

**Перспективные подходы к перепрофилированию объектов  
по уничтожению химического оружия.  
Реагентные технологии извлечения мышьяка  
из мышьяксодержащих реакционных масс и отходов**

© 2010. В.Н. Чупис, д.ф.-м.н., директор,  
О.Ю. Растегаев, к.х.н., начальник отдела, А.О. Малишевский, с.н.с.,  
Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии,  
e-mail: vit@sar-ecoinst.org

В работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с концепцией перепрофилирования объектов по уничтожению химического оружия как высокотехнологичных промышленных объектов. Рассмотрены технологические аспекты переработки массовых мышьяксодержащих продуктов и отходов в востребованную продукцию.

The article considers the problems connected with the conception of reorganizing chemical weapons decommission plants as high technology objects. Technological aspects of converting Arsenic-containing substances and wastes into products in demand are shown.

Ключевые слова: перепрофилирование объектов, реагентные технологии,  
мышьяксодержащие реакционные массы

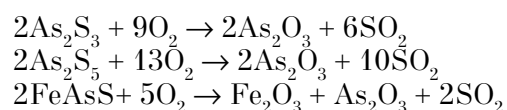
Key words: plants' reorganization, reagent technologies,  
arsenic-containing reaction masses

Одна из главных особенностей промышленных объектов по уничтожению химического оружия заключается в наличии многоуровневых систем обеспечения промышленной и технологической безопасности, развитой и современной инфраструктуры. Основное назначение данных объектов, которое должно определять стратегию их перепрофилирования, состоит в наличии условий, обеспечивающих возможность работы с опасными веществами и соединениями. Основные подходы к использованию производственного потенциала объектов рассмотрены на примере объекта по уничтожению химического оружия «Горный» Саратовской области.

К настоящему моменту после завершения процесса уничтожения запасов люизита в Российской Федерации на объекте УХО «Горный» Саратовской области размещены два вида мышьяксодержащих продуктов – реакционные массы (РМ) от уничтожения люизита, хранившегося на объекте УХО «Горный», и арсенит натрия гидролизный (АНГ), полученный при уничтожении люизита на объекте УХО «Камбарка» Удмуртской республики. Технично-экономический анализ различных технологических схем переработ-

ки мышьяксодержащих ресурсов показывает, что до 70% материальных затрат расходуется на обеспечение экологической безопасности процесса [1]. С целью успешного завершения процесса уничтожения люизита в целом необходимо решить главную задачу: экологически безопасного и наиболее полного извлечения мышьяка из РМ и АНГ с получением технически значимой продукции.

Анализ рынка мышьяка [2] показывает, что такой технически значимой продукцией является оксид мышьяка (III) и элементный (или металлический) мышьяк. Основным природным источником мышьяка служат медные, никелевые и в меньшей степени кобальтовые руды, включающие сульфиды мышьяка [1]. Главной технологической схемой получения мышьяксодержащих продуктов является окислительный или окислительно-восстановительный обжиг полиметаллических руд с последующим охлаждением паров и улавливанием оксида мышьяка (III) в конденсаторах и пылеосадительных камерах.



Полученный оксид мышьяка далее перерабатывается в различные продукты: в металлический мышьяк восстановительным обжигом с углем, в мышьяковую кислоту окислением азотной кислотой, в арсениты натрия и кальция при взаимодействии с водными гидроксидами натрия и кальция, в «парижскую зелень» последовательной обработкой содой, уксусной кислотой и сульфатом меди.

Существенно меньшее значение как источник мышьяка имеет арсенопиритный концентрат, при высокотемпературном диссоциирующем обжиге которого получают элементный мышьяк [1].



Мышьяксодержащие продукты, полученные при уничтожении люизита – РМ и АНГ, представляют собой смесь арсенита и хлорида натрия [3]. Особенностью РМ и АНГ является наличие примесей, оказывающих существенное влияние на процессы дальнейшей реагентной обработки с целью выделения целевых продуктов, а именно: наличие соединений мышьяка (V), свободной натриевой щелочи, нерастворимых в воде примесей, окрашивающих примесей органической природы, сернистых соединений железа, меди. Следовательно, размещенные на объекте «Горный» Саратовской области мышьяксодержащие продукты существенно отличаются от сырья, используемого в горно-рудной промышленности для получения оксида мышьяка и элементного мышьяка. Поэтому необходимо было разработать принципиально новые отличные от применявшихся ранее технологии переработки РМ и АНГ.

