# Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для производства фосфорных удобрений

## Введение

Руководства по охране окружающей среды, здоровья и труда (ОСЗТ) представляют собой технические справочники, содержащие примеры надлежащей международной отраслевой практики (НМОП)[1] как общего характера, так и относящиеся к конкретным отраслям. Если в реализации проекта участвует один член Группы организаций Всемирного банка или более, применение настоящего Руководства осуществляется в соответствии с принятыми в этих странах стандартами и политикой. Такие Руководства по ОСЗТ для различных отраслей промышленности следует применять в сочетании с **Общим руководством по ОСЗТ** – документом, в котором пользователи могут найти указания по общим вопросам ОСЗТ, потенциально применимым ко всем отраслям промышленности. При осуществлении комплексных проектов может возникнуть необходимость в использовании нескольких Руководств, касающихся различных отраслей промышленности. С полным перечнем Руководств для отраслей промышленности можно ознакомиться по адресу: http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines.

В Руководствах по ОСЗТ приводятся такие уровни и параметры эффективности, которые, как правило, считаются достижимыми на вновь введенных в эксплуатацию объектах при современном уровне технологии и приемлемых затратах. Применение положений Руководств по ОСЗТ к уже существующим объектам может потребовать разработки особых целевых показателей для каждого объекта и соответствующего графика их достижения.

Применение Руководства по ОСЗТ следует увязывать с факторами опасности и риска, определенными для каждого проекта на основе результатов экологической оценки, в ходе которой принимаются во внимание конкретные для каждого объекта переменные, такие как особенности страны реализации проекта, ассимилирующая способность окружающей среды и прочие факторы, связанные с намечаемой деятельностью. Порядок применения конкретных технических рекомендаций следует разрабатывать на основе экспертного мнения квалифицированных и опытных специалистов.

Если нормативные акты в стране реализации проекта предусматривают уровни и параметры, отличные от содержащихся в Руководствах по ОСЗТ, то при реализации проекта надлежит в каждом случае руководствоваться более жестким из имеющихся вариантов. Если в силу

[1] Определяется как применение профессиональных навыков и проявление старательности, благоразумия и предусмотрительности, чего следует с достаточным на то основанием ожидать от квалифицированного и опытного специалиста, занятого аналогичным видом деятельности в таких же или сходных условиях в любом регионе мира. При оценке применяемых в ходе реализации проекта способов предупреждения и предотвращения загрязнения окружающей среды квалифицированный и опытный специалист может выявить обстоятельства, такие, например, как различные уровни экологической деградации и ассимилирующей способности окружающей среды, а также различные уровни финансовой и технической осуществимости.

особых условий реализации конкретного проекта целесообразно применение менее жестких уровней или параметров, нежели те, что представлены в настоящем Руководстве по ОСЗТ, в рамках экологической оценки по конкретному объекту надлежит представить подробное и исчерпывающее обоснование любых предлагаемых альтернатив. Такое обоснование должно продемонстрировать, что выбор любого из альтернативных уровней результативности обеспечит охрану здоровья населения и окружающей среды.

# Применение

Руководство по ОСЗТ для производства фосфорных удобрений содержит информацию, имеющую непосредственное отношение к установкам, где производятся фосфорная кислота, простой суперфосфат (ПСФ), тройной суперфосфат (ТСФ) и комплексные удобрения (азотно-фосфорно-калийные – АФК). В Приложении А дано описание видов деятельности, относящейся к данной отрасли. Данный документ состоит из следующих разделов:

Раздел 1.0 – Воздействие отраслевой деятельности и управление им

Раздел 2.0 – Показатели эффективности и мониторинг

Раздел 3.0 – Справочная литература и дополнительные источники информации

Приложение А – Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

# 1.0 Воздействие отраслевой деятельности и управление им

В данном разделе приводится обзор проблем ОСЗТ, возникающих при эксплуатации предприятий, производящих фосфорные удобрения, и содержатся рекомендации по их решению. Рекомендации по решению проблем ОСЗТ, характерных для большинства крупных промышленных предприятий в фазе строительства и вывода из эксплуатации, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

## 1.1 Окружающая среда

Загрязнение окружающей среды при производстве фосфорных удобрений вызывается следующими факторами:

- выбросы в атмосферу;
- сточные воды;
- опасные материалы;
- отходы;
- шум.

### Выбросы в атмосферу

*Выбросы, связанные со сжиганием топлива*

Работа установок по производству фосфорных удобрений сопровождается выбросами в атмосферу, связанными со сжиганием газа или дизельного топлива в турбинах, котлах, компрессорах, насосах и других системах для выработки энергии или тепла. Нормативы снижения выбросов из небольших источников горения, имеющих мощность до 50 мегаватт теплоты (МВт тепл.), в частности нормативы снижения выбросов отработанных газов, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. В **Общем руководстве**

**по ОСЗТ** также представлены указания по экономии энергии, которые позволяют значительно уменьшить выбросы, связанные с ее выработкой. Производство фосфорных удобрений требует больших затрат энергии, получаемой обычно за счет сжигания органического топлива с выделением значительных объемов парниковых газов (ПГ). Технология производства нитрофосфата требует использования $CO_2$. Рекомендации по контролю выбросов ПГ, а также по эффективному использованию и экономии энергии приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

### *Технологические выбросы при производстве фосфорной кислоты*

Для производства фосфорной кислоты могут применяться две разные технологии:

- на установках по производству удобрений чаще всего используется влажная технология, при которой фосфоритовые руды выщелачиваются кислотой (например, серной, азотной или соляной). Трифосфат кальция, содержащийся в фосфоритовой руде, реагирует с концентрированной серной кислотой с образованием фосфорной кислоты и сульфата кальция (нерастворимая соль); и
- термический процесс, при котором элементарный фосфор производится из фосфоритовой руды, кокса и кремнезема в электрической печи сопротивления, а затем окисляется и гидратируется с образованием кислоты. Кислота, вырабатываемая при этом процессе, отличается высокой чистотой, но и высокой ценой, поэтому она производится в небольших количествах, в основном для получения промышленных фосфатов.

В число технологических выбросов входят газообразные фториды в форме фтористоводородной кислоты (HF) и четырехфтористый кремний ($SiF_4$), которые выделяются при выщелачивании фосфоритовых руд, обычно содержащих 2–4% фтора.

Выбросы, связанные с термическим процессом производства фосфорной кислоты, обычно содержат фосфат, фторид, пыль, кадмий (Cd), свинец (Pb), цинк (Zn) и радионуклиды (Po-210 и Pb-210). Выбросы пыли, содержащие нерастворимые в воде фториды, могут происходить в процессе разгрузки, хранения, перемещения и измельчения фосфоритовых руд, которые транспортируются на участки хранения и измельчения ленточными транспортерами или грузовиками[2].

К рекомендованным мерам по предотвращению и контролю выбросов относятся следующие:

- правильный выбор фосфоритовых руд (по содержанию $P_2O_5$, содержанию F, отношению $CaO/P_2O_5$ и физическим свойствам) с целью сведения к минимуму количества кислоты, необходимой для реализации влажной технологии, уменьшения выбросов в окружающую среду и расширения возможностей повторного использования фосфогипса;
- выбор оптимального размера сит и дробилок (например, валковых или цепных дробилок);
- использование закрытых ленточных транспортеров и хранение в помещениях;
- обеспечение надлежащего обслуживания (например, регулярная уборка/чистка поверхностей установки и территории);
- улавливание пыли, образующейся при дроблении фосфоритовых руд, с использованием правильно эксплуатируемых и обслуживаемых тканевых и керамических фильтров и/или циклонов;

[2] IPPC BREF (2006) и EFMA (2000a).

- обработка газообразных выбросов фторидов с помощью систем очистки газа (например, скрубберов с разбрызгивающим устройством, фильтрующих слоев, установок с перекрестными потоками и циклонных башенных скрубберов). Фтор извлекается в виде кремнефтористоводородной кислоты, из которой фильтрацией удаляется кремнезем. Разбавленный раствор кремнефтористоводородной кислоты ($H_2SiF_6$) можно использовать в качестве смачивающей жидкости в скруббере. Извлечение $H_2SiF_6$ открывает дополнительные возможности для уменьшения выбросов фторидов.

