечивают технологическое извлечение урана в ионит 95,5—96%. Дальнейшее понижение кислотности пульпы до pH 1,1 и, следовательно, повышение расхода серной кислоты до 25% неэффективно, так как содержание урана в кеке снижается всего на 0,001% (до 0,004%). При более высоком pH, равном 2,8, содержание урана в отвальном кеке повышается до 0,008%.

Ускорение выщелачивания с ионитом показано на сравнительном примере агитационного и кислотно-сорбционного выщелачивания богатой руды, содержащей 1,67% урана (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние продолжительности выщелачивания на извлечение урана

Выщелачивание	τ, ч	
	1	3
Сорбционное выщелачивание, %:		
кек	0,158	0,087
извлечение	92,2	95,1
Кислотное выщелачивание, %:		
кек	0,325	0,255
извлечение	80,4	84,7

Исследовано извлечение урана сорбционным выщелачиванием из руды алюмосиликатного типа Стрельцовского месторождения с малым содержанием сульфидов при урановой минерализации в виде настурана с содержанием урана 0,238% при разной продолжительности контакта ионита с пульпой на каждой стадии (пять стадий). Расход серной кислоты при pH ~1 составлял 8,8% массы руды (табл. 3). Поскольку извлечение урана на каждой стадии экспотенциально убывает во времени, для повышения показателя сорбцию следует проводить при продолжительности не менее 2,5 ч на пяти стадиях обработки. Для сорбционного выщелачивания требуется значительно меньшая продолжительность контакта фаз.

Найдены оптимальный расход серной кислоты и его влияние на остаточное содержание урана в выщелоченной фазе пульпы. Кроме того, определено влияние характера дозировки кислоты, расходуемой на растворение урана и сопутствующих кислотоёмких примесей (табл. 4). При изменении расхода серной кислоты от 6 до 12% ее основное количество идет на

Т а б л и ц а 1. Распределение урана в продуктах при сорбционном выщелачивании руды с содержанием 0,13% урана с использованием анионита АМП

рН	Пульпа (головной пачук)		рН	Сбросная пульпа		Емкость по урану, мг/г
	Содержание урана			Содержание урана		
	Раствор, г/дм ³	Кек, %		Раствор, г/дм ³	Кек, %	
2,2	Расход H ₂ SO ₄ 12%, место подачи — головной пачук					45,8
	0,025	0,008	2,8	0,004	0,009	
2	13,6%, головной пачук					53,2
	0,08	0,005	2,7	0,003	0,007	
1,8	Расход H ₂ SO ₄ 13,6%, головной пачук 12%, пачук № 3 1,6%					54,8
	0,16	0,007	1,7	0,002	0,005	
1,6	25% 12% 13%					55,4
	0,22	0,006	1,1	0,002	0,004	

Таблица 3. Зависимость извлечения урана от продолжительности сорбционного выщелачивания

Параметр	τ, мин		
	15	30	45
Стадия 1			
Кек, %	0,13	0,069	0,039
Извлечение, %	45,4	71	83,6
Стадия 2			
Кек, %	0,025	0,017	0,016
Извлечение, %	89,5	92,8	93,4
Стадия 3			
Кек, %	0,015	0,015	0,014
Извлечение, %	93,7	93,7	94,1
Стадия 4			
Кек, %	—	—	0,014
Извлечение, %	—	—	94,1
Стадия 5			
Кек, %	0,013	0,012	0,012
Извлечение, %	94,5	95	95

растворение урана и сопутствующих примесей на первых двух ступенях сорбционной обработки, так что избыточная кислотность пульпы в конце второй обработки снижается до pH 2. Извлечение урана во всех случаях находится на уровне 93—94% на первых двух стадиях. Очевидно, избыточное количество серной кислоты, задаваемое на первой стадии обработки и превышающее 6%, расходуется на растворение алюмосиликатных минералов и вызывает нежелательное загрязнение примесями урановых растворов без улучшения качества перевода урана из кека в раствор или ионит. Поэтому оптимальный расход серной кислоты на первых двух стадиях составляет 6% массы руды. При этом следует иметь в виду, что сорбционное выщелачивание продолжается и на последующих стадиях обработки, где в результате растворения кислотоёмких примесей наблюдается повышение pH пульпы и возникает необходи-

мость корректировки pH в интервале 0,8—1,5, в противном случае уменьшается извлечение урана из кека на последних стадиях сорбции. Без корректировки pH пульпы содержание урана в отвальном кеке составляет, %: 0,017—0,02 при pH 4,5—5, 0,013—0,015 при pH 3—4, 0,01 при pH 2,3—2,7, 0,008—0,01 при pH 1,5—2, 0,005—0,008 при pH 1—1,3.