Авторами данной работы предложен ряд способов и технологических схем переработки РМ и АНГ. Переработка РМ в арсенат натрия осуществляется при её нагревании водным раствором перекисью водорода с последующим упариванием до содержания арсенат-иона в реакционной смеси 120 г/кг, охлаждением раствора при  $\text{pH} > 13$  до начала кристаллизации арсената натрия и отделением последнего фильтрованием [4].

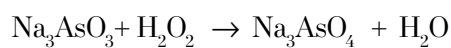
К достоинствам этого способа можно отнести простоту аппаратного оформления процесса, дешевизну и доступность используемых реагентов, возможность получения коммерческого продукта – арсената натрия. Вместе с тем данный способ имеет существенные недостатки: взрывоопасность при работе с перекисью водорода при нагревании, по-

лучение мышьяксодержащих сточных вод после стадии фильтрования, ограничения применения арсената натрия в народном хозяйстве, отсутствие технических решений по удалению загрязненного хлорида натрия и других примесей.

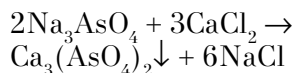
Разновидностью способа переработки РМ, связанного с получением арсенатов, является рассмотренное в работе [5] технологическое решение.

Данный способ переработки РМ заключается в выделении металлического мышьяка путём окисления арсенита натрия в арсенат натрия перекисью водорода при нагревании с последующим осаждением хлоридом кальция в форме труднорастворимых арсената и гидроарсенатов кальция. Полученный осадок арсенатов кальция может или применяться самостоятельно, или подвергаться дальнейшей переработке в металлический мышьяк путём нагревания с фосфористой кислотой в среде избытка фосфорной кислоты.

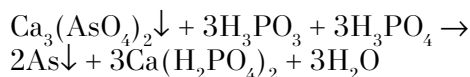
На первой стадии содержащийся в водном растворе арсенит натрия окисляют до арсената 30% перекисью водорода при температуре 60 °С:



На второй стадии арсенат натрия осаждают в виде арсената кальция добавлением 1,5-2 мольного избытка хлорида кальция при температуре 100 °С, а затем осадок арсената кальция отделяют фильтрованием:



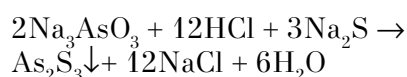
На третьей стадии проводят восстановление арсената кальция до элементного мышьяка фосфористой кислотой, взятой в количестве 150% от арсената кальция реакцию проводят в присутствии фосфорной кислоты (в количестве 400% от арсената кальция) при температуре 80-150 °С.



К недостаткам способа относится возможность образования высокотоксичных и взрывоопасных соединений – арсина и фосфина на стадии получения мышьяка; трудность регулирования температуры в заданном интервале на стадии окисления арсенита натрия пероксидом водорода (реакция экзотермиче-

ская) и возможность разложения последнего; образование отхода – фосфата кальция, загрязнённого мышьяком, большие количества токсичного отхода мышьяксодержащей смеси кислот фосфора, образование отходов солей фосфата кальция и хлорида натрия, загрязнённых мышьяком и кислотами, а также кислых сточных вод, образующихся при фильтровании и промывке промежуточных и целевых продуктов.

Возможна переработка РМ в сульфид мышьяка под действием раствора соляной кислоты и сульфида натрия при рН 1–4 среды, температурах 15–50 °С и времени перемешивания 10–60 мин. [6].



Недостатком рассмотренного способа является получение продукта – сульфида мышьяка, который не используется в прямом назначении в народном хозяйстве и должен впоследствии дополнительными химическими процессами быть переведен в другие промышленно полезные соединения, например оксид мышьяка (III), а также образование сульфидных кислых стоков, требующих очистки.

Кроме реагентных способов извлечения мышьяка разработан электрохимический способ переработки РМ с получением элементарного мышьяка [7]. Электролиз РМ имеет ряд недостатков: энергоёмкость, сложность технического оформления процесса электролиза из-за образования высокотоксичных и взрывоопасных соединений (арсина, хлора, водорода), низкая производительность.

Как отмечалось выше, наиболее широко используемым мышьяксодержащим продуктом в народном хозяйстве является оксид мышьяка (III), ежегодная потребность в котором на отечественном и мировом рынках высока и с каждым годом растёт.

В плане реализации указанного подхода был разработан способ переработки АНГ [8–10], который направлен на получение технического оксида мышьяка (III).