### *Технологические выбросы при производстве фосфорного удобрения суперфосфата*

Выбросы пыли могут происходить в процессе разгрузки, перемещения, измельчения и отверждения фосфоритовых руд, а также при гранулировании и дроблении суперфосфата. Кроме того, подкисление, гранулирование и сушка могут сопровождаться выбросами газообразной фтористоводородной кислоты (HF), тетрафторида кремния ($SiF_4$) и хлоридов. Во время сушки и нейтрализации удобрений на основе нитрата аммония могут образовываться аммиак ($NH_3$) и оксиды азота ($NO_x$). Кроме того, при реакции фосфоритовой руды с кислотой выделяются ограниченные количества органических веществ (в том числе меркаптанов), присутствующих в фосфоритовых рудах и способных вызвать запах[3].

Для предотвращения и контроля выбросов пыли фосфоритовых руд должны использоваться меры, аналогичные рассмотренным в разделе, посвященном производству фосфорной кислоты. К дополнительным мерам по предотвращению и контролю выбросов относятся следующие:

- использование прямого гранулирования может снизить уровень неконтролируемых выбросов по сравнению с выбросами при отверждении за счет непрямого гранулирования. При использовании непрямого гранулирования участок отверждения должен располагаться в помещении, систему вентиляции которого следует соединить с системой влажной очистки или с участком гранулирования;
- использование холодильных систем для охлаждения продукта снижает потребность в воздушном потоке (например, по сравнению с вращающимися барабанами или охладителями с псевдоожиженным слоем);
- необходимо рассмотреть возможность использования тканевых фильтров или высокоэффективных циклонов и/или тканевых фильтров вместо системы влажной очистки воздуха, выходящего из участков нейтрализации, гранулирования, сушки и формирования оболочки для продукта, а также из охладителей и воздуховыпускных отверстий оборудования, с целью избежать формирования дополнительных стоков. Профильтрованный воздух необходимо повторно использовать для разбавления воздуха в системе сжигания топлива в сушильном агрегате;
- выбросы из системы гранулирования следует свести к минимуму за счет применения уравнительных бункеров в системе измерения распределения продукта по размерам для контроля рециркуляции при гранулировании.

[3] IPPC BREF. Октябрь 2006 г.

### *Технологические выбросы при производстве комплексных удобрений*

Удобрения АФК обычно производятся из смеси кислот или нитрофосфата. Выбросы в атмосферу при производстве АФК из смеси кислот содержат аммиак из реакторов для аммонирования; оксиды азота ($NO_X$), в основном NO и $NO_2$ с какой-либо азотной кислотой, из участка выщелачивания фосфоритовых руд азотной кислотой; фториды, образующиеся в процессе реакций с фосфоритовой рудой; аэрозольные выбросы, содержащие нитрат аммония ($NH_4NO_3$), фторид аммония ($NH_4F$) и хлорид аммония ($NH_4Cl$), формирующиеся при реакции нейтрализации в газовой фазе между аммиаком и кислотными компонентами, а также за счет отгонки из кипящей реакционной смеси; и, наконец, пыль удобрения, образующуюся в сушильных и охлаждающих барабанах и возникающую из других источников (например, сит, дробилок и конвейеров).

Выбросы в атмосферу при производстве АФК с использованием нитрофосфатной технологии аналогичны рассмотренным выше выбросам при их производстве из смеси кислот, однако они содержат также аэрозольные выбросы (например, из сушильного агрегата и гранулятора) хлорида аммония ($NH_4Cl$), формирующиеся в ходе реакции аммиака с хлористым водородом (HCl) при добавлении хлорида калия (KCl) к порошкообразному материалу[4]. Другие значительные выбросы в атмосферу содержат аммиак, образующийся при нейтрализации нитрофосфорной кислоты. Выбросы аммиака могут также образовываться в секции преобразования тетрагидрата нитрата кальция (ТГНК, эмпирическая формула: $Ca(NO_3)_2{\times}4H_2O$), в секции выпаривания нитрата аммония (НА, эмпирическая формула: $NH_4NO_3$) и в секциях гранулирования или приллирования. Аэрозоли нитрата аммония могут также формироваться на различных этапах производства, а выбросы хлористого водорода (HCl) могут присутствовать в газах, выходящих из барабанных грануляторов, циклонов и скрубберных систем[5].

К рекомендованным мерам по предотвращению и контролю выбросов в атмосферу относятся следующие:

- уменьшение выбросов $NO_X$ при использовании азотной кислоты в выщелачивании фосфоритовой руды за счет управления температурой в реакторе[6], оптимизации соотношения порода/кислота и добавления раствора мочевины;
- обработка газов, выходящих из реактора выщелачивания, в скруббере с разбрызгивающим устройством для извлечения $NO_X$ и соединений фтора. Величину pH можно регулировать добавлением аммиака;
- уменьшение выбросов $NO_x$ и запахов за счет выбора богатых фосфоритовых руд с низким содержанием органических веществ и солей железа;
- контроль выбросов частиц, аналогичный рассмотренному для производства фосфорной кислоты;
- меры по предотвращению и/или контролю выбросов при гранулировании и охлаждении продукта включают:
  - влажную очистку газов, выходящих из гранулятора и сушильного агрегата, в скрубберах Вентури с циркулирующим раствором фосфата или сульфофосфата аммония;

[4] Эти выбросы могут привести к так называемому эффекту Тиндаля, выражающемуся в появлении синего тумана на трубе.

[5] EIPPCB BREF (2006) и EFMA (2000b,c).

[6] Высокая температура приводит к формированию избыточного $NO_X$.

  - выпуск газов после влажной очистки через циклонные колонны с орошением кислым раствором;
  - использование высокоэффективных циклонов для удаления частиц из осушенных газов перед очисткой в скрубберах;
  - возврат воздуха, выходящего из охлаждающих устройств, для использования в качестве вторичного воздуха в сушильном агрегате после удаления пыли;
  - обработку выбросов, содержащих аммиак, в скрубберах с кислыми растворами;
- выбросы фтора следует контролировать с использованием скрубберных систем, как описано в отношении производства фосфорной кислоты;
- выбросы в атмосферу при выщелачивании фосфоритовых руд, удалении песка и фильтрации ТГНК необходимо уменьшать с помощью соответствующих средств (например, многоступенчатого скруббинга, преобразования в цианиды);
- аммиак из газов, выходящих из установок нитрофосфорной нейтрализации, следует удалять в противоточных скрубберах с регулированием pH для обеспечения максимальной эффективности (pH 3–4) и с использованием смеси $HNO_3$ и/или $H_2SO_4$;
- выбросы аммиака из секций гранулирования/сушки следует обрабатывать в скрубберах кислыми растворами;
- сведение к минимуму контактов между отходами, содержащими $NO_X$ и $NH_3$, для предотвращения образования аэрозолей в процессе производства АФК с использованием нитрофосфатной технологии;
- уменьшение аэрозольных выбросов за счет установки циклонов и скрубберов;
- уменьшение фторидных выбросов за счет рециркуляции теплого воздуха.

### *Неконтролируемые выбросы*

Неконтролируемые выбросы связаны главным образом с утечками из трубопроводов, клапанов, соединений, фланцев, уплотнений, разомкнутых линий, уплотнений в резервуарах с плавающей крышкой и насосах, систем транспортировки газа, уплотнений в компрессорах, предохранительных клапанах, резервуарах или открытых емкостях, а также при загрузке и разгрузке продуктов.

К рекомендованным мерам по уменьшению образования неконтролируемых выбросов относятся:

- выбор подходящих клапанов, фланцев и арматуры при проектировании, эксплуатации и обслуживании;
- выполнение программ мониторинга, обслуживания и ремонта, особенно для сальников штоков клапанов и гнезд предохранительных клапанов, с целью уменьшения или исключения аварийных выбросов;
- установка устройств для обнаружения утечек и постоянного мониторинга во всех опасных зонах;
- следует избегать использования вентиляционных труб без дефлектора на крышках резервуаров, используя вместо них перепускные клапаны. Все хранилища и станции разгрузки должны оборудоваться устройствами удаления пара. В системах обработки пара могут использоваться различные методы, например адсорбция углем, охлаждение, сбор для повторного использования и сжигание.