Для создания оптимальных условий извлечения урана сорбционным выщелачиванием необходимо поддерживать избыточную кислотность в пределах pH 1—1,5 с рекомендацией дробной подачи серной кислоты по стадиям, %: на первых трех 6,65, 0,8, 0,55 соответственно, на двух последних — без подкисления (суммарный расход серной кислоты 8%).

Для уран-молибденовой руды Стрельцовского месторождения с содержанием урана 0,207%, молибдена 0,067% опробовано сорбционное выщелачивание в полупромышленном режиме. В табл. 4 видно, что содержание урана в кеке уже во 2-м пачуке достигает 0,007% и в дальнейшем при переходе пульпы по пачукам от 3-го к 10-му мало изменяется, что свидетельствует о завершении выщелачивания урана из твердой фазы пульпы в первых двух пачуках. Следовательно, продолжительность сорбционного выщелачивания лимитируется поглощением урана из жидкой фазы пульпы. Сорбция урана заканчивается в 8-м пачуке, где его средняя концентрация в жидкой фазе пульпы составляет 0,007 г/дм³. Следует отметить, что поглощение молибдена замедлено и только в 10-м пачуке его концентрация снижается до ≤0,01 г/дм³. Кислотное выщелачивание при расходе серной кислоты 13% обеспечивает одинаковое с сорбционным выщелачиванием технологическое извлечение урана в ионит (97,1%). Средний расход серной кислоты составил 11,7%.

Таким образом, сорбционное выщелачивание обеспечивает:

Таблица 4. Распределение урана в системе раствор—кек—анионит по пачукам сорбционного выщелачивания

Параметр сорбционного выщелачивания	Номер пачука									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрация урана в жидкой фазе пульпы, г/дм ³	1,57	1,31	1,04	0,66	0,3	0,124	0,023	0,007	0,006	0,005
Содержание урана в кеке, %	—	0,007	—	0,007	—	0,007	—	0,006	—	0,0055
Емкость ионита, %	6,9	6	5,08	3,2	1,68	0,7	0,28	0,14	0,11	0,08

технологическое извлечение урана в ионит не менее 97%;

получение сбросных или отвалных кеков с содержанием урана 0,005—0,007%, молибдена 0,025%;

концентрацию урана в жидкой фазе пульпы 1—5 мг/дм³, молибдена ≤10 мг/дм³;

насыщение анионита до средней емкости по урану 6,9%, молибдену 0,65%.

Кислотно-сорбционное выщелачивание, помимо общего снижения времени обработки руды за счет совмещения сорбции и выщелачивания, позволяет снизить расход кислоты благодаря проведению процесса при малой избыточной концентрации растворителя.

Воздействие ионитов на содовое выщелачивание урана из руд, как и кислотное, может заключаться в следующем:

повышение градиента концентрации урана на поверхности раздела фаз и в объеме;

уменьшение роли вторичных процессов («обратного осаждения», сорбции рудным остатком);

растворение пленки труднорастворимых солей урана, образующихся на поверхности раздела фаз.

Степень влияния ионита на содовое выщелачивание урана из руд будет определяться влиянием этих трех факторов на растворение минералов урана. Очевидно, что растворение можно регулировать в нужном направлении, изменяя температуру, измельчение, концентрацию растворителя (сода) и окислителя. Однако такое регулирование не должно противоречить экономической целесообразности, заключающейся

в совмещении сорбции и выщелачивания, повышении емкости анионита за счет разницы кинетики выщелачивания урана и депрессирующих примесей.

Изучено влияние концентрации соды при расходе KMnO_4 3% массы руды и окислителя при концентрации Na_2CO_3 10 г/дм³ на выщелачивание урана из руды, содержащей 8,28% урана, с анионитом АМ и без него при 80—90 °С и продолжительности контакта фаз 3 ч (табл. 5). При повышении расхода окислителя до 5% влияние ионита на выщелачивание возрастает. Это можно объяснить следующим. При выщелачивании урана без окислителя скорость процесса зависит от окисления четырехвалентного урана, с увеличением расхода окислителя повышается роль диффузионных процессов и обратного осаждения, следствием чего и является возросшее влияние анионита на выщелачивание. Следовательно, наибольший эффект содово-сорбционного выщелачивания достигается при переводе реакции растворения (выщелачивания) из окислительной (кинетической) в диффузионную область. Учитывая, что при выщелачивании урана из руд скорость окисления четырехвалентного урана играет далеко не последнюю роль, применяемый окислитель должен отвечать следующим условиям:

достаточно быстро окислять четырехвалентный уран (в противном случае реакция будет зависеть от скорости окисления);

не должен способствовать появлению ионов, депрессирующих сорбцию урана на ионите;

иметь сравнительно низкую стоимость.