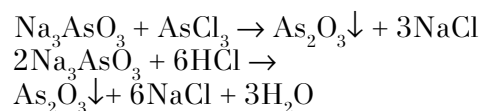
В этом способе АНГ растворяется в водном растворе соляной кислоты до создания рН системы равной 8,0÷9,0 единиц. После установления состояния равновесия производят фильтрование системы с получением первого фильтрата и осадка «нерастворимых в воде веществ» и хлорида натрия.

Полученный осадок «нерастворимых в воде веществ» и хлорида натрия последова-

тельно промывается тремя порциями 20% раствора хлорида натрия, первая из которых соединяется с первым фильтратом, а две других направляются в начало процесса на растворение АНГ, формируя принцип замкнутого цикла по токсичным реагентам. Таким образом получают второй объединённый фильтрат и основной первый осадок хлорида натрия.

Второй объединённый фильтрат подвергается обработке 20% раствором хлорида лития, переводящим соединения мышьяка (V) в малорастворимую форму – арсенат лития. Отделённый осадок арсената лития растворяется в крепкой соляной кислоте, и образующаяся мышьяковая кислота восстанавливается в трихлорид мышьяка комбинированным составом восстановителей – йодидом натрия и солянокислым гидразином.

Фильтрат после отделения арсената лития ( $\text{Li}_3\text{AsO}_4$ ) направляется на упаривание с получением системы, содержащей раствор арсенита натрия в концентрации 25,0÷30,0 масс.% и второй осадок хлорида натрия. Второй осадок хлорида натрия соединяется с основным первым осадком хлорида натрия, полученным при растворении АНГ в растворе соляной кислоты, а фильтрат подвергается нейтрализации растворами трихлорида мышьяка и соляной кислоты по реакциям:



Осадок оксида мышьяка отделяется от оставшегося фильтрата, который направляется в начало процесса на растворение АНГ, промывается холодной водой с последующей очисткой от окклюдированного хлорида натрия методом репульпирования. Описанный подход позволяет получать товарные продукты марки «технический» и «рафинированный 2 сорт».

Объединённые первый и второй осадки хлорида натрия отмываются от адсорбированных соединений мышьяка и растворяются в воде с получением 20% раствора хлорида натрия. Данный раствор последовательно подвергается процессу очистки от соединений мышьяка химическими и адсорбционными методами.

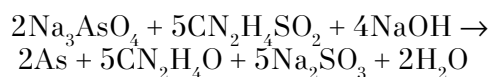
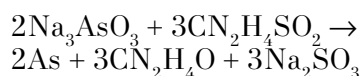
Фильтрат после отделения арсената железа ( $\text{FeAsO}_4$ ) направляется на адсорбционную очистку и далее на процесс вакуумной выпарки и сушки образующейся суспензии. Получаемый технический хлорид натрия содержит до 96 масс.% основного вещества.

Описанный способ переработки АНГ обладает следующими достоинствами: простотой технологического оформления процесса, реализуемого на основе стандартного химического оборудования; мягкими условиями проведения процесса; удовлетворительными экологическими показателями при реализации принципа замкнутого цикла по токсичным реагентам, использованием доступных и дешёвых химических реагентов.

В плане расширения технологических возможностей по переработке АНГ, РМ в технически значимые продукты и повышения экологической обеспеченности производства в ФГУ ГосНИИЭНП была разработана новая технологическая схема извлечения мышьяка из щелочных растворов в виде элементного мышьяка с использованием реакции [11], ранее для этих целей не применявшейся.

В качестве восстановителя используют диоксид тиомочевины (формаимидинсульфиновую кислоту), процесс проводят при температуре 20–110 °С в щелочной среде, в качестве мышьяксодержащих соединений используют оксиды, соли мышьяка (III) и (V) или их смеси, при этом перед восстановлением исходные соединения обрабатывают щелочью до рН не менее 8.

Использование диоксида тиомочевины позволяет восстанавливать как соли мышьяка (III), так и соли мышьяка (V). Процесс описывается уравнениями:



Проведение процесса в щелочной среде позволяет практически исключить загрязнение целевого продукта силикатами и рядом тяжёлых металлов, образующих малорастворимые в щелочной среде гидроксиды. В результате реакции образуются малотоксичные продукты: мочевина, сульфит натрия, при этом очистка сточных вод от указанных загрязнителей проводится стандартными мало затратными методами.