## Сточные воды

### *Стоки при производстве фосфорной кислоты*

Стоки с установок по производству фосфорной кислоты содержат растворы, поступающие из конденсаторов с вакуумным охлаждением и систем влажной очистки газа, используемых для конденсации и очистки паров при технологических операциях. Конденсированные пары кислоты могут содержать фтор и небольшие количества фосфорной кислоты. Воду, используемую для транспортировки фосфогипса (побочного продукта влажного производства фосфорной кислоты) после отделения от шлама можно сбрасывать в виде стоков, если не предусмотрен возврат воды в технологический процесс. Стоки, образующиеся при выведении гипса из технологического цикла, могут содержать значительное количество примесей, в том числе соединения фосфора и фтора, кадмий и другие тяжелые металлы, а также радионуклиды. Дренажные стоки из хранилищ материалов могут содержать тяжелые металлы (например, Cd, ртуть [Hg] и Pb), фториды и фосфорную кислоту. При использовании термического процесса для производства фосфорной кислоты в воду могут сбрасываться соединения фосфора и фтора, твердые взвешенные вещества, тяжелые металлы и радионуклиды (например, Po-210 и Pb-210). К рекомендованным мерам по контролю сбросов относятся следующие[7]:

- выбор фосфоритовых руд с низким содержанием примесей для получения чистого гипса и уменьшения возможных воздействий при его удалении;
- следует рассмотреть возможность использования сухих систем воздухоочистки (вместо мокрой очистки в скруббере), чтобы уменьшить образование сточных вод. Для уменьшения выбросов фторидов может потребоваться установка скрубберов с соответствующими скрубберными жидкостями;
- использование фтора, выделяющегося из реакторов и испарителей, в качестве коммерческого побочного продукта (кремнефтористоводородной кислоты);
- перед отведением стоков скрубберов, если не предполагается извлечение фтора, следует предусмотреть нейтрализацию стоков известью для осаждения фтора в виде твердого фторида кальция;
- повторное использование воды, применяемой для возвращения в процесс фосфогипса со стадии осаждения;
- следует, по возможности, рассмотреть использование морской воды в качестве скрубберной жидкости для ускорения реакции перехода фтора в безопасный фторид кальция;
- сведение к минимуму загрязнения стоков скрубберов пентоксидом фосфора ($P_2O_5$) за счет направления паров от вакуумных холодильников и вакуумных испарителей в сепаратор для удаления капель фосфорной кислоты;
- сведение к минимуму загрязнения скрубберных стоков пентоксидом фосфора $P_2O_5$ с использованием сепарирующих ловушек. Дополнительное удаление фосфатов может обеспечиваться использованием фосфата магния и аммония (струвита) или осаждением фосфата кальция;
- следует рассмотреть возможность удаления кадмия из $H_3PO_4$ до 95% путем реакционной экстракции с использованием органического растворителя.

[7] IPPC BREF (2006) и EFMA (2000a).

### *Стоки при производстве суперфосфатных удобрений*

Основными источниками стоков при производстве фосфорных удобрений являются системы мокрой очистки для обработки отходящих газов. В число загрязняющих веществ могут входить фильтруемые твердые вещества, фосфор, аммиак, фториды, тяжелые металлы (например, Cd, Hg, Pb). Стоки характеризуются высоким уровнем химического потребления кислорода (ХПК). Возвращение сбросных вод скрубберов в технологический процесс следует довести до максимума. Производство подкисленной фосфоритовой руды, удобрения, представляющего собой смесь суперфосфата и фосфоритовой руды, помимо простого суперфосфата (ПСФ) и тройного суперфосфата (ТСФ), может привести к снижению объема сточных вод[8].

### *Стоки при производстве комплексных удобрений*

Стоки из установок для производства АФК по технологии с использованием смеси кислот обычно ограничены и состоят из сточных вод с установок гранулирования и влажной очистки отходящих газов.

Стоки из установок для производства АФК по нитрофосфатной технологии могут содержать аммиак, нитраты, фториды и фосфаты. Аммиак содержится в стоках конденсата выпаривания нитрата аммония или нейтрализации раствора нитрофосфорной кислоты. Растворы, содержащие нитрат аммония, следует перекачивать с осторожностью для снижения риска взрыва. Основным источником, определяющим содержание нитратов и фторидов в стоках, являются сбросные воды скрубберов воздухоочистки после стадии выщелачивания фосфатов и смыв песка (из технологического шлама). Смыв песка приводит также к загрязнению стоков фосфатами.

К рекомендованным мерам по контролю стоков относятся следующие[9]:

- рециркуляция воды после промывки песка с целью уменьшения содержания фосфатов в сточных водах;
- исключение параллельной конденсации паров при выпаривании нитрата аммония;
- повторное использование скрубберной жидкости $NO_X$ для уменьшения содержания аммиака, нитратов, фторидов и фосфатов;
- повторное использование воды после мокрой очистки отходящих газов нейтрализации;
- следует рассмотреть возможность повторного использования стоков в качестве скрубберной жидкости;
- выделение (осаждение) твердых частиц из воды, применяемой в циркуляционном режиме при многоступенчатой газоочистке в скрубберах, с возвращением сгущенной части в реакторы;
- следует рассмотреть возможность совместной очистки отходящих газов нейтрализации, выпаривания и гранулирования. Это позволяет вернуть все скрубберные жидкости в технологический процесс и уменьшить образование сточных вод;
- необходимо подвергать сточные воды биологической обработке с нитрификацией/денитрификацией и осаждением соединений фосфора.

[8] IPPC BREF (2006).

[9] IPPC BREF (2006) и EFMA (2000b,c).

### *Обработка технологических стоков*

К методам, применяемым для обработки промышленных стоков в данной отрасли, относятся: фильтрация для отделения фильтруемых взвешенных твердых частиц; усреднение потоков и нагрузок; осаждение для снижения содержания взвешенных твердых частиц с использованием отстойников; удаление фосфатов с помощью физико-химических методов; удаление аммиака и азота с использованием физико-химических методов обработки; сушка и вывоз отходов очистки в места, специально оборудованные для их размещения. Могут потребоваться дополнительные инженерные мероприятия для i) удаления фторидов и ii) более полного удаления металлов с использованием мембранной фильтрации или других физических/химических технологий обработки стоков.

Очистка промышленных стоков и примеры подходов к очистке рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Использование этих подходов в сочетании с методами надлежащей практики для очистки сточных вод должно обеспечить выполнение на установках требований по нормативным значениям для сточных вод, приведенным в соответствующей таблице раздела 2 настоящего отраслевого документа.

### *Другие потоки сточных вод и водопотребление*

Указания по работе со стоками, образующимися при обслуживании персонала, незагрязненными ливневыми стоками и хозяйственно-бытовыми сточными водами содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Загрязненные стоки должны направляться в систему очистки технологических сточных вод. Рекомендации по снижению потребления воды, особенно там, где она является ограниченным природным ресурсом, приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

## Опасные материалы

На предприятиях по производству фосфорных удобрений используются, хранятся и распределяются значительные количества опасных материалов (например, кислот и аммиака). Рекомендации по методам работы с опасными материалами, в том числе погрузке и разгрузке, хранению и транспортировке, представлены в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Производство и распределение материалов должны проводиться согласно соответствующим международным нормативам там, где они применимы[10].

## Отходы

Неопасные твердые отходы могут образовываться при некоторых технологических процессах производства фосфорных удобрений, в частности фосфогипс – при влажном производстве фосфорной кислоты, а кварцевый песок – при производстве АФК с использованием нитрофосфатной технологии. Кварцевый песок следует отделять, промывать и повторно использовать в качестве строительного материала. Ограниченное количество опасных отходов образуется в процессе производства фосфорных удобрений. В дополнение к отраслевой информации, приведенной ниже, указания по обращению с опасными и неопасными отходами приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

### *Фосфогипс*

Фосфогипс является наиболее важным побочным продуктом при влажном производстве фосфорной кислоты (около 4–5 тонн фосфогипса производится с каждой тонной

[10] Примером может служить Роттердамская конвенция о процедуре предварительного обоснованного согласия (ПОС) в отношении отдельных опасных химических веществ и пестицидов.

