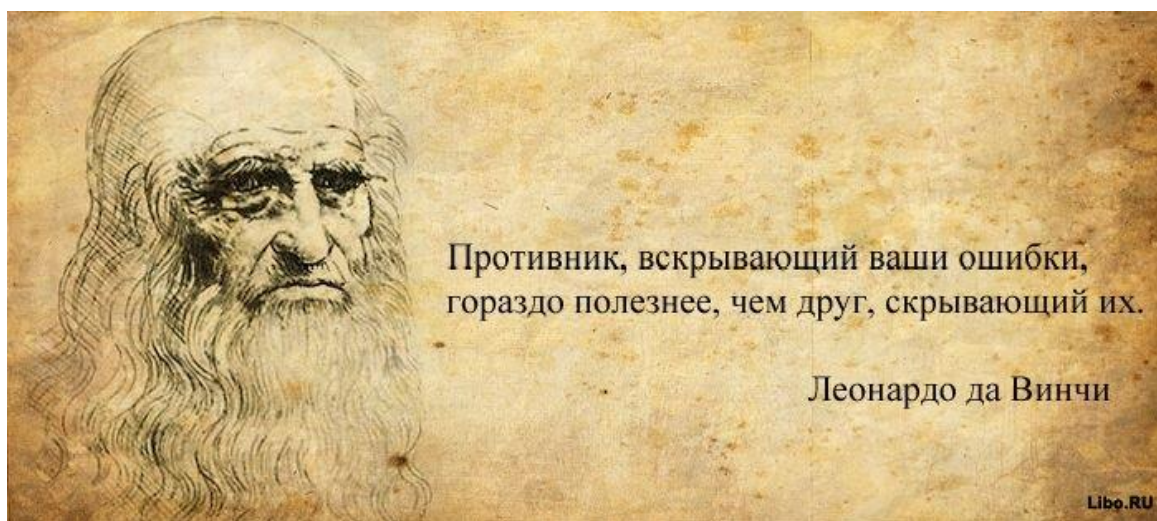


СЕКРЕТНЫЙ ВЫХОД. Вместо заключения.

Нет ничего опаснее, как воображение прохвоста... Однажды возбужденное, оно сбрасывает с себя всякое иго действительности и начинает рисовать своему обладателю предприятия самые грандиозные. Погасить солнце, провертеть в земле дыру, через которую можно было бы наблюдать за тем, что делается в аду, - вот единственные цели, которые истинный прохвост признает достойными своих усилий. М.Е. Салтыков-Щедрин.



Пусть не сразу, пусть черепашьими темпами, но разработчики SOP-технологии с заявкой на “впервыевмире” начинают признавать тот факт, что законы химии нельзя обойти только потому, что так хочется “голландскому” олигарху, господину Марксу из K-Utec или послушному окружению белорусских профессоров.

Первоначально запланированный выход товарного продукта, равный 98% (истинная Нобелевская премия!), потихоньку усок до 75%, если принять во внимание, что 1 млн т сульфата калия планируют получать из 6 млн т смешанной руды состава, % мас.: карналлит – 42,7; каинит – 23,3, кизерит – 4,8; галит – 29,3. Но даже 75% это очень серьезная заявка для такого проблемного сырья, учитывая многоступенчатую технологию его обогащения и переработки и неизбежные потери ценных компонентов на каждой стадии производства. И солнечные пруды в Калининградской области по щучьему веле-

нию не появятся, чтобы угодить дорогим профессорам и “голландскому” инвестору.

Участок Нивенский-2, судя по всему, глубоко разочаровал и самого “голландца”, и тех, кто безо всяких оснований рекламировал “крупнейшее в мире месторождение”. В итоге вышло скромненько – Нивенское-1 с запасами менее 45 млн K_2O и явным дефицитом сульфатов. Минералогический состав руд оказался далеко не лучшим (таблица), хотя с формальной точки зрения SOP-стехиометрию из них можно вытянуть. Другой вопрос, надолго ли этого хватит и готовы ли международные эксперты учитывать запасы категории C_2 при экспертизе ТЭО проекта.