Технологическая схема, представленная на рис. 1, реализуется следующим образом: на первой стадии проводится растворение АНГ в воде при перемешивании и последующем фильтровании, которое позволяет отделить на фильтре нерастворённые примеси солей и гидроксидов металлов. Фильтрат идёт на

последующую основную операцию – восстановление соединений мышьяка в элементный мышьяк. Операция проводится путем прибавления к фильтрату, полученному на предыдущей стадии, твёрдого порошкообразного восстановителя при перемешивании и комнатной температуре, операцию можно проводить при нагревании для ускорения процесса. Полнота осаждения составляет не менее 80–85% в зависимости от условий осаждения и состава исходного продукта. После созревания осадка проводится его отмывка от продуктов реакции с проведением технологического контроля по основным примесным компонентам (восстанавливающие вещества, щёлочь, хлориды). С целью более полного извлечения мышьяка основной фильтрат и первые две промывки направляются на доосаждение.

Следующая технологическая операция – сушка мышьяка проводится в вакууме до влажности не более 1%.

Важной эколого-технологической задачей после выделения основного количества мышьяка является извлечение остаточных количеств мышьяка. Наиболее проверенным и часто применяемым способом является удаление остаточных количеств мышьяка в виде арсената железа, поэтому сначала проводится обработка хлорной известью, и содержащиеся в сточных водах мышьяк и сульфиты окисляются до арсенатов и сульфатов с последующим удалением в виде кальциевых солей. Далее фильтрат обрабатывается сульфатом трехвалентного железа для удаления мышьяка в виде арсената железа и остаточных количеств кальция в виде сульфатов. Осадок арсената железа направляется на захоронение. Затем раствор направляется на сорбционную очистку (сорбент ГКЖ-35) для окончательного удаления солей мышьяка до содержания менее санитарно-гигиенических нормативов. После сорбционной очистки, проводится упаривание основной части раствора (60–70%) с последующим охлаждением и отделением основной массы хлоридов и сульфатов натрия, которые направляются на захоронение или вторичное использование в технических целях.

В качестве отходов предполагается образование шлама после очистки сточных вод, содержащего менее 1% мышьяка, остальное – сульфаты и хлориды натрия, и сточной воды с содержанием нормируемого количества мышьяка.