фосфорной кислоты в форме $P_2O_5$[11]). Фосфогипс содержит большое число примесей (остаточная кислотность, соединения фтора, микроэлементы, например, ртуть, свинец и радиоактивные компоненты[12]). Эти примеси, а также значительные количества фосфатов могут выделяться в окружающую среду (почву, подземные и поверхностные воды). К отраслевым методам по предотвращению и контролю загрязнения относятся[13]:

- с учетом потенциальной опасности (например, испускает ли он радон) фосфогипс можно перерабатывать для улучшения его качества и повторно использовать (например, в качестве строительного материала). К возможным вариантам относятся:
  - производство более чистого фосфогипса из сырья (фосфоритовые руды) с низким содержанием примесей;
  - использование репульпирования;
- использование ди- или полугидратного процесса рекристаллизации с двухступенчатой фильтрацией;
- если фосфогипс невозможно повторно использовать из-за отсутствия коммерчески и технически приемлемых способов, его следует удалять как опасный или неопасный вид отходов в зависимости от его характеристик и в соответствии с указаниями, содержащимися в **Общем руководстве по ОСЗТ**[14]. Дополнительные варианты удаления – размещение в горные выработки, сухое складирование[15] и влажное складирование.

### Шум

Шум производится крупными вращающимися механизмами, в том числе компрессорами и турбинами, насосами, электромоторами, охладителями воздуха, вращающимися барабанами, сферодайзерами, конвейерными лентами, кранами, огневыми нагревателями, а также аварийной разгерметизацией. Указания по контролю и борьбе с шумом представлены в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

## 1.2 Охрана и гигиена труда

Вопросы охраны и гигиены труда, которые могут возникнуть в фазе строительства и вывода из эксплуатации предприятий по производству фосфорных удобрений, аналогичны возникающим на других промышленных предприятиях; их решение рассматривается в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Вопросы охраны и гигиены труда для конкретных предприятий следует выявлять на основе анализа безопасности труда и всесторонней оценки опасности или риска, используя при этом установленные методики, такие как выявление аварийно-опасных участков [HAZID], выявление опасностей и работоспособности оборудования [HAZOP] или количественная оценка риска [QRA]. В качестве общего подхода планирование обеспечения охраны и гигиены труда должно включать систематический и структурированный подход к предотвращению и контролю

[11] Гипс содержит большое число примесей (остаточная кислотность, соединения фтора, микроэлементы, например, ртуть, свинец и радиоактивные компоненты). IPPC BREF (2006).

[12] Фосфоритные руды, фосфогипс и стоки установок по производству фосфорной кислоты обычно имеют меньшую радиоактивность, чем предельные значения, приведенные в соответствующих международных указаниях и руководствах (например, Директива ЕС 96/26/EURATOM).

[13] IPPC BREF (2006) и EFMA (2000a,b,c).

[14] Классификация фосфогипса как опасного или неопасного вида отходов может зависеть от уровня выделения им радона. В зависимости от юрисдикции вывоз этого вещества из хранилища и его последующая утилизация могут подпадать под определенные нормативные требования.

[15] Следует заметить, что сухое складирование не исключает возможности просачивания кислых вод (кроме территорий с очень сухим климатом).

физических, химических, биологических и радиологических опасностей для здоровья и безопасности, описанный в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Наиболее серьезные опасности с точки зрения охраны и гигиены труда возникают в фазе эксплуатации предприятий по производству фосфорных удобрений. К ним в первую очередь относятся:

- технологическая безопасность;
- химически опасные факторы;
- разложение, пожары и взрывы.

## Технологическая безопасность

Программы технологической безопасности должны реализовываться с учетом отраслевых особенностей, в том числе сложных химических реакций, использования опасных материалов (например, токсичных, химически активных, огнеопасных или взрывоопасных материалов) и многоступенчатых реакций.

Обеспечение технологической безопасности включает следующие мероприятия:

- проверку материалов и реакций с точки зрения физической опасности;
- анализ опасностей для оценки химии процесса и инженерных методов, включая термодинамику и кинетику;
- проверку профилактического обслуживания и механической целостности технологического оборудования и систем;
- подготовку персонала;
- разработку руководств по эксплуатации и мер экстренного реагирования.

## Химически опасные факторы

В число токсичных химикатов на предприятиях по производству фосфорных удобрений входят аммиак и пары кислот, особенно HF. Пороговые значения, соответствующие определенным воздействиям на здоровье, опубликованы в международных регламентирующих документах (см. ниже, раздел "Мониторинг"). Помимо указаний, касающихся воздействия химикатов и представленных в Общем руководстве по ОСЗТ, для предотвращения и контроля химического воздействия на предприятиях отрасли можно дать следующие рекомендации:

- не допускать контакта кислот с сильными едкими веществами. Реакция, возникающая при таком контакте, является экзотермической и может сопровождаться разбрызгиванием;
- контролировать накопление фторидных газов в емкостях для хранения фосфорной кислоты;
- установить газовые детекторы в опасных местах;
- обеспечить достаточную вентиляцию (например, системы вытяжки и фильтрации воздуха) во всех местах, где продукция производится, хранится и перемещается;
- обучить персонал и обеспечить его средствами индивидуальной защиты в соответствии с указаниями, представленными в Общем руководстве по ОСЗТ.

## Разложение, пожары и взрывы

Опасность разложения[16], пожаров и взрывов может быть связана со взрывами шламовых насосов из-за

[16] Производство, хранение и транспортировка удобрений АФК может создавать угрозу, связанную с самоподдерживающимся разложением их компонентов, содержащих нитрат аммония, при температуре выше 130°C[16]. Разложение зависит от вида и состава продукта, причем в этом процессе может выделяться значительное количество ядовитых паров.

недостаточного потока через насос или неправильной конструкции; разложением шлама при низком pH, высокой температуре и загрязнении сырья; а также выделением газообразного водорода при контакте фосфорной кислоты с черными металлами.

Опасность разложения, пожаров и взрывов можно свести к минимуму, принимая, в частности, следующие меры[17]:

- запасы аммиака, азотной и фосфорной кислот должны поддерживаться на максимально низком уровне. В интегрированных химических комплексах рекомендуется транспортировка по трубопроводам;
- разложение удобрений АФК необходимо предотвращать за счет контроля температуры при производстве, регулирования состава и снижения содержания примесей. Необходимо избегать накопления смеси на входных лопатках сушильного агрегата и поддерживать равномерный профиль температуры входного воздуха;
- разделять производственные участки, зоны хранения, вспомогательные участки и зоны безопасности с введением безопасных расстояний;
- соблюдать тщательно контролируемый порядок и процедуры для предотвращения образования опасных смесей газов и шлама;
- хранилища АФК следует проектировать в соответствии с указаниями и требованиями, признанными на международном уровне[18]. Следует установить необходимую систему выявления и тушения пожара;
- территория хранилищ должна очищаться перед загрузкой любого удобрения. Утечки следует ликвидировать максимально быстро. При хранении необходимо предотвращать загрязнение удобрений органическими веществами;
- не следует хранить удобрения вблизи источников тепла, под прямым воздействием солнечных лучей или в условиях, при которых возможно циклическое изменение температуры;
- следует избегать контакта фосфорной кислоты с черным металлом. Детали, которые могут контактировать с этой кислотой, должны изготовляться из нержавеющей стали.

## 1.3 Охрана здоровья и безопасность местного населения

Указания по предотвращению угроз безопасности и здоровью местного населения, характерных для большинства крупных промышленных предприятий в фазе строительства и вывода из эксплуатации, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Наиболее существенные угрозы для здоровья и безопасности местного населения при работе предприятий по производству фосфорных удобрений связаны с обработкой, хранением и транспортировкой опасных материалов и продуктов, возможностью аварийных утечек/выбросов токсичных и горючих газов, а также удалением отходов (например, фосфогипса, некондиционных продуктов, шлама). При проектировании и эксплуатации предприятий необходимо предусмотреть меры безопасности с целью сведения к минимуму и контроля угроз для населения, в частности:

- выявление в проекте мест возможных утечек;

[17] EFMA. 2000b,c.

[18] См., например, Директивы ЕК в отношении удобрений ЕС 76/116 и ЕС 80/876, а также Директиву COMAH 96/82/EC.

- оценка последствий возможных утечек для окружающих территорий, включая загрязнение подземных вод и почвы;
- оценка возможного риска, связанного с транспортировкой опасных материалов, и выбор наиболее рациональных маршрутов с целью сведения к минимуму опасности для местного сообщества и третьих сторон;
- выбор места для размещения предприятий с учетом заселения, метеорологических условий (например, доминирующих направлений ветра) и водных ресурсов (например, уязвимости подземных вод). Определение безопасных расстояний между участками предприятия, в частности резервуарными парками, и населенными территориями;
- определение мер по предотвращению и смягчению опасности, необходимых в целях исключения или сведения к минимуму опасности для местного сообщества;
- разработка плана действий в чрезвычайной ситуации с участием местных органов власти и местных сообществ, потенциально подвергающихся опасности.