Таблица. Минеральные запасы участка Нивенский-1

Запасы		Содержание минералов в рудах, % масс.			
Категория запасов и объём K_2O , млн т		карналлит	каинит	кизерит	галит
C_1	26,8	55,1	21,6	следы	~ 22-23
C_2	17,7	28,6	21,2	4,7	~ 44-45

Запасы участка Нивенский-1 соответствуют содержанию 72 млн т сульфата калия, который еще нужно получить на фабриках. Заявленный коэффициент извлечения руды 50% (или 36 млн т SOP) также можно отнести к категории “впервыевмире”, поскольку ни один действующий производитель калийных удобрений, добывающий сырьё в шахтах, сегодня такой цифрой похвастаться не может – 40-45% считается большим успехом. Разве что “голландец” уповает на серьёзные закладочные работы с использованием твердеющих цементных составов, что неизбежно скажется на себестоимости готовой продукции.

Но есть проблемы, которые цементными опорами не подопрёшь. Речь идёт о диаграммах состояния солевых систем. Суть таких диаграмм определяется природой солей, их растворимостью, способностью к образованию двойных или тройных соединений и не зависит от чьих-либо желаний. В нашем случае диаграммы состояния солевых систем имеют прямое отношение к синтезу и выходу SOP. Их нельзя отменить приказами, увольнением несогласных или задобрить денежными премиями. Каждая точка на такой диаграмме это своеобразная константа, постоянная величина, характеризующая равновесное состояние реакционной системы в конкретных условиях.

Ниже в качестве примера приведена диаграмма состояния солевой системы K_2SO_4 - $MgSO_4$ - H_2O <http://www.phasediagram.dk/ternary/ternary3.htm>. Она необходима учёным и технологам, если в качестве исходного сырья при получении сульфата калия используются, например, полигалитовые руды.

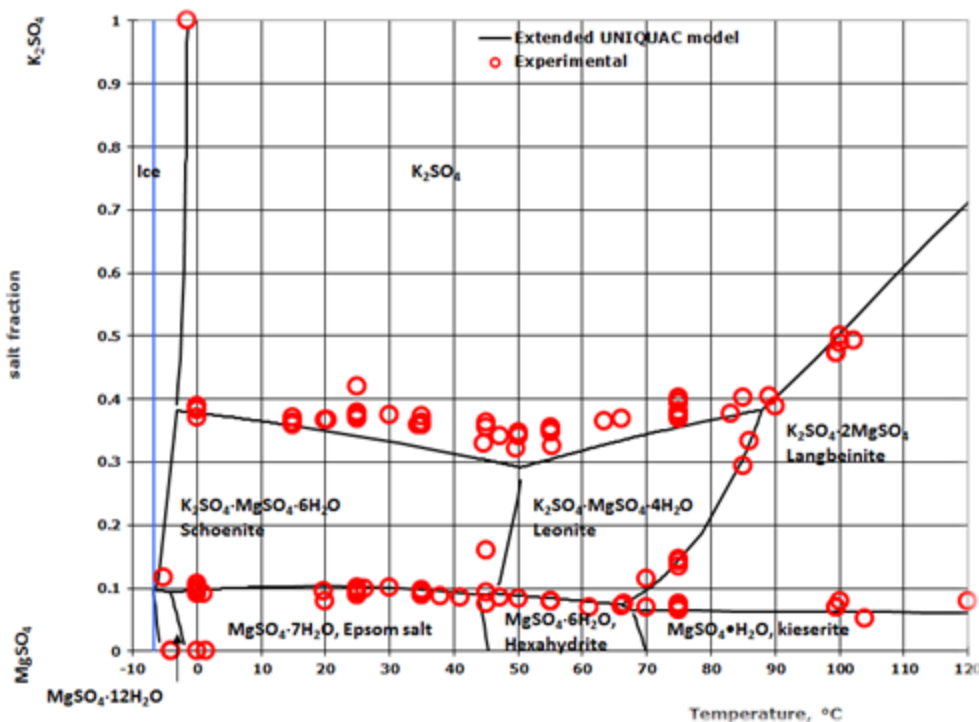


Диаграмма состояния системы K_2SO_4 - $MgSO_4$ - H_2O .

