

что использование КАГТ приводит к снижению их содержания в отходящих газах по сравнению со сжиганием отработанного масла без КАГТ во всем диапазоне изменения концентрации КАГТ в отработанном масле. При этом наблюдается тенденция по снижению эффективности дожигания сажи и СО в отходящих газах технологической печи при повышении концентрации КАГТ в отработанном масле. Для максимального снижения содержания сажи и СО в отходящих газах необходим жесткий контроль за расходом воздуха и отработанного масла, подаваемых в технологическую печь, для поддержания оптимального массового соотношения воздух – отработанное масло.

На основании проведенных исследований по термokatалитической утилизации отработанных масел определены оптимальные режимы его практической реализации:

- давление атмосферное;
- массовая доля воздуха в смеси воздух: отработанное масло не менее 95 %, что обеспечивает полное дожигание сажи;
- рабочая температура процесса утилизации $900 \div 1100$ К, что обеспечивает получение урана в виде $U_3O_8(k)$;
- использование каталитических активаторов сжигания масла на основе УДП железа и меди, образующих при $T=900 \div 1100$ К соединения $Fe_2O_3(k)$ и $CuO(k)$, которые обеспечивают каталитическое обезвреживание сажи и СО в реальном процессе термokatалитической утилизации отработанных масел.

Таким образом, показана принципиальная возможность использования КАГТ для эффективной термokatалитической утилизации отработанных масел типа ВМ-4 и И-50А в технологических печах.

Литература

1. Патент Российской Федерации № 2017524 / А.Г. Каренгин, Т.А. Губайдулина, Т.Ф. Андреева, Б.П. Савин. Способ получения катализаторов для очистки отходящих газов технологических процессов и выхлопных газов автотранспорта. БИ № 15 от 15.08.94.
2. Каренгин А.Г., Губайдулина Т.А., Меркулов А.В., Арефьева В.А. Каталитические активаторы горения топлива для снижения вредных веществ в промвыбросах топочных устройств, котельных установок и технологических // Материалы Междунар. конф. «Всесибирские чтения по математике и механике». 17-20.06.97. – Томск:1997. С.66-67.
3. Сергеев Д.В., Меркулов А.В., Губайдулина Т.А., Каренгин А.Г. Ультрадисперсные активаторы горения топлива для очистки отходящих газов котельных и печей // Тезисы докл. научно-техн. конф. «Технология и автоматизация атомной энергетики». – Северск: 1999. С.68.

УДК 546.791:66.081.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕДЕЛОВ ДЕСОРБЦИИ УРАНА

В.Н. Кудланов

ЗАО «КазСабтон»

Необходимость быстрого увеличения выпуска урана предопределило стремительное развитие технологий его извлечение из различных видов сырья. В последнее время при извлечении урана из бедных руд, которые в основном имеются в Казахстане, получила распространение технология подземного выщелачивания. Уран в этом случае извлекается из недр на поверхность в виде растворов. Эта технология является наиболее рентабельной с точки зрения использования площадей и оборудования для извлечения урана. Она позволила уменьшить капитальные затраты на ор-

ганизацию производства, снизить стоимость добычных работ и улучшить условия труда. Появилась возможность отрабатывать локальные рудные залежи небольшого масштаба с низким содержанием урана, залегающие в сложных горно-геологических условиях. Наибольшее развитие в дальнейшей переработке извлеченных на поверхность урановых растворов получили традиционные сорбционно – осадительные методы концентрирования урана в местах добычи. Высокие транспортные расходы при доставке реагентов, применение дорогостоящих реагентов при осаждении урана, малопроизводительное и неэффективное объемное оборудование, тяжело поддающееся (лучше сказать – не поддающееся) полной автоматизации, занимающее большие площади и требующее при обслуживании больших трудозатрат делают вышеуказанный метод концентрирования урана дорогостоящим.

Для снижения затрат на получение химконцентратов возможны два пути – совершенствование технологии и повышение производительности при существующей технологии, которая чаще всего реализуется в новых аппаратах, за счет применения аппаратуры непрерывного действия. В настоящее время преимущества имеет аппаратура с отсутствием движущихся частей внутри реакционной зоны, с полной герметичностью, высоким съемом продукта с единицы рабочего объема и низкой энергоемкостью. Наибольший эффект дает сорбционно-десорбционная колонна (СДК), которую разработала группа инженеров в Центральной научно-исследовательской лаборатории Целинного горно-химического комбината. Выпуск продукции с единицы объема СДК в несколько раз больше, чем обычных, вследствие чего снижается необходимая производственная площадь и повышается производительность труда. Основное преимущество СДК по сравнению с существующими регенерационными аппаратами – получение богатых урановых растворов (товарных десорбатов) при регенерации бедных сорбентов. Содержание урана в товарном десорбате зависит от концентрации урана в исходном растворе и находится в пределах от 70 до 150 г/л и, как правило, превышает содержание урана в насыщенном сорбенте, а степень концентрирования урана из продуктивного раствора в товарный десорбат может при этом достигать 1000 и более.