Указания по транспортировке опасных материалов, разработке планов готовности к чрезвычайным ситуациям и аварийного реагирования, а также другие вопросы, связанные с безопасностью и здоровьем местного населения, рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

# 2.0 Показатели эффективности и мониторинг

## 2.1 Окружающая среда

### Нормативы выбросов и сбросов

В таблицах 1 и 2 приведены нормативы выбросов и сбросов в данной отрасли промышленности. Рекомендованные нормативы технологических выбросов и сбросов в данной отрасли соответствуют надлежащей международной отраслевой практике, которая зафиксирована в соответствующих стандартах стран с общепризнанной нормативно-правовой базой. Предполагается, что данные нормативы выполнимы при нормальном режиме работы должным образом спроектированных и эксплуатируемых предприятий посредством применения методик предотвращения и контроля загрязнения, описанных в предыдущих разделах настоящего документа.

Нормативы сбросов применимы к прямому сбросу очищенных стоков в поверхностные воды общего пользования. Возможно установление уровней сбросов для конкретных предприятий/участков в зависимости от наличия и условий использования систем сбора и очистки сточных вод общего пользования или, если сброс происходит непосредственно в поверхностные воды, в зависимости от вида водопользования водоприемников, как описано в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Указанные уровни должны обеспечиваться без разбавления и соблюдаться в течение не менее 95% времени работы предприятия или установки, рассчитываемого как доля рабочих часов в год. Отклонения от данных уровней с учетом конкретных местных условий проекта необходимо обосновать при проведении экологической оценки.

Нормативы выбросов от источников горения, связанных с производством пара и электроэнергии, с тепловой мощностью, равной или ниже 50 МВт тепл., рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**, а для источников выбросов большей мощности – в **Руководстве по ОСЗТ для тепловых электростанций**. Указания в отношении фоновых параметров окружающей среды с учетом общей нагрузки выбросов приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ.**

## Мониторинг состояния окружающей среды

Программы мониторинга состояния окружающей среды для данной отрасли следует выстраивать с учетом необходимости охвата всех видов деятельности, которые потенциально могут оказать существенное воздействие на состояние окружающей среды при их осуществлении как в нормальном, так и нештатном режиме. Мониторинг состояния окружающей среды следует вести по прямым или косвенным показателям выбросов, стоков и используемых ресурсов, применимым к данному проекту. Частота проведения мониторинга должна быть достаточной для получения репрезентативных данных по параметру, мониторинг которого проводится. Мониторинг должны осуществлять специально подготовленные лица в соответствии с процедурами мониторинга и учета данных и с использованием оборудования, прошедшего надлежащее тарирование и техническое обслуживание. Данные мониторинга необходимо регулярно анализировать и изучать, сравнивая их с действующими стандартами в целях принятия любых необходимых мер по исправлению недостатков. Дополнительные указания по применимым методам забора проб и анализа выбросов и стоков содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

**Таблица 1. Нормативы по выбросам в атмосферу для предприятий по производству фосфорных удобрений**

| Загрязнитель | Единица измерения | Нормативное значение |
|---|---|---|
| **Предприятия по производству фосфорной кислоты** | | |
| Фториды (газообразные) в пересчете на HF | мг/Нм$^3$ | 5 |
| Частицы | мг/Нм$^3$ | 50 |
| **Предприятия по производству фосфорных удобрений** | | |
| Фториды (газообразные) в пересчете на HF | мг/Нм$^3$ | 5 |
| Частицы | мг/Нм$^3$ | 50 |
| Аммиак | мг/Нм$^3$ | 50 |
| HCl | мг/Нм$^3$ | 30 |
| $NO_X$ | мг/Нм$^3$ | 500 нитрофосфатных единиц<br>70 единиц смеси кислот |

**Таблица 2. Нормативы сбросов для предприятий по производству фосфорных удобрений**

| Загрязнитель | Единица измерения | Нормативное значение |
|---|---|---|
| **pH** | единиц pH | 6–9 |
| **Фосфор, общее содержание** | мг/л | 5 |
| **Фториды** | мг/л | 20 |
| | кг/т АФК | 0,03 |
| | кг/т пентоксид фосфора ($P_2O_5$) | 2 |
| **Взвешенные твёрдые вещества** | мг/л | 50 |
| **Кадмий** | мг/л | 0,1 |
| **Азот, общее содержание** | мг/л | 15 |
| **Аммиак** | мг/л | 10 |
| **Общее содержание металлов** | мг/л | 10 |

## Использование ресурсов, потребление энергии, выбросы в атмосферу и образование отходов

В таблице 3 приведены примеры показателей потребления энергетических и водных ресурсов в данной отрасли, а в таблице 4 – примеры показателей выбросов в атмосферу и образования отходов, характерных для данной отрасли. Контрольные отраслевые показатели приведены только для сравнения, и в каждом отдельном проекте должна ставиться задача обеспечения постоянного совершенствования в данных областях.

**Таблица 3. Потребность в ресурсах и энергии**

| Продукт | Единица измерения | Контрольный отраслевой показатель |
|---|---|---|
| Фосфорная кислота | т фосфоритовой руды/т $P_2O_5$ | 2,6–3,5 (1) |
| | т $H_2SO_4$/т $P_2O_5$ | 2,1–2,3 (1) |
| | кВтч/т $P_2O_5$ | 120–180 (1) |
| | $м^3$ охлаждающей воды/т $P_2O_5$ | 100–150 (1) |
| АФК А | кВт-ч/т АФК | 30–33 (1)(2) |
| | Общие затраты энергии для сушки МДж/т АФК | 300–320 (1)(2) |
| АФК В | кВт-ч/т АФК | 50 (1)(2) |
| | Общие затраты энергии для сушки МДж/т АФК | 450 (1)(2) |
| АФК С | кВтч/т АФК | 50–109 (2) |
| АФК С | $м^3$ охлаждающей воды/т АФК | 17 (2) |
| АФК С | т необходимого $CO_2$/т $P_2O_5$ | 1(1)(2) |
| ПСФ | кВт-ч/т ПСФ | 19–34 (2) |
| ПСФ | $м^3$ воды/т ПСФ | 0,1–2 (2) |

**Примечания**

АФК УСТАНОВКИ А Гранулирование с использованием трубчатого реактора и барабана с аммонированием.

АФК УСТАНОВКИ В Процесс на основе смеси кислот.

АФК УСТАНОВКИ С Нитрофосфатная технология.

1. European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA). 2000.
2. EU IPPC – Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers Industries. December 2006.

**Таблица 4. Образование выбросов, стоков и отходов**

| Параметр | Единица измерения | Контрольный отраслевой показатель |
|---|---|---|
| **Предприятия по производству фосфорной кислоты** | | |
| Фторид $SO_2$ | мг/Нм³кг/т HF | 5–300,001–0,01 |
| Образование твердых отходов (фосфогипс) (термический/влажный процесс) | т/т $P_2O_5$ | 3,2/4–5 (1) |
| **Производство АФК – нитрофосфатная технология** | | |
| Выбросы $NH_3$ в атмосферу | кг/т $P_2O_5$ | 0,2 |
| Выбросы $NO_X$ в атмосферу (в пересчете на $NO_2$) | кг/т $P_2O_5$ | 1,0 |
| Выбросы фторидов в атмосферу | кг/т $P_2O_5$ | 0,01 |
| Общие выбросы азота в стоках | кг/т $P_2O_5$ | 0,001– 0,01 |
| $P_2O_5$ в стоках | кг/т $P_2O_5$ | 1,2 |
| Фториды в стоках | кг/т $P_2O_5$ | 0,7 |
| **Производство АФК – технология на основе смеси кислот** | | |
| Выбросы $NH_3$ в атмосферу | кг/т АФК | 0,2 |
| Выбросы $NO_X$ в атмосферу (в пересчете на $NO_2$) | кг/т АФК | 0,3 |
| Выбросы фторидов в атмосферу | кг/т АФК | 0,02 |
| Выбросы пыли в атмосферу | кг/т АФК | 0,2 |
| Общие выбросы азота в жидких стоках | кг/т АФК | 0,2 |
| Фториды в стоках | кг/т АФК | 0,03 |
| Выбросы фторидов в атмосферу | мг/Nм³ | 0,4–4 |
| Выбросы пыли в атмосферу | мг/Nм³ | 30–50 |
| Выбросы хлоридов в атмосферу | мг/Nм³ | 19–20 |

## 2.2 Гигиена и охрана труда

### Указания по гигиене и охране труда

Соблюдение норм гигиены и охраны труда следует оценивать исходя из опубликованных международных рекомендаций по показателям воздействия вредных производственных факторов, примерами которых являются, в частности, указания по предельным пороговым значениям (TLV®) воздействия на рабочем месте и показателям биологического воздействия (BEIs®), публикуемые Американской конференцией государственных специалистов по гигиене труда (ACGIH)[19], Карманный справочник по источникам химической опасности, публикуемый Национальным институтом гигиены и охраны труда Соединенных Штатов Америки (NIOSH)[20], показатели допустимых уровней воздействия (PELs), публикуемые Управлением охраны труда Соединенных Штатов Америки (OSHA)[21], индикативные показатели предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны, публикуемые странами – членами Европейского союза[22], или данные из иных аналогичных источников.