Отметка 0,5 на оси мольных отношений (вертикальная ось) соответствует стехиометрии шенита $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$. Это соединение при получении SOP одновременно является и промежуточным продуктом, и прекурсором.

Точка минимума на пересечении отметок 0,29 и 50°C соответствует оптимальным условиям синтеза сульфата калия из шенита. Данные, представленные на диаграмме, показывают, что за один технологический цикл разложения двойной соли $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ (инконгруэнтное растворение, протекающее с изменением химического состава исходного соединения) из неё можно выделить не более 42% сульфата калия в виде новой кристаллической фазы. При контакте шенита с водой, взятой в ограниченном количестве, K_2SO_4 выпадает в осадок за счёт более низкой растворимости по сравнению с другими компонентами солевой системы.

Экспериментальные точки отклоняются от расчётных значений, в результате реальный выход SOP не превышает 36-38%. Остальные компоненты солевой системы, включая значительную часть сульфата калия, остаются в равновесном растворе. Гонять его по кругу не имеет смысла – ничего не изменится. Потому отработанный щелок выводится из реакционной системы и поступает на переработку. В кристаллизаторах из него осаждают большую часть шенита и направляют на повторное разложение. Это позволяет увеличить выход товарного продукта на стадии галургии до 82-85%, хотя требует значительного расхода энергии. Высокому итоговому выходу SOP нужных кондиций благоприятствует также отсутствие хлоридов в таких солевых системах. Но почему всего 82-85%, а не 95% или 98%? Потому что любое ископаемое сырьё содержит массу посторонних примесей. Удалять их сложно, дорого или невозможно. Они накапливаются в оборотных щелоках и отрицательно сказываются на отлаженном технологическом процессе, а галургия дама капризная. Перерабатывать жидкие отходы нерентабельно и их сбрасывают – в реку, в море, в подземный коллектор.

Выход SOP из шенита на стадии его разложения можно увеличить, если реакционную систему ввести избыток сульфата магния. Но это ведёт к дополнительным затратам и потерям, к тому же не всегда возможно в реальных условиях. В любом случае производители выбирают подходящий вариант, исходя из конкретных условий.

Сырьём для большинства современных производителей SOP, использующих технологию галургии, служат хлорид калия и сульфат магния, не важно, идёт ли речь об озёрных рассолах или руде, добытой в шахте. Эта солевая система давно подробно описана, а её возможности просчитаны вдоль и поперёк. Недоверчивые могут еще раз обратиться к статье Study of Sylvite Transformation into Arcanite at 25°C (World J. Agric. Sci., 2008, 4(3), 390-397). Но едва ли найдутся желающие опровергать эти данные.

Как уже не раз упоминалось, в химии принято отражать суммарный процесс кратким итоговым уравнением, которое в нашем случае выглядит так:



С формальной точки зрения нивенский купаж (стехиометрическая смесь карналлита с каинитом, отношение K:SO₄ составляет 2:1) как нельзя лучше соответствует описанному процессу (уравнение 1). Однако есть две серьёзных проблемы. Первая – высокое содержание хлорида магния в исходной солевой смеси. Вторая – невозможность использовать при получении SOP технологическую схему, обеспечивающую максимальный выход целевого продукта.

Высокое содержание хлорида магния, будущего отхода производства, в нивенской руде обусловлено её минералогическим составом. Карналлит KCl·MgCl₂·6H₂O это индивидуальное химическое соединение и выделить из него хлорид калия флотацией невозможно. Там, где условия позволяют, такие пласты извлекают избирательно или проводят садку карналлита в солнечных прудах, после чего из этой двойной соли методом холодного выщелачивания в раствор извлекают хлорид магния. Хлорид калия остаётся в осадке. Но это дорогостоящая процедура, и потому предприятия, работающие на подобных ресурсах (Мёртвое море), ограничиваются извлечением только половины калия в товарный продукт.