Достоинствами колонны является высокий уровень автоматизации, обеспечивающий минимальные трудозатраты на обслуживание, в результате чего не требуется высокого уровня квалификации обслуживающего персонала.

В различных вариантах исполнения СДК прошла промышленные испытания и эксплуатировалась при ПВ урана из руд месторождения "Семизбай" ("ЦГХК"), а в настоящее время успешно эксплуатируется при КВ забалансовых руд в РУ-1 ЗАО "КазСабтон" (бывш. "ЦГХК").

1. Принцип работы колонны

СДК представляет собой двухсекционный аппарат, в котором происходят одновременно процессы сорбции и десорбции и осуществлен противоток плотного слоя смолы и раствора. Возможность объединения двух процессов в одной колонне дало различие активностей анионов сульфата уранила и анионов и серной кислоты в зависимости от концентраций.

Принцип противотока осуществлен на всех стадиях при оптимальном направлении движения смолы и раствора. Ионный обмен осуществляется в условиях динамики сорбции в режиме идеального вытеснения фаз (высота эквивалентной теоретической ступени равна полутора диаметрам зерна смолы, что обеспечивает около тысячи ступеней ионного обмена в метровом слое смолы). При таких условиях эффективность ионообменных процессов близка к теоретической.

Принцип работы СДК заключается в следующем:

В процессе работы аппарата сорбент проходит последовательно ряд зон, соответствующих следующим процессам (по ходу смолы): донасыщение (сорбция урана из регенерата); регенерация (десорбция урана со смолы); отмывка от десорбента (десорбирующего раствора) (рис. 1).