### Показатели травматизма и частота несчастных случаев со смертельным исходом

Исполнителям проектов следует стремиться к полному искоренению несчастных случаев на производстве с участием занятых в проекте работников (нанятых непосредственно исполнителями проекта либо субподрядчиками), особенно несчастных случаев, способных привести к потере рабочего времени, инвалидности различной степени тяжести или даже смертельному исходу. Показатели частоты несчастных случаев на объекте можно сопоставлять с опубликованными показателями предприятий данной отрасли в развитых странах, которые можно получить из таких источников, как, например, Бюро трудовой

[19] См. http://www.acgih.org/TLV/ и http://www.acgih.org/store/.

[20] См. http://www.cdc.gov/niosh/npg/.

[21] См. http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992.

[22] См. http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

статистики США и Инспекция по промышленной гигиене и охране труда Соединенного Королевства[23].

## Мониторинг соблюдения норм гигиены и охраны труда

Следует вести мониторинг рабочей среды на предмет наличия вредных производственных факторов, характерных для данного проекта. Процесс мониторинга должны разрабатывать и осуществлять уполномоченные специалисты[24] в рамках программы мониторинга соблюдения норм гигиены и охраны труда. Предприятиям следует также вести журналы учета случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также опасных происшествий и несчастных случаев. Дополнительные указания по программам мониторинга соблюдения норм гигиены и охраны труда содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

[23] См. http://www.bls.gov/iif/ и http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm.

[24] К таким уполномоченным специалистам могут относиться сертифицированные специалисты по промышленной гигиене, дипломированные специалисты по гигиене труда, сертифицированные специалисты по охране труда или специалисты аналогичной квалификации.

# 3.0 Справочная литература и дополнительные источники информации

European Commission. 2006. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques in Large Volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers. Seville: EIPPCB. Доступно по адресу: http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm

European Fertilizer Manufacturer's Association (EFMA). 2000a. Best Available Techniques (BAT) Production of Phosphoric Acid (Booklet No. 4). Brussels: EFMA. Доступно по адресу: http://www.efma.org/Publications/

EFMA. 2000b. BAT Production of NPK Fertilizers by the Nitrophosphate Route (Booklet No. 7). Brussels: EFMA. Доступно по адресу: http://www.efma.org/Publications/

EFMA. 2000c. BAT Production of NPK Fertilizers by the Mixed Acid Route (Booklet No. 8). Brussels: EFMA. Доступно по адресу: http://www.efma.org/Publications/

EFMA and International Fertilizer Industry Association (IFA). 1992. Handbook for the Safe Storage of Ammonium Nitrate Based Fertilizers. Zurich/Paris: EFMA/IFA. Доступно по адресу: http://www.efma.org/publications/

German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2004. Waste Water Ordinance – AbwV. (Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters). Promulgation of the New Version of the Waste Water Ordinance of 17 June 2004. Berlin: BMU. Доступно по адресу: http://www.bmu.de/english/water_management/downloads/doc/3381.php

German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). 2002. First General Administrative Regulation Pertaining to the Federal Emission Control Act (Technical Instructions on Air Quality Control – TA Luft). Berlin: BMU. Доступно по адресу: http://www.bmu.de/english/air_pollution_control/ta_luft/doc/36958.php

United Kingdom (UK) Environmental Agency. 2002. Sector Guidance Note Integrated Pollution Prevention and Control (IIPC) S4.03. Guidance for the Inorganic Chemicals Sector. Bristol: Environment Agency. Доступно по адресу: http://www.environment-agency.gov.uk/business/444304/1290036/1290086/1290209/1308462/1245952/

International Fertilizer Industry Association (IFA) / United Nations Environment Programmme (UNEP) / United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). 1998. The Fertilizer Industry's Manufacturing Processes and Environmental Issues. (Technical Report No. 26, Part 1). Paris: IFA/UNEP/UNIDO.

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 1995. Office of Compliance. Sector Notebook Project. Profile of the Inorganic Chemical Industry. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/notebooks/inorganic.html

US EPA. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart T—Standards of Performance for the Phosphate Fertilizer Industry: Wet-Process Phosphoric Acid Plants. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

US EPA. 40 CFR Part 60, Standards of Performance for New and Existing Stationary Sources: Subpart W—Standards of Performance for the Phosphate Fertilizer Industry: Triple Superphosphate Plants. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

US EPA. 40 CFR Part 63, National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Source Categories: Subpart AA—National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Phosphoric Acid Manufacturing Plants. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

US EPA. 40 CFR Part 418 Fertilizer Manufacturing Point Source Category. Subpart A—Phosphate Subcategory. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

US EPA. 40 CFR Part 418 Fertilizer Manufacturing Point Source Category. Subpart G—Mixed and Blend Fertilizer Production Subcategory. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

US EPA. 40 CFR Part 422 Phosphate Manufacturing Point Source Category. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: http://www.epa.gov/epacfr40/chapt-I.info/

# Приложение А. Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

Современный комплекс по производству фосфорных удобрений характеризуется большими объемами производства и, как правило, высокой степенью интеграции с производством, стоящим в технологической цепочке этих предприятий выше (например, производство аммиака и кислот, таких как азотная, серная и фосфорная) и ниже (например, нитрат аммония и известково-аммиачная селитра), с целью оптимизировать затраты на производство, систему материально-технического снабжения, безопасность и защиту окружающей среды (рисунок А.1). Предприятия по производству фосфорных удобрений могут выпускать простой (или нормальный) суперфосфат (ПСФ) и тройной суперфосфат (ТСФ); смешанные удобрения, такие как монофосфат аммония (МФА) и дифосфат аммония (ДФА); а также все виды комплексных удобрений (АФК) с использованием технологий "нитрофосфат/азотная кислота" и "смесь кислот/серная кислота". Предприятия обычно оснащены интегрированной сетью распределения пара и электроэнергии, обслуживающей все установки и снабжаемой от центральной котельной и электростанции. Обычно имеется также установка по обработке сточных вод.

## Серная кислота

Серная кислота ($H_2SO_4$) используется в отрасли по производству фосфорных удобрений для производства фосфорной кислоты. Серная кислота обычно получается из диоксида серы ($SO_2$), образуемой при сжигании элементарной серы. Наиболее распространенным процессом на предприятиях по производству серной кислоты является экзотермическое окисление диоксида серы над несколькими слоями соответствующего катализатора (например, пентоксида ванадия), что позволяет получить триоксид серы ($SO_3$)[25].

Серная кислота получается при абсорбции $SO_3$ водой с образованием $H_2SO_4$ (с концентрацией не ниже 98%) в абсорберах, установленных после нескольких слоев катализатора. Полученная теплая кислота разбрызгивается с помощью воздуха в колонне или башне, для того чтобы собрать оставшуюся в кислоте $SO_2$. Воздух, содержащий $SO_2$, возвращается в технологический процесс.

## Фосфорная кислота

Фосфорная кислота ($H_3PO_4$) используется главным образом при производстве фосфатов (например, для удобрений и пищевых добавок для животных). При производстве фосфорной кислоты используются два разных процесса. В первом, известном под названием термического, из фосфоритовой руды, кокса и кремнезема в электрической печи сопротивления производится элементарный фосфор, который затем окисляется и гидратируется с образованием кислоты. Кислота, получаемая в термическом процессе, имеет высокую чистоту, однако весьма дорога и производится в небольших количествах, в основном для получения промышленных фосфатов.