Удаление хлорида магния из руд, идущих на получение SOP, является необходимой стадией их подготовки к дальнейшей переработке. Хлорид магния

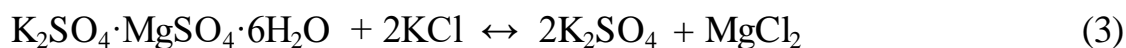
это балласт, снижающий эффективность конверсии и загрязняющий прекурсоры и конечный продукт.

Нивенские калийно-магниевые отложения представляют собой тонкие чередующиеся прослойки переменного минералогического состава, потому на холодное выщелачивание вместе с карналлитом ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) отправится и каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), что неизбежно повлечёт за собой потери сульфатной компоненты сырья. Согласно немецким источникам, рассолы выщелачивания карналлито-каинитовых руд содержат около 280-290 г/л MgCl_2 и 80 г/л MgSO_4 . Подвергать их какой-либо дальнейшей переработке экономически нецелесообразно. Применительно к нивенскому купажу состав такого отработанного рассола означает потерю ~18% сульфата магния. Предположим, что на Нивенском ГОК процесс выщелачивания хлорида магния будет проводиться при температуре ниже 10°C, потому оставим для “впервыевмире” не более 10% потерь и запомним эту цифру.

Существует две различные галургические схемы получения SOP из хлорида калия и сульфата магния (Study of Sylvite Transformation into Arcanite at 25°C, World J. Agric. Sci., 2008, 4(3), 390-397).

Первая, одностадийная схема (она соответствует уравнению 1), кажется логичной и отвечающей составу нивенского купажа – эквимольная смесь $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Однако максимально возможный выход SOP (в пересчёте на сульфаты) при такой схеме переработки не превышает 68%. На практике он еще ниже. О качестве готовой продукции, включая остаточное содержание хлора, речь пока не идёт, хотя оба показателя взаимосвязаны: выше качество – ниже выход.

Производители сульфата калия отдают предпочтение двухстадийной схеме конверсии, которая обеспечивает более высокий выход целевого продукта:



Расчётный выход SOP (по сульфату) в данном случае составляет 73,8%, на практике максимум 70%. Конечный результат двухстадийного процесса в со-

кращенной форме записи ничем не отличается от одностадийного (уравнение 1), однако это совершенно разные схемы производства.

Обратим внимание на соотношение исходных компонентов KCl и $MgSO_4$ в уравнении 2. Максимально возможному выходу шенита (теоретически около 88%, в соответствии с диаграммой состояния) отвечает мольное отношение $KCl:MgSO_4$, равное 2:2. В нивенском купаже оно составляет 2:1. Солевою систему с таким соотношением прекурсоров логичнее использовать для одностадийного синтеза SOP. И если бы для «дуэта» $KCl - MgSO_4$ существовали более результативные варианты, можно не сомневаться, что опытный и расчётливый немецкий производитель (K+S), не имеющий проблем с сырьём, такую возможность не упустил бы. Можно, конечно, попытаться обойти законы химии, но едва ли это приведёт к успеху.

Подведём итоги.

Потери сульфатов при флотационном обогащении нивенской руды могут составить до 10% и более. Это обычная практика обогатительных фабрик, работающих с таким сырьём. Чтобы претендовать на настоящее «впервые в мире», нужно иметь иной уровень научно-технического развития – рассчитывать не чужую щедрость и альтруизм глупо.

Потери сульфатов при выщелачивании хлорида магния из купажа могут составить до 10% и более даже при низких температурах.

Независимо от схемы переработки обогащенного сырья (одно- или двухстадийная), практический выход SOP из галургического процесса даже при самой благоприятной ситуации не превысит 70%.

Лучший показатель при максимальных уступках – $0,9 \times 0,9 \times 0,7 = 56,7\%$, худший без особых уступок – $0,9 \times 0,85 \times 0,65 = 49,7\%$, вот на него и надо ориентироваться, даже если истина окажется где-то посередине. Всё, что за рамками указанной цифры, может быть получено за счёт переработки рассолов, выведенных из основного технологического процесса. Теперь понятно, почему даже при наличии солнечных выпарных бассейнов выход товарного продукта из сырья, подобного нивенскому, у действующих производителей

SOP не превышает 70%. “Голландская” заявка на 75% означает, что почти треть целевого продукта по факту будет производиться из отработанных щелоков, забитых хлоридом магния и прочими нежелательными примесями. Немцы локти сгрызут от зависти к седовласым советским “пионерам”, виртуозно решившим сложнейшую техническую проблему!