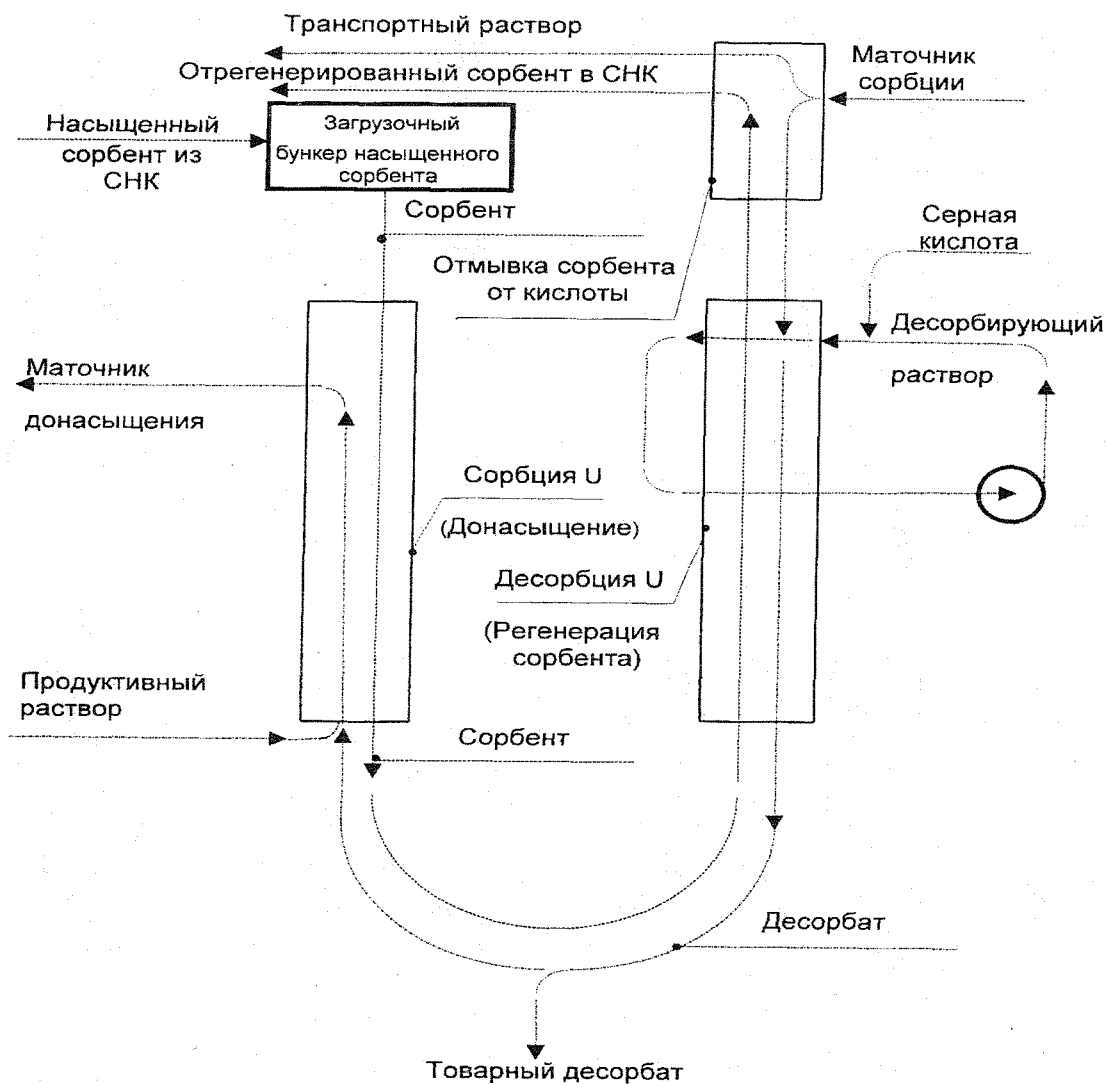


Рис. 1.

Насыщение сорбента на стадии сорбции из продуктивных растворов ПВ соответствует концентрации урана в растворе и, как правило, мала, составляя при этом 20-30 % полной обменной емкости сорбента. При традиционном способе десорбции концентрация урана в десорбате соответственно мала.

При регенерации сорбента в СДК насыщенный на стадии сорбции сорбент поступает в зону донасыщения, где происходит дополнительное насыщение смолы за счет сорбции урана из части десорбата, разбавленного исходным продуктивным раствором. Донасыщение сорбента увеличивает его емкость и позволяет повысить концентрацию урана в десорбате и соответственно уменьшить его выход (товарной части десорбата). Донасыщение позволяет использовать 80-90 % полной обменной емкости сорбента, что означает высокий КПД использования смолы. Наличие операции (зоны) донасыщения отличает аппарат СДК от известных колонн и составляет его главное преимущество.

После донасыщения сорбент проходит зону «концентрирования», которая является переходной зоной между зонами донасыщения (сорбции) и зоной регенерации. Конструктивно этой зоне соответствует нижняя тороидальная часть аппарата. Здесь сорбент и раствор (регенерат) проходят точку максимальной концентрации урана как в сорбенте, так и в растворе. Из этой точки производят отбор товарного десорбата.

В процессе дальнейшего продвижения по аппарату смола последовательно проходит зоны десорбции и отмывки, где соответственно происходит десорбция урана с сорбента и ее отмывка от десорбента – регенерация смолы.

Отмывочный раствор, содержащий отмывтый десорбент, продвигаясь навстречу смоле в зону регенерации, смешивается с концентрированным раствором десорбента (например, серной кислотой при сернокислой регенерации), который подается в нагнетающий трубопровод дозирочным насосом. Количество отмывочной воды и раствора десорбента соответствует количеству десорбирующего раствора заданного состава.

Использование в качестве десорбента более активного реагента (табл. 1) – азотной кислоты – повышает эффективность колонны.

Таблица 1

Зависимость коэффициента активности от ионной силы реагента

		Ионная сила						
		0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1
Коэффициент активности	NO ₃ ⁻	0,97	0,96	0,94	0,91	0,87	0,77	0,68
	SO ₄ ⁻	0,77	0,71	0,63	0,56	0,47	0,35	0,26

Из опытных данных, полученных в ЦНИЛ ЦГХК (табл. 2), видно, как меняются качественные показатели колонны в зависимости от применяемого десорбента.

Таблица 2

Опытные данные, полученные в ЦНИЛ ЦГХК

Показатели процесса	Сульфатная десорбция	Сульфатно-нитратная десорбция
Состав десорбирующего раствора, г/л		
H ₂ SO ₄	Конц.	20-30
HNO ₃	-	70
Поток десорбирующего раствора, м ³ /ч	2,17	0,86
Вывод товарного раствора, м ³ /ч	0,52	0,31
Концентрация урана в десорбате, г/л	50-70	100-150
Кислотность в зоне разгрузки, г/л	200	30
Остаточная емкость ионита, кг/т	4,2	1,4
Минимальное время десорбции, ч.	16	8

При необходимости в зоне отмывки можно осуществлять конверсию смолы – перевод в другую ионную форму, например, при азотно-кислотной регенерации из нитратной в серно-кислую раствором серной кислоты.

Отмывтый сорбент разгружается в загрузочный бункер, откуда транспортируется на сорбцию в СНК или СВНК.