Процесс второго типа, известный под названием влажного, включает выщелачивание фосфоритовых руд кислотой (например, серной, азотной или соляной). Трифосфат кальция, содержащийся в фосфоритовой руде, реагирует с концентрированной серной кислотой с образованием фосфорной кислоты и сульфата кальция, представляющего

[25] IPPC BREF (2006).

собой нерастворимую соль. Условия производства обычно выбирают так, чтобы сульфат кальция осаждался в виде ангидрита, полугидрата (ПГ) и дигидрата (ДГ).

Необходимость использования разных технологий связана с наличием разных руд и систем удаления гипса[26]. Основными стадиями процесса являются измельчение фосфоритовой руды (при необходимости); реакция с серной кислотой в цепочке отдельных реакторов с перемешиванием при температуре 70–80°C; фильтрация для отделения фосфорной кислоты от сульфата кальция; а также концентрирование до промышленной фосфорной кислоты с концентрацией пентоксида фосфора ($P_2O_5$) 52–54%.

В случае если установки по производству фосфорной и азотной кислот объединены, пар высокого давления, производимый в котле-утилизаторе тепла образования серной кислоты, обычно используется для производства электроэнергии, а исходящий пар низкого давления – для вакуумного концентрирования фосфорной кислоты. Потребление пара для концентрирования можно снизить за счет использования тепла, образующегося на установке по производству серной кислоты. Это тепло можно получать в виде горячей воды и использовать в процессе концентрирования слабой кислоты до промежуточной концентрации. Фосфорная кислота чаще всего хранится в облицованных резиной стальных емкостях, хотя используются также нержавеющая сталь, полиэстер и облицованный полиэтиленом бетон. Емкости для хранения обычно снабжены устройствами, позволяющими удерживать твердые частицы во взвешенном состоянии и, соответственно, избежать дорогостоящей очистки емкости[27].

## Фосфорные удобрения (ПСФ/ТСФ)

Фосфорные удобрения получаются добавлением кислоты к раздробленной или размолотой фосфоритовой руде. При использовании серной кислоты производится простой, или нормальный, суперфосфат (ПСФ) с содержанием фосфора 16–21% в перерасчете на пентоксид фосфора ($P_2O_5$). При производстве ПСФ серная кислота и руда смешиваются в реакторе. Реакционная смесь выгружается на медленно движущуюся конвейерную ленту. Если реакционная смесь подается непосредственно в гранулятор, процесс называется "прямым" гранулированием. При "непрямом" гранулировании реакционная смесь перед упаковкой выдерживается для отверждения от 4 до 6 недель, а затем гранулируется[28].

Если для подкисления фосфоритовой руды используется фосфорная кислота, получается тройной суперфосфат (ТСФ) с содержанием фосфора 43–48% в перерасчете на $P_2O_5$. Для производства удобрений ТСФ используются два процесса: без гранулирования и с гранулированием. Процесс без гранулирования аналогичен процессу получения ПСФ. В процессе с гранулированием используется более слабая фосфорная кислота (40% по сравнению с 50% для процесса без гранулирования). Реакционная смесь в виде суспензии распыляется в грануляторе на мелкие частицы удобрений, возвращенные в процесс. Гранулы увеличиваются в размере, а затем

[26] EIPPCB BREF (2006) и EFMA (2000a).

[27] EFMA (2000a).

[28] EIPPCB BREF (2006).

разгружаются в сушильный агрегат, просеиваются и направляются в хранилище[29].

## Комплексные удобрения (АФК)

Комплексные удобрения представляют собой большую группу продуктов, различающихся отношением азота/фосфора/калия (А/Ф/К). Процессы производства также разнообразны, а продукты включают ФК, АФ (например, ДФА), АК и АФК. Это достигается путем использования двух различных процессов: производства по нитрофосфатной технологии и производства на основе смеси кислот.

### *Нитрофосфатная технология*

В результате интегрированного нитрофосфатного (НФ) процесса получаются комплексные удобрения (АФК), содержащие нитрат аммония, фосфат и соли калия (рисунок А.2). Интегрированный процесс начинается с растворения фосфоритовой руды в азотной кислоте. При этом в зависимости от характеристик фосфоритовой руды выделяются разные количества летучих соединений, в том числе диоксид углерода ($CO_2$), оксида азота ($NO_X$) и фтористый водород (HF). Раствор, полученный при выщелачивании, содержит различные количества взвешенных твердых частиц (например, кварцевый песок), которые удаляются центрифугами, гидроциклонами или лепестковыми сепараторами[30]. После промывки удаленные твердые частицы можно использовать в строительной промышленности.

Жидкость, образующаяся в результате этого процесса, содержит ионы кальция в пропорции, которая слишком велика, чтобы гарантировать производство доступного для использования $P_2O_5$. Поэтому раствор охлаждается, что приводит к кристаллизации тетрагидрата нитрата кальция (ТГНК). Раствор фосфорной кислоты, оставшийся нитрат кальция и азотную кислоту, называемую нитрофосфорной кислотой, можно отделить от кристаллов ТГНК методом фильтрации. Затем полученная нитрофосфорная кислота нейтрализуется аммиаком, смешанным с солями калия/магния, сульфатами и/или питательными микроэлементами, и преобразуется в АФК во вращающемся грануляционном барабане, псевдоожиженном слое, колонне для приллирования или смесителе для получения твердых комплексных удобрений[31].

Отделенные кристаллы нитрата кальция растворяются в растворе нитрата аммония и обрабатываются раствором карбоната аммония. Этот раствор фильтруется для удаления кристаллов карбоната кальция и используется при производстве гранулированного удобрения – известково-аммиачной селитры (ИАС). Полученный разбавленный раствор нитрата аммония концентрируется и также используется для производства ИАС или АФК. Раствор нитрата кальция можно также нейтрализовать и выпарить для получения твердого удобрения[32].

Для производства удобрений АФК из содержащей АФ жидкости обычно используются три процесса, а именно приллирование, технология с использованием барабана или смесителя и гранулирование в сферодайзере. При приллировании раствор АФ, смешанный с необходимыми солями и возвращаемым в процесс продуктом, перетекает во вращающийся приллировочный бункер, из которого

[29] EIPPCB BREF (2006).

[30] EFMA (2000b).

[31] Там же.

[32] Там же.

пульпа рассеивается в колонне для приллирования. Вентиляторы в верхней части колонны образуют противоток воздуха навстречу каплям, формирующимся при отверждении[33].

При гранулировании в барабане или смесителе содержащая АФ жидкость вместе с необходимыми солями и возвращаемыми в процесс продуктами распыляется во вращающемся барабанном грануляторе, где образующиеся гранулы высушиваются горячим воздухом во вращающемся сушильном барабане. Воздух, выходящий из барабанов, содержит водяной пар, пыль, аммиак и газообразные продукты горения. Воздух из барабанов, где происходит гранулирование и сушка, обрабатывается в высокопроизводительных циклонах[34].

При гранулировании в сферодайзере происходит распыление пульпы на специальный вращающийся барабан, называемый сферодайзером, где горячий воздух, нагретый до температуры 300–400°C, движется параллельным потоком, испаряя накапливающуюся на гранулах воду[35].

Во всех процессах сухие гранулы АФК просеиваются. Фракция нужного размера передается на стадию кондиционирования, а верхние фракции извлекаются, дробятся и возвращаются в процесс вместе с нижними фракциями. Материал, выходящий из сита, дробилки и конвейера, очищается от пыли с помощью воздуха, необходимого для гранулирования. Коммерческий продукт, выходящий со стадий сушки и просеивания, охлаждается в псевдоожиженном слое, объемном теплообменнике или вращающемся барабане. Образующиеся на этих более поздних стадиях отходящие газы, содержащие небольшие количества пыли и, как правило, не содержащие аммиака, очищаются от пыли в циклонах. Наконец, продукт охлаждается и покрывается оболочкой перед хранением для сведения к минимуму спекания материала. Процедура нанесения оболочки состоит из обработки органическим реагентом и неорганическим порошком, добавляемым в барабан. Кристаллы нитрата кальция, полученные в результате нитрофосфатного процесса, можно переработать в удобрение, состоящее из твердого нитрата кальция (CN), используя технологию приллирования или чашечного гранулирования в качестве альтернативы процессу, предусматривающему преобразование ТГНК и последующую переработку в ИАС[36].