Ежегодное получение 1 млн т сульфата калия из 6 млн т нивенской руды означает, что 83,3% горной массы, поднятой с глубины 1200 метров, станет отходами. Из них 2,34 млн т – твёрдый флотационный галит, 1,61 млн т – хлорид магния (в пересчёте на безводную соль) и 0,33 млн т – несостоявшийся сульфат калия. Два последних компонента окажутся в жидких отходах калийного производства. С учётом концентрации и плотности таких рассолов, их минимальный ежегодный объём составит до 5 млн м³, а общая масса отходов, твёрдых и жидких, около 9 млн т при том, что из-под земли было поднято всего лишь 5 млн т будущих отходов. Если считать совсем честно, то в отходы SOP-производства уйдёт до 90% всего, к чему прикоснулась рука “голландца”, включая воду. Такое вот “впервыевмире”.

Информация к размышлению. Немецкая компания K+S, имея ежегодный объём готовой продукции около 5 млн т, отправляет на обратную закладку 1 млн т галита. На Нивенском ГОК выпуск 1 млн т SOP из 6 млн т руды означает попутное получение 2,34 млн т флотационного галита. Обещания перерабатывать этот промышленный отход в поваренную соль не выдерживают никакой критики, полная обратная закладка – дорогущее удовольствие.

Когда представители “голландца” рассказывают неосведомлённым слушателям, что вместе с галитом они отправят назад в шахту 5 млн м³ рассолов, это лишний раз доказывает их смутное владение темой. Или сознательную попытку ввести людей в заблуждение. Отработанные щелока используются как жидкий носитель закладочного материала для придания ему текучести, а вовсе не как закладочный материал. При усадке твёрдых компонентов закладочной смеси рассол отжимается и по трубам обратно возвращается в бункер, где повторно используется для приготовления закладочной смеси. Так что профессо-

рам придётся искать бездонную бочку, чтобы сливать в неё щелока. Магнезиальные цементы, оксид и гидроксид магния из промышленного отхода да в таком количестве – еще одна сказка для наивных слушателей.

Вернёмся к запасам Нивенской впадины. На сегодняшний день в тамошнем подземелье хранится 72 млн т условного SOP. Учитывая практику действующих соляных рудников, извлечение 50% сырья без удара по рентабельности можно считать достижением в горном деле, но если “впервыевмире”... Считаем: $72 \times 0,50 \times 0,75 = 27,0$ млн т, всего лишь! При бесконечных уступках, когда каждый шаг это победа и настоящий технический прорыв! И страховочной линзы нет, если рудник внезапно затопит. При заявленной мощности комбината 1 млн т SOP, если хорошо растянуть период разгона и торможения производства, имеющихся запасов хватит в лучшем случае на 30-32 года. Вот откуда взялась эта заветная цифра в документах учёных субподрядчиков! А если без поблажек, опустив “пионеров” на грешную землю, учитывая сегодняшнюю по-настоящему передовую реальность, то $72 \times 0,4 \times 0,7 = 20,2$ млн т, максимум 24 года работы. И вера, что запасы чудесным образом вырастут.

Строимся? Впрочем, в случае провала (убытков) “голландец” может попросить помощь у государства. И оно обязательно поможет. В том числе, из кошельков российских баб, которые полощут в ледяной воде пелёнки и рубашки будущих работяг и солдатиков, задача которых приумножать и защищать богатства олигархов.

Можно объявить “лаборантами” всех неудобных оппонентов. Только объективная реальность от этого не станет послушной.

Автор: Наталья Шульга.

P.S. Напоминаю профессорам, что у бывшей “лаборантки”, автора этой статьи, полноценное университетское образование, учёная степень по специальности «физическая химия» и огромный опыт самостоятельной работы без указующего начальственного перста. Впрочем, в сегодняшней белорусской “научной” модели всё это считается серьёзным недостатком – требуются послушные “активаторы”.