2. Управление работой колонны

Схема обвязки СДК в обоих вариантах десорбции приведена на рис. 2 и 3 в первом случае в верхнюю часть зоны десорбции колонны (десорбер б) подается маточник сорбции для отмывки сорбента от кислоты. Отмывочный раствор, двигаясь вниз, смешивается с потоком десорбирующего раствора, разбавляя его. Для доукрепления десорбирующего раствора по кислоте в раствор (в нагнетающий трубопровод) подается концентрированная серная кислота в необходимом количестве.

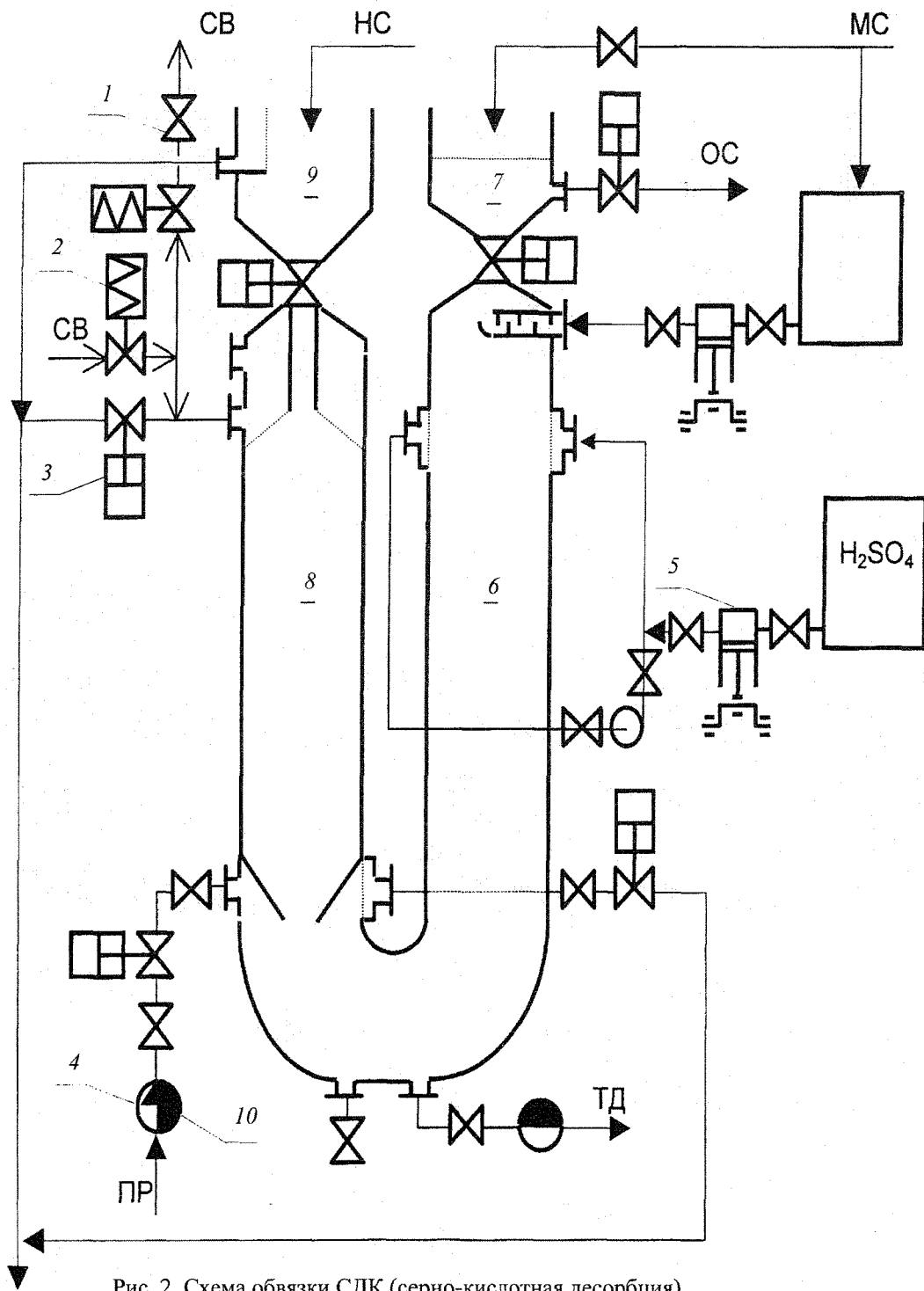


Рис. 2. Схема обвязки СДК (серно-кислотная десорбция)