Т а б л и ц а 5. Содовое выщелачивание урана с ионитом и без него

Параметр	Сорбционное выщелачивание			Выщелачивание		
	Раствор, г/дм ³	Кек, %	Извлечение, %	Раствор, г/дм ³	Кек, %	Извлечение, %
Концентрация Na_2CO_3 , г/дм ³ :						
2	0,003	6,32	23,7	0,17	7,1	14,13
4	0,007	5,42	34,6	—	7,3	11,9
6	0,03	5,1	38,4	0,99	6,6	20,1
10	0,44	2,85	65,6	—	4,6	44,4
Расход KMnO_4 , %:						
0	0,11	4,46	46,9	2,77	4,8	41,2
0,5	0,28	3,5	57,8	3,48	4,6	44,5
1	0,75	3,42	58,7	3,45	4,4	45,3
3	0,44	2,85	65,6	—	4,44	44,4
5	—	—	—	3,46	4,07	50,9

Для снижения расхода окислителя и общей продолжительности процесса разработано сорбционное выщелачивание урана и молибдена из карбонатных руд [5]. Предложено после 2—4-й стадии сорбционного выщелачивания в пульпу вводить KMnO_4 из расчета 0,15—0,25% массы руды и проводить доокисление урана и молибдена в течение 40—60 мин в отсутствие сорбента с последующим завершением процесса. Предлагаемый способ может снизить расход дорогостоящего окислителя в 4 раза, а также общую продолжительность процесса.

Таким образом, при переработке руд совмещение операций, помимо общей интенсификации гидрометаллургического передела, способствует повышению сорбционной емкости за счет разницы кинетики выщелачивания урана и примесей. Этот метод позволяет существенно сдвинуть равновесие урана между жидкой и твердой фазой выщелоченной пульпы за счет интенсивного сорбционного поглощения урана ионитом и тем самым ускорить выщелачивание. При этом удастся значительно снизить затраты реагентов на выщелачивание, а также уменьшить число технологических операций в схеме за счет их сокращения и объединения. В общей

статье расходов по реагентам в технологии гидрометаллургического извлечения урана из руд значительная доля приходится на серную кислоту, снижение удельного расхода которой дает возможность в заметной степени снизить себестоимость готовой продукции. Совмещенный вариант позволит наиболее полно использовать резервы и возможности ионообменного материала и унифицировать технологическую схему завода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Химия урана.** Под ред. Б.Н. Ласкорина. М.: Наука, 1983.
2. **Громов Б.В.** Введение в технологию урана. М.: Изд-во МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1972. 239 с.
3. **Волков В.П.** Сорбционные процессы действующих производств. М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2014. 159 с.
4. **Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов.** В 2 т. Т. 1. Уран. Под ред. М.И. Фазлуллина. М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2005. 407 с.
5. **Шаталов В.В., Молчанова Т.В., Пеганов В.А. и др.** Способ сорбционного выщелачивания урана и молибдена из карбонатных руд. Патент РФ № 2381286. — Бюл. «Изобретения. Полезные модели», 2009, № 4, с. 718.

Поступила в Редакцию 13.09.18

УДК 621.039.548

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ОБОЛОЧЕК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТВЭЛОВ, ИСПЫТАННЫХ В МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ В УСЛОВИЯХ PWR

*Ижutow А.Л., Бурукин А.В., Владимиров О.Н., Долгов А.И., Ильин П.А.,
Калыгин В.В., Мокеичев М.А., Овчинников В.А. (АО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград)
e-mail: 73dolgov73@gmail.com*

Одно из направлений исследований в петлевых установках реактора МИР — испытания твэлов с оболочкой из перспективных циркониевых сплавов в условиях, моделирующих работу в активной зоне реактора, для обоснования безопасной эксплуатации вновь разработанных конструкций твэлов и лицензирования топлива [1]. Цели экспериментов — изучение коррозионной стойкости усовершенствованных оболочечных материалов, а также влияния химических и теплогидравлических параметров теплоносителя на разработанные конструкции твэлов. Эксперименты являются предварительным эта-

пом перед испытаниями с моделированием проектных аварий с потерей теплоносителя и скачкообразным увеличением мощности [2, 3].

Для оценки коррозионной стойкости оболочечных материалов испытаны экспериментальные твэлы с оболочкой из сплава Э-110 о.ч. и Э-125 в одной из петлевых установок МИР с моделированием условий эксплуатации твэлов PWR (линейная мощность, водно-химический режим). Испытания сопровождались периодическими исследованиями на стенде инспекции, разработанном в АО «ГНЦ НИИАР». Для очистки поверхности оболочек эксперименталь-