Преимуществом разработанной технологической схемы является совместное вос-

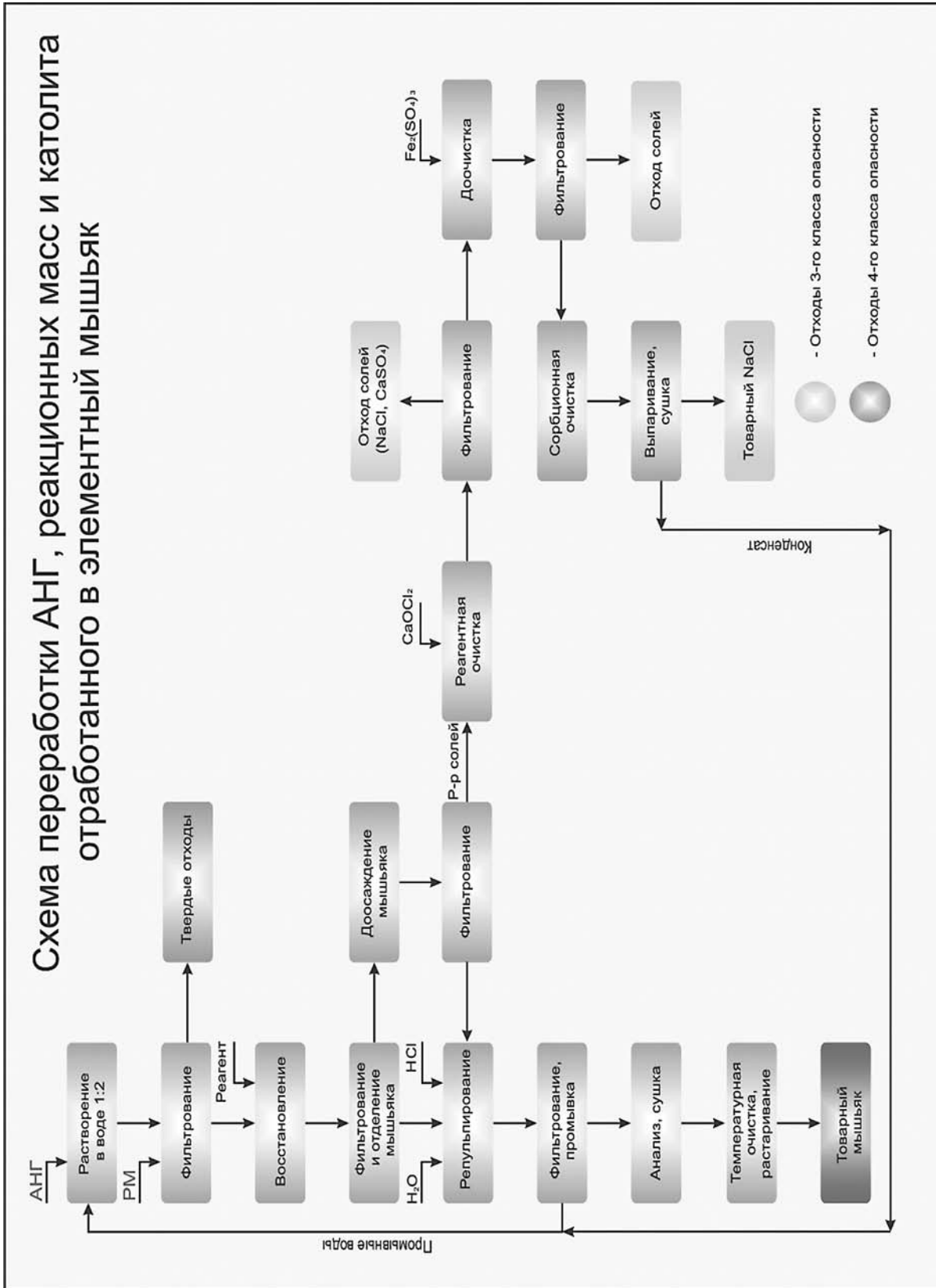


Рис. 1. Технологическая схема переработки АНГ, реакционных масс и католита, отработанного в элементный мышьяк

становление как соединений мышьяка (III), так и мышьяка (V) без перевода в одну или другую степень окисления. Восстановление в отличие от известных методов проводится в щелочной среде, в которой соединения мышьяка устойчивы и не образуют летучих и газообразных соединений, т. е. способ высоко технологичен и экологичен. Проведение процесса в щелочной среде позволяет практически исключить загрязнение целевого продукта силикатами и рядом тяжёлых металлов, образующих малорастворимые в щелочной среде гидроксиды. Восстановлению не мешают соединения металлов, стоящих в ряду напряжения до водорода.

Восстановитель является малотоксичным, который в результате процесса превращается также в малотоксичные продукты, взрывоопасные реагенты и компоненты исключены. Процесс проводится в мягких условиях.

В отличие от известных технологий в данном процессе не образуется газообразный токсичный арсин, который плохо улавливается угольным фильтром, и это требует применения специальных технологических приёмов для обеспечения безопасности (дополнительная герметизация оборудования, хемосорбционные средства, дополнительные средства сигнализации, увеличение числа персонала и др.).

Технологическая схема и её аппаратное оформление являются достаточно универсальными и позволяют видоизменить схему для получения других продуктов, например оксида мышьяка, который может быть использован для получения пестицидов, красок или при необходимости восстановлен в элементный мышьяк. Поскольку в результате осуществления стадии восстановления солей мышьяка образуется сульфит натрия, то 1-й фильтрат после стадии восстановления в элементный мышьяк может быть использован для восстановления мышьяка (V) в мышьяк (III) с целью экономии основного восстановителя и утилизации фильтрата.

Применение данной технологии позволяет получать элементный мышьяк в виде товарной продукции из различных минеральных материалов и отвалов, содержащих как трехвалентный, так и пятивалентный мышьяк. Чистота получаемого элементного мышьяка составляет не менее 95% и соответствует квалификации «технический».

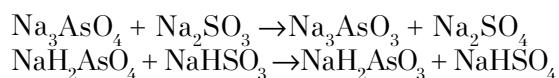
Для обеспечения экологической безопасности процесса переработки реакционных масс, образующихся при детоксикации люизита, разработана модифицированная

технология получения оксида мышьяка (III) с применением дешёвых реагентов для перевода мышьяка (V) в мышьяк (III) с очисткой сточных вод путём извлечения мышьяка в виде практически полезного элементного мышьяка и исключения образования токсичных промышленных отходов 1 и 2 классов опасности.

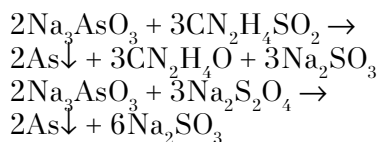
Представленная технологическая схема (рис. 2) разработана для РМ и АНГ, отличающихся повышенным содержанием мышьяка (V) более 3%, и представляет собой модифицированный вариант вышеописанных технологий.