1 – вентиль запорный; 2 – вентиль с электромагнитным приводом;
 3 – вентиль с пневмоприводом (пневмоцилиндр); 4 – расходомер типа ИР-50;
 5 – насос дозатор; 6 – десорбер; 7 – разгрузочный бункер; 8 – сорбер;
 9 – загрузочный бункер; 10 – обратный клапан; ПР – продуктивный раствор;
 ТД – товарный десорбат; МС – маточник сорбции; СВ – сжатый воздух;
 НС – насыщенный сорбент; ОС – отрегенированный сорбент

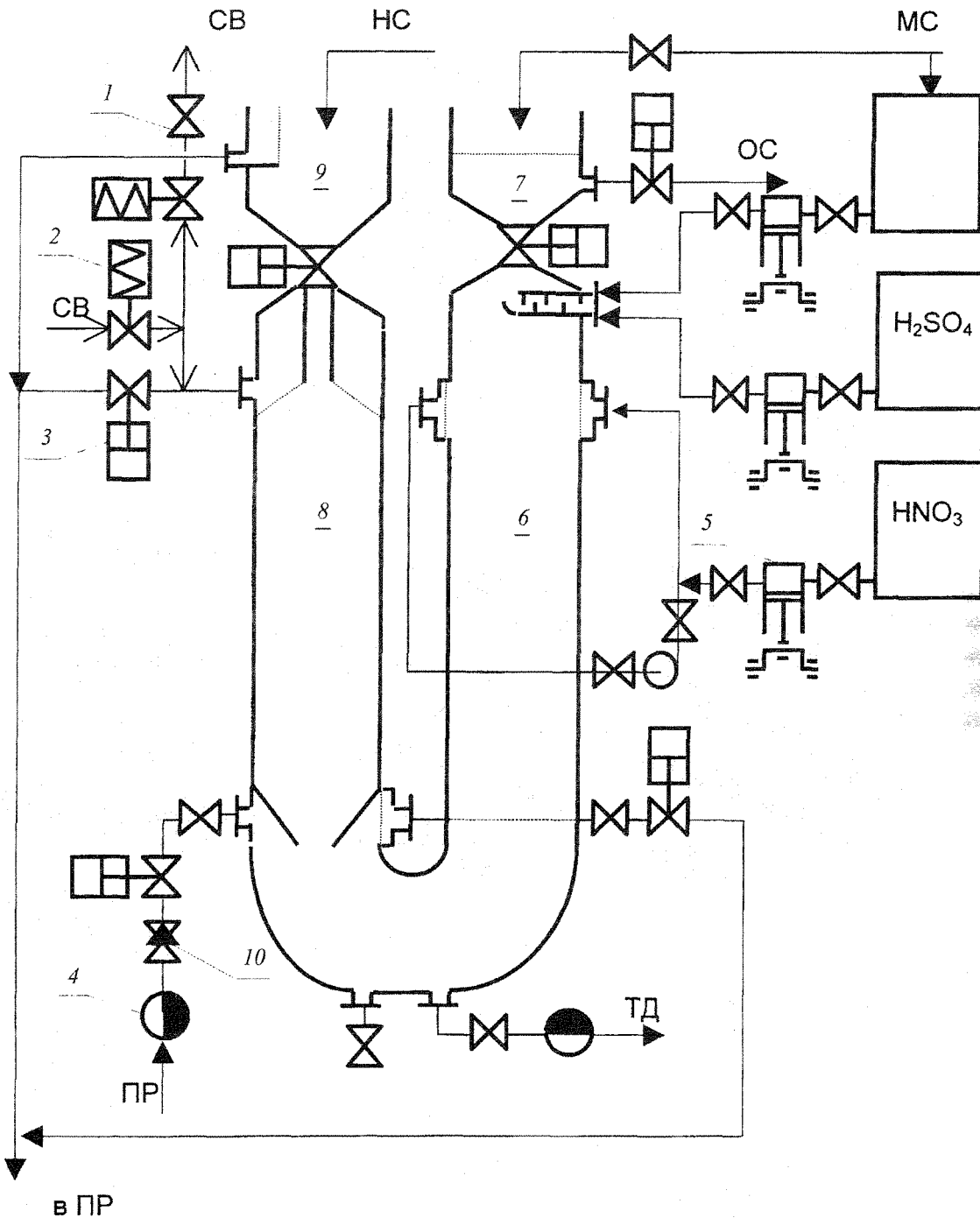


Рис. 3. Схема обвязки СДК (азотно-кислотная десорбция)

- 1 – вентиль запорный; 2 – вентиль с электромагнитным приводом;
 3 – вентиль с пневмоприводом (пневмоцилиндр); 4 – расходомер типа ИР-50;
 5 – насос дозатор; 6 – десорбер; 7 – разгрузочный бункер; 8 – сорбер;
 9 – загрузочный бункер; 10 – обратный клапан; ПР – продуктивный раствор;
 ТД – товарный десорбат; MC – маточник сорбции; CB – сжатый воздух;
 HC – насыщенный сорбент; OC – отрегенированный сорбент

Таким образом, выгружаемый сорбент отмыт от кислоты, которая поступает на десорбцию, уменьшая расход кислоты на нее.