### *Технология на основе смеси кислот*

Процессы производства на основе смеси кислот весьма различны, наиболее распространенными среди них являются система трубчатого реактора, барабанное гранулирование с аммонированием и выщелачивание фосфоритовых руд смесью кислот[37]. Упрощенная схема этих трех процессов представлена на рисунке А.3.

Гранулирование в системе трубчатого реактора происходит на основе классического контура гранулирования с одним или двумя трубчатыми реакторами. Один трубчатый реактор встраивается в гранулятор, а другой можно использовать в сушильном агрегате. Фосфорная кислота или смесь фосфорной и серной кислот нейтрализуется в трубчатом реакторе газообразным или жидким аммиаком.

[33] Там же.

[34] Там же.

[35] Там же.

[36] EFMA (2000b).

[37] EFMA (2000c).

Таким образом можно получать широкий круг продуктов, в том числе фосфаты аммония (монофосфат аммония – МФА и дифосфат аммония – ДФА)[38]. Необходимые твердые исходные вещества, в том числе хлорид калия, сульфат калия, суперфосфат, вторичные питательные вещества, питательные микроэлементы и наполнители, подаются в грануляторы вместе с материалом, возвращаемым в процесс. Трубчатый реактор, встроенный в гранулятор, предназначен для получения фосфорной кислоты, части аммиака и всех остальных жидких входных материалов, например серной кислоты и возвращаемой в процесс скрубберной жидкости. Концентрированный раствор нитрата аммония может добавляться непосредственно в гранулятор, при этом скорость аммонирования в трубчатом реакторе меняется в зависимости от вида продукта. Дальнейшее аммонирование может осуществляться в грануляторе. В трубчатый реактор, встроенный в сушильный агрегат, подаются фосфорная кислота и аммиак.

Гранулирование в барабане с аммонированием состоит из классического контура гранулирования, использующего в основном твердые исходные материалы. Раствор нитрата аммония и/или пар подается/подаются в гранулятор. Этот процесс характеризуется высокой гибкостью и способен дать широкий круг продуктов, в том числе с низким содержанием азота. Раствор нитрата аммония распыляется непосредственно в грануляторе, а серная кислота может подаваться в гранулятор после аммонирования[39]. Гранулы, получаемые в обоих процессах гранулирования, высушиваются потоком горячего воздуха в сушильном агрегате[40]. Сухие гранулы обрабатываются аналогично процессу АФ.

Газы из гранулятора и сушильного агрегата подвергаются влажной очистке в скрубберах Вентури с рециркуляцией раствора фосфата аммония или сульфофосфата аммония. Рециркулирующая скрубберная жидкость подается в трубчатый реактор в грануляторе. Наконец, через циклонные колонны продуваются газы, орошаемые кислым раствором. Газы, выходящие из сушильного агрегата, очищаются от пыли в высокоэффективных циклонах для удаления основного количества пыли перед обработкой в скруббере. Воздух, выходящий из охлаждающих установок, после очистки от пыли обычно возвращается в сушильный агрегат в качестве вторичного воздуха[41].

Процесс на основе смеси кислот с выщелачиванием фосфоритовых руд отличается высокой гибкостью и позволяет получать продукты с разной степенью растворимости фосфатов в воде. Первой стадией процесса является экзотермическое выщелачивание фосфоритовых руд азотной кислотой, в результате чего получаются раствор фосфорной кислоты и нитрат кальция. В ходе выщелачивания в зависимости от типа фосфоритовой руды образуются кислотные газы, например оксиды азота и соединения фтора. Другие исходные материалы, в том числе фосфорная, серная и азотная кислоты или раствор НА, добавляются после выщелачивания. Кислая пульпа насыщается газообразным аммиаком после нейтрализации; также добавляются другие компоненты, в том числе фосфаты аммония, суперфосфаты, сульфат аммония и соединения, содержащие калий и магний. Большинство этих

[38] Там же.

[39] EFMA (2000c).

[40] Там же.

[41] Там же.

материалов может также добавляться перед нейтрализацией или во время нее, однако если исходное сырье содержит хлорид, показатель pH пульпы должен лежать в интервале 5–6 для предотвращения образования хлористого водорода. Батарея реакторов заканчивается буферной емкостью. Далее гранулирование пульпы может выполняться с использованием различного оборудования, в том числе барабана, мешалки или сферодайзера[42].

Газы из реакторов выщелачивания, где фосфоритовая руда выщелачивается азотной кислотой, подвергаются раздельной обработке в скруббере с разбрызгивающим устройством для извлечения $NO_X$ и соединений фтора. Показатель pH регулируется добавлением аммиака. Газы из реактора для аммонирования обрабатываются в скруббере за несколько стадий противоточной влажной очистки. Показатель pH выбирается для формирования в скруббере оптимальных условий (pH 3–4) с помощью смеси $HNO_3$ и/или $H_2SO_4$. Первая стадия обработки обеспечивает насыщение газов, вторая стадия – скруббинга высокого давления Вентури – предназначена для удаления аэрозолей. Последующие стадии повышают эффективность извлечения, а на последней стадии используется самая чистая скрубберная жидкость. В трубе или непосредственно перед ней устанавливается каплеотделитель. Газы из сушильного агрегата (гранулятора/осушителя) перед входом в скруббер проходят через циклоны. Скруббер состоит из системы Вентури с переменным сечением, после которой следует двухстадийная очистка в скруббере. На последней стадии должна использоваться самая чистая жидкость. Часть жидкости после циркуляции поступает в осадитель для отделения твердых частиц. Масса, содержащая осадок, подается в реакторы[43].

[42] Там же.

[43] EFMA (2000c).

*Рисунок А.1. Объединенные предприятия по производству фосфатных удобрений*

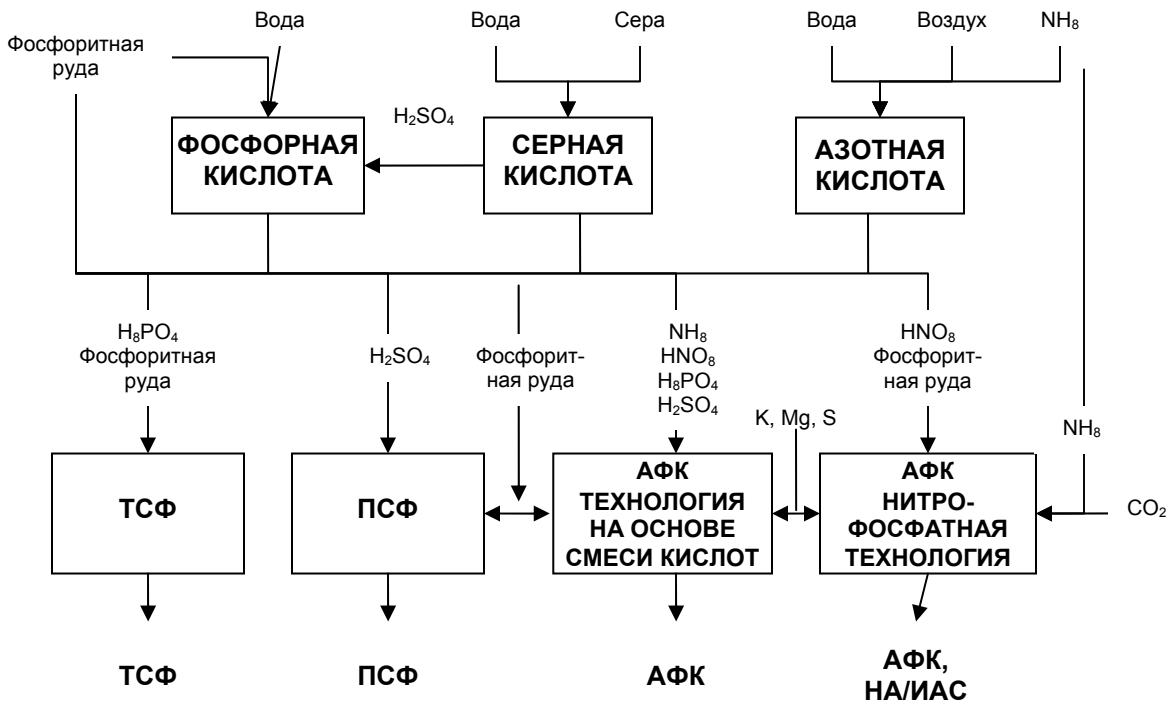

*Рисунок А.2. Комплексные удобрения: нитрофосфатная технология*