Существующий способ переработки продуктов щелочного гидролиза люизита, включающий отделение нерастворимых в воде веществ, восстановление соединений мышьяка (V) в соединения мышьяка (III), последующее выпаривание фильтрата и осаждение из него оксида мышьяка, его очистку до необходимой степени чистоты путём репульпирования, растворения хлорида натрия в воде и очистку полученного раствора от соединений мышьяка, дополняют рядом операций.

Для повышения эффективности и упрощения реакции процесс восстановления соединений мышьяка (V) в соединения мышьяка (III) проводится путём добавления в фильтрат РМ восстановителя 1 при pH 3-4. В качестве восстановителя 1 используют сульфит, бисульфит, пиросульфит натрия, ронгалит или их смеси или технологические отработанные растворы в эквивалентных количествах. Процесс восстановления описывается уравнениями:



Процесс очистки раствора хлорида натрия осуществляют путём восстановления соединений мышьяка (III) в элементный мышьяк под действием восстановителя 2 в интервале температур 20÷100 °С. В качестве восстановителя 2 используют диоксид тиомочевины (ДТМ), дитионит (бисульфит) натрия или цинка.



В результате реализации описанного процесса получают практически важные продук-

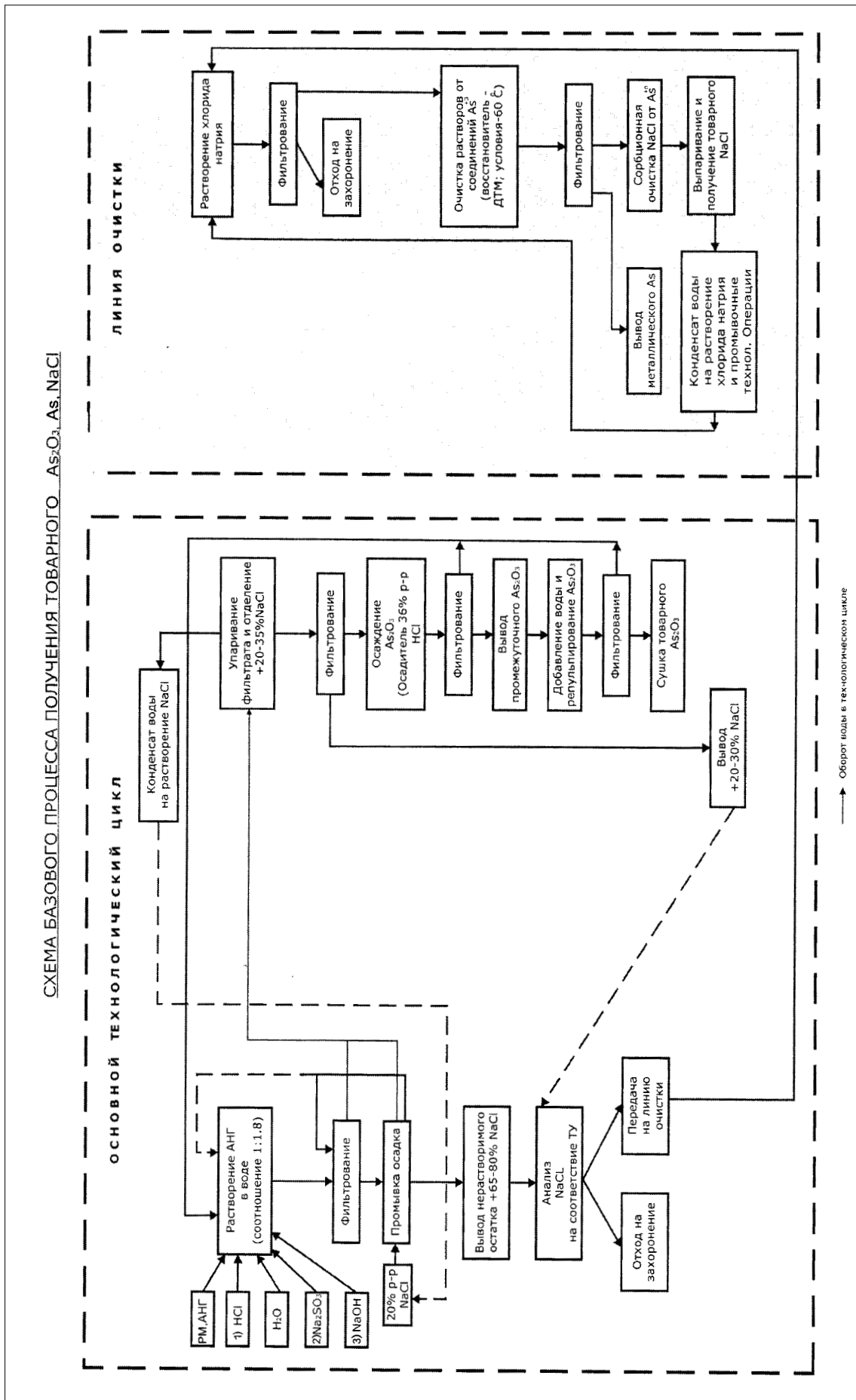


Рис. 2. Схема процесса переработки АНГ, РМ в технические продукты (оксид мышьяка (III), элементный мышьяк, хлорид натрия)

ты: оксид мышьяка (III), элементный мышьяк, хлорид натрия. Указанный способ восстановления не только позволяет достаточно полно извлечь мышьяк из раствора, но и исключить образование экологически опасных летучих соединений (арсин, водород), выделяющихся при реализации известных способов.

Важным направлением расширения технологических возможностей является дальнейшая очистка полученных выше описанными способами оксида мышьяка и элементного мышьяка до высокой степени очистки. Проведённый цикл работ [12] по получению высокочистого мышьяка и изучению его физико-химических свойств открывает реальные перспективы его практического использования.

Анализ рассмотренных выше технологий, ориентированных на переработку отходов от уничтожения химического оружия, в частности мышьяксодержащих РМ, позволяет сделать следующий вывод. Исходя из анализа имеющейся производственной базы объекта и созданных в период 2005 – 2009 гг. в рамках госзаказа технологических разработок, наиболее приемлемой и отвечающей задачам сохранения и развития объекта «Горный» как высокотехнологичного производственного объекта является концепция поэтапного его развития по двум основным направлениям.