Во втором случае в верхнюю часть, (десорбер б) подается маточник сорбции и серная кислота, которые, смешиваясь в смесителе, образуют раствор для отмытки (регенерации) сорбента от азотной кислоты. Отмывочный раствор, содержащий азотную кислоту, двигаясь вниз, поступает в зону десорбции сорбента, снижая расход азотной кислоты на десорбцию.

Азотно-кислая регенерация имеет ряд преимуществ:

- 1) низкую концентрацию серной кислоты в десорбирующем растворе и соответственно в десорбате;
- 2) азотная кислота увеличивает скорость регенерации в 1,5 раза, соответственно увеличивается производительность колонны СДК;
- 3) присутствие в десорбирующем растворе нитрат-иона снижает скорость накопления в сорбенте кремниевой кислоты;
- 4) увеличивается коэффициент распределения урана на экстракции;
- 5) нитрат-ион играет роль пассивирующего агента в процессе десорбции и при дальнейшей переработке десорбатов;
- 6) при высоком содержании урана в десорбатах относительное содержание примесей будет снижено, что благоприятно скажется на качестве готовой продукции.

Аппарат работает непрерывно-периодически, когда цикл фильтрации растворов через неподвижный слой сорбента чередуется с кратковременным циклом движения сорбента, осуществляемым по всему аппарату одновременно. Частота перемещений сорбента 5-10 в час, суммарное время циклов движения сорбента составляет 10-15 % общего времени работы аппарата. Режим движения сорбента поршневой, без нарушения плотности и сплошности слоя. Способ движения гидравлический. Работа аппарата полностью автоматизирована.

Управление работой аппарата осуществляется при помощи автоматических клапанов, порядок работы которых определяется программными реле времени. Схема обвязки и управления работой СДК приведена на рис. 4, а порядок работы клапанов (циклограмма) на рис. 5.

В начале цикла движения сорбента закрываются клапаны 1,2 подачи и вывода раствора на донасыщение, клапан сброса сжатого воздуха 4 и 7 слива сорбента из разгрузочного бункера, открывается клапан 6 выгрузки сорбента, колонна готова к движению сорбента.

В пульскамеру колонны 10, расположенную под загрузочным бункером в верхней части зоны сорбции (сорбер), подается сжатый воздух, который передвигает раствор и сорбент, которые через клапан 6 поступают в разгрузочный бункер 11. Количество разгружаемого сорбента фиксируется дренажной решеткой бункера (при закрытом клапане 7).

Передвижение сорбента заканчивается при закрывании разгрузочного клапана 6. В этот момент (или несколько ранее) открывается клапан сдувки 4, происходит сброс избыточного давления в пульскамере 10.

Загрузка насыщенного сорбента на освободившееся в сорбере место производится открытием загрузочного клапана 5. Для ускорения загрузки производится частичный сброс раствора из нижней части сорбера через клапан 8.

Одновременно с загрузкой открывается клапан вывода маточника донасыщения 2 и слива отрегенированного сорбента 7, происходит освобождение разгрузочного бункера.

При заполнении свободного места сорбентом клапан 5 закрывается, колонна готова к циклу фильтрации. Клапан 1 открывается, начинается цикл фильтрации.

Подача сжатого воздуха в пневмоцилиндры запорных клапанов колонны происходит через электропневматические клапаны 9 (ЭПК), управляющий электрический сигнал на которые поступает от командоаппарата. Электрическая схема командоаппарата собрана на основе электромеханических программных реле времени (например, типа РС-10), которые задают порядок и длительность работы запорных клапанов (через ЭПК). Каждый из пневмоцилиндров управляется двумя ЭПК, один из которых нормально открыт (н/о), а второй нормально закрыт (н/з).

Длительность цикла движения сорбента определяется в основном быстродействием клапанов. В этом случае наилучшими являются вентили с приводом от пневмоцилиндров. Однако допускается замена пневмоцилиндров на МИМ (мембранный исполнительный механизм¹¹), при этом цикл движения сорбента увеличивается, а КПД колонны (отношение времени фильтрации к общему времени работы колонны) уменьшается.

Клапан подачи сжатого воздуха, достаточное время работы которого исчисляется секундами, целесообразно выполнять с электромагнитным приводом.

¹ Для работы МИМа требуется один ЭПК.

КОМАНДОАППАРАТ

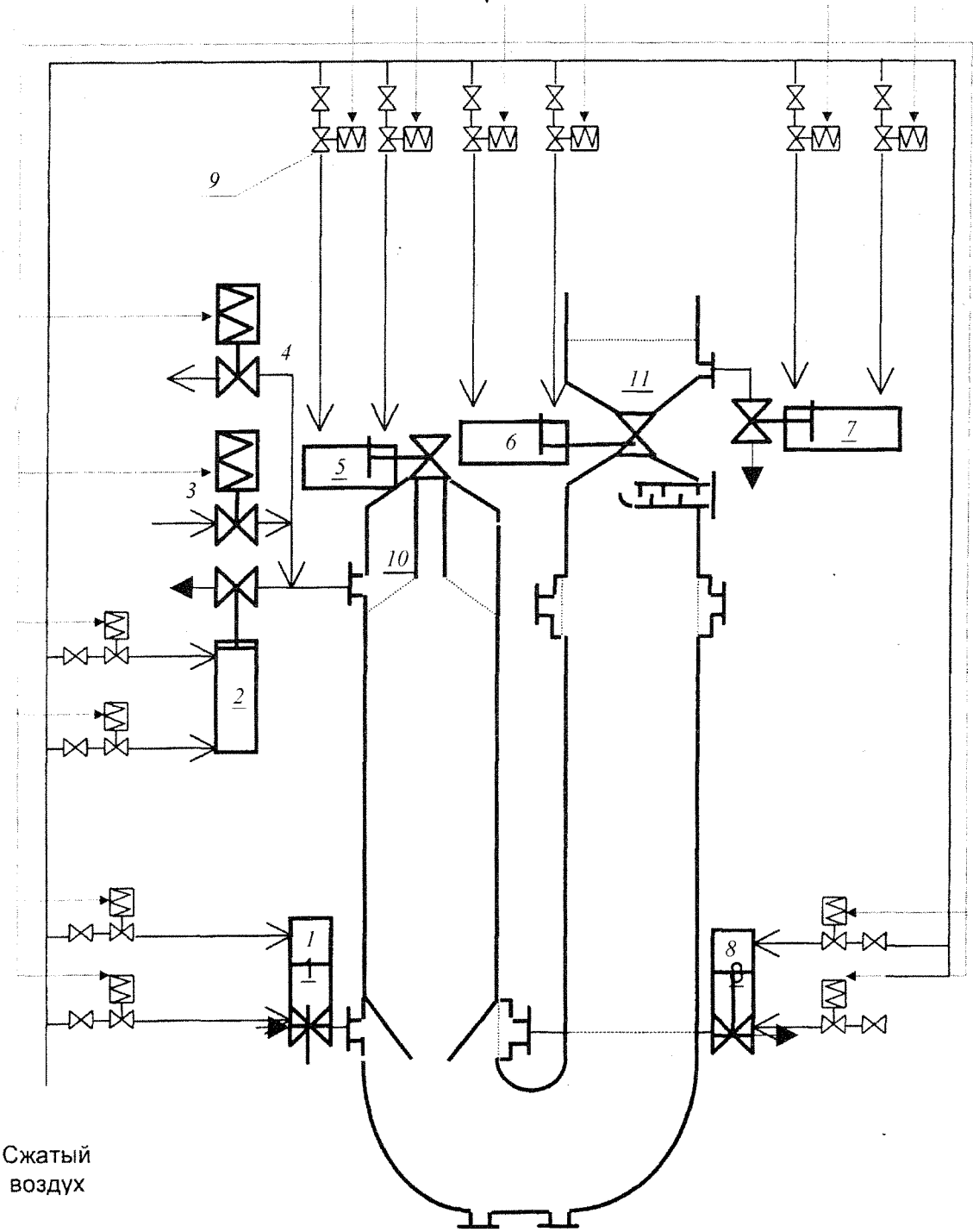


Рис. 4. Схема управления работой СДК

3. Основные неисправности в работе колонны и методы их устранения

Основные нарушения в работе колонны связаны с циклом движения сорбента и вызываются нарушением работы клапанов (запорных или ЭПК) или командоаппарата – нарушением порядка работы клапанов. Поэтому при нарушении работы колонны в первую очередь проверяется работа соответствующего клапана, при необходимости всей цепи: запорный клапан – ЭПК – командоаппарат (соответствующее реле времени). При отсутствии сжатого воздуха в системе необходимо отключить командоаппарат, выключить насосы-дозаторы (подача кислоты и маточника сорбции) и перекрыть трубопроводы подачи продуктивного раствора на донасыщение и вывода товарного десорбата.