Первое приоритетное направление заключается в организации производства конкурентоспособных высокочистых мышьяксодержащих продуктов на основе имеющейся значительной сырьевой базы (арсенит натрия гидролизный (АНГ) и реакционные массы от уничтожения люизита) и развития в перспективе производства полупроводниковых материалов и изделий для нужд электронной промышленности. Наличие собственных крупных сырьевых ресурсов и специальной инфраструктуры объекта, отвечающей задачам работы с потенциально опасными веществами и материалами, определяет основные направления перепрофилирования объекта.

Первым этапом этой работы является организация производства элементного (металлического) мышьяка высокой степени чистоты (квалификации 6N), который в настоящее время для получения полупроводниковых материалов закупается за рубежом. Естественным развитием этих технологий является создание собственного производства полупроводниковых материалов типа АЗВ5 (арсенид галлия, арсенид индия и др.) широко используемых в оптоэлектронной промышленности,

в частности для создания высокоэффективных преобразователей солнечной энергии.

Важно подчеркнуть, что в настоящее время имеются все необходимые научные и технологические предпосылки для завершения работ по технологии высокочистого мышьяка из нетрадиционного сырья – продуктов детоксикации люизита, создания промышленного оборудования в блочно-модульном варианте (производительность модуля – 2 т мышьяка марки 6N в год) и организации производства мышьяка марки 6N.

Технологические возможности объекта по нашей оценке способны полностью обеспечить потребности России в этом типе полупроводников на ближайшие 25 – 30 лет. Наряду с налаживанием производственного процесса по получению высокочистого мышьяка и перспективных полупроводниковых материалов, разработанные технологические процессы переработки АНГ позволяют наладить производство особо чистого оксида мышьяка. В настоящий период времени в России не производится рафинированный оксид мышьяка, хотя СССР производил его до 2 000 тонн/год. Производственные возможности объекта в получении данного продукта способны обеспечить потребности России в стекольной отрасли и особенно для получения специальных оптических стекол и оптоволоконной продукции. Получаемый при переработке АНГ чистый оксид мышьяка будет также применяться для организации производства по получению стандартных растворов на основе мышьяка, реактивов широкого назначения, практически полностью закупаемых в настоящее время за рубежом.

Разрабатываемые технологии переработки АНГ позволят восстановить в России получение биоцидных мышьяксодержащих красок для покрытия подводных частей судов гражданского и военного назначения. Потребность в биоцидных красках, по данным бывшего Минморфлота СССР, только для внутрирейсовых судов в 1991 году составляла более 1000 тонн/год, а вообще по всему флоту – выше на порядок.