Другими технологическими нарушениями, отмеченными в процессе промышленной эксплуатации колонн СДК, являются следующие (табл. 2):

Таблица 2

Вид неисправности	Возможная причина	Способ устранения
1. Нет движения сорбента при подаче сжатого воздуха	1. Не работает разгрузочный клапан 2. Воздух в зоне сорбции - сорбере	1. Проверить работу разгрузочного клапана 2. Произвести цикл движения сорбента без его загрузки (отключить загрузочный клапан)
2. Резкое уменьшение расхода продуктивного раствора на донасыщение	1. Попадание сорбента в трубопровод из-за нарушения работы клапана или обратного клапана	1. Произвести цикл движения сорбента без его загрузки (отключить загрузочный клапан). Проверить работу запорной арматуры
3. Увеличение концентрации урана в маточнике донасыщения	1. Нарушение подачи продуктивного раствора на до-насыщение 2. Недостаточное движение сорбента	1. Восстановить подачу раствора 2. Проверить разгрузку сорбента в цикле его движения
4. Уменьшение концентрации урана в товарном десорбате	1. Повышенный вывод товарного десорбата 2. Нарушена подача кислоты и (или) маточника сорбции на отмывку. Недостаточное движение сорбента 3. Недостаточное движение сорбента	1. Проверить расход, при необходимости уменьшить вывод товарного десорбата 2. Проверить работу (подачу раствора) насосами-дозаторами 3. Проверить разгрузку сорбента в цикле его движения

4. Меры безопасности при обслуживании колонны

Технология десорбционного концентрирования не содержит элементов опасности, отличающихся от существующих на предприятиях гидromеталлургии, использующих сорбционные процессы, в частности на технологических участках ПВ. При выполнении правил ведения технологического процесса гарантируется безопасность труда.

К работе с колонной допускается персонал, прошедший обучение на рабочем месте, знающий "Техническое описание и инструкцию по эксплуатации сорбционно-десорбционной колонны (СДК)", прошедший обучение по технике безопасности с обязательной сдачей соответствующих экзаменов.

При работе колонны обслуживающий персонал должен соблюдать обычные правила безопасности при обслуживании технологического оборудования на производственных участках ПВ.

Основными опасными производственными факторами являются:

- химические ожоги серной и азотной кислотой;
- поражение электрическим током;
- травмы при обслуживании механизмов с движущимися частями. Запрещается самостоятельное устранение неисправностей, связанных с автоматической работой СДК. При нарушении работы колонны следует выключить командоаппарат и сообщить ИТР о замеченной неисправности. При длительной остановке колонны (более 15 мин.) следует выключить насосы-дозаторы (подача кислоты и маточника сорбции) и перекрыть трубопроводы подачи продуктивного раствора на донасыщение и вывод товарного десорбата.

УДК 550.4.546.26

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗОЛОТА ИЗ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ РУД

Р.С. Романов, У.З. Шарафутдинов, У.М. Базаров

Навоийский горно-металлургический комбинат

Изучена возможность применения углистых золотосодержащих руд в процессе сорбционного цианирования. Предложено два способа: 1) предварительное цианирование (сорбенты вводят в пульпу одновременно с цианидом или после кратковременного интенсивного перемешивание); 2) подача депрессора – дизтоплива в процесс измельчения руды или непосредственно в процесс сорбционного цианирования.

Наличие значительных запасов рядовых и бедных углеродистых руд (углеродистые сланцы, достигающие 91%) на месторождениях Мурунтау, Бессапантау и др. является одним из серьезных факторов, сдерживающих рост объемов производства драгоценных металлов [1]. Обеспечение приемлемых показателей извлечения золота в данном случае достигается за счет специальных технологических приемов, целью которых является снижение до минимума активности углистых веществ в гидрометаллургическом цикле.

Современная технология переработки упорных руд базируется, в основном, на сохранении цианистого процесса как основного метода получения конечной товарной продукции. Через стадию цианирования в настоящее время проходит более 90 % добываемого в мире золоторудного сырья, а именно, на этой стадии формируются основные технологические и экономические показатели переработки руды в целом.

Углистые вещества имеют сложный солевой состав – углерод часто присутствует в них в двух видах: элементарный, физически сорбирующий золотоцианистый комплекс и в составе органических продуктов, образующих с золотом прочные металлоорганические соединения. В связи с этим при изучении вещественного состава руд очень важно определить характер углистых веществ и их адсорбционную способность по отношению к золоту [2].

Для снижения потерь золота при цианировании углеродсодержащих руд предложено много способов подавления сорбционной активности депрессорами (керосин, мазут, нефть, скипидар, минеральные масла, краситель). Изучены различные окислительные системы, включая озон, хлор, гипохлорит натрия, перманганаты, перхлораты и кислород. Используются комбинированные технологические схемы (биообработка-цианирование, флотация-цианирование). Применяются радикальные