Второе перспективное направление развития технологической базы объекта состоит в использовании разработанных при реализации первого направления технологий и установок для переработки опасных производственных отходов, содержащих ценные металлы (мышьяксодержащие отходы других производств, отходы гальваники, лигатуры цветных и чёрных металлов и др.).



Важным аспектом проблемы является то, что разработанные и проходящие опытную апробацию технологии переработки АНГ, не имеющие мировых аналогов, обладают универсальностью. На этой технологической базе, созданной в рамках госзаказа, при незначительных доработках может быть создан производственный процесс по переработке значительных запасов мышьяксодержащих отходов, запасы которых в десятки раз превосходят запасы АНГ и которые в настоящее время не перерабатываются.

В заключение кратко сформулируем концепцию поэтапного развития объекта «Горный» Саратовской области как высокотехнологичного производственного объекта по двум приоритетным направлениям.

1. Организация переработки сухих солей (АНГ) и люизитных реакционных масс в мышьяксодержащую востребованную продукцию:

- организация производства элементного (металлического) мышьяка высокой чистоты с выходом на производство полупроводниковых материалов и изделий для нужд электронной промышленности;
- организация производства сверхчистого оксида мышьяка для различных отраслей народного хозяйства;
- организация производства составов и препаратов специального назначения (стандарты, реактивы широкого назначения, биоциды и т. п.).

2. Использование разработанных при реализации первого направления технологий и установок для переработки опасных производственных отходов, содержащих ценные металлы:

- организация переработки мышьяксодержащих отходов различных производств на территории Российской Федерации в востребованную продукцию;
- организация переработки лигатур цветных и чёрных металлов;
- организация переработки отходов гальванических производств с выделением и возвратом в производство ценных металлов (хром, селен, кадмий и др.).

Очевидные преимущества предлагаемой программы перепрофилирования и дальнейшего развития технологической базы объекта заключаются в том, что к настоящему периоду в рамках государственного заказа созданы

и проходят апробацию специальные технологии и оборудование, которые могут быть использованы для решения широкого круга задач с использованием имеющейся производственной базы. Разработанные подходы и технологии могут быть тиражированы на других завершающих уничтожение ОВ промышленных объектах.

## Литература

1. Копылов Н.И., Каминский Ю.Д. Мышьяк. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2004. 213 с.
2. Металлургический бюллетень. Информационно-аналитический журнал, 21 марта 2010 г. ([http://www.metalbulletin.ru/analytics\\_articles.php?id=2830](http://www.metalbulletin.ru/analytics_articles.php?id=2830)).
3. Растегаев О.Ю., Чупис В.Н., Толоконникова Т.П., Малишевский А.О., Марьин В.И. Изучение физико-химических свойств и состава мышьяксодержащих отходов для целей экологического нормирования процесса уничтожения люизита и его двойных и тройных смесей // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 65–71.
4. Патент RU 2172196, МПК А62D3/00.
5. Патент PL357396, 2002 (Польский патент).
6. Патент RU 2099116, МПК А62D3/00.
7. Петрунин В.А., Баранов Ю.И., Кузнецов Б.А., Русанов В.М., Горский В.Г., Швыряев Б.В., Смирягина Т.Г., Сохадзе Л.А., Перевезенцев Ю.В., Гореленко С.В. Математическое моделирование процесса щелочного гидролиза люизита // Российский химический журнал. 1995. Т. 39. №. 4. С. 15–17.
8. Патент RU 2192297, МПК А62D3/00.
9. Демахин А.Г., Олискевич В.В., Сильнягин О.А., Шевченко А.В., Никифоров Г.Е. Технологические аспекты переработки реакционных масс, получаемых при детоксикации люизита, в мышьяксодержащую товарную продукцию // Российский химический журнал. 2007. Т. 51. № 2. С. 29–31.
10. Елисеев Д.А., Демахин А.Г., Чупис В.Н., Олискевич В.В. Процесс переработки продукта детоксикации люизита – арсенита натрия гидролизного в аспекте охраны окружающей среды и экологической безопасности // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 4. С. 103–106.
11. Патент РФ, МПК А62D3/00, С 01G28/00. Заявлено 05.02.2009. Заявка №2009104033 (решение о выдаче патента).
12. Федоров В.А., Ефремов А.А., Жуков Э.Г., Казанский Л.Н., Кузнецов Б.А., Потепалов В.П., Тарасевич Ю.В., Холстов В.И. Получение мышьяка особой чистоты из продуктов детоксикации люизита // Российский химический журнал. 1995. Т. 39. №. 4. С. 46–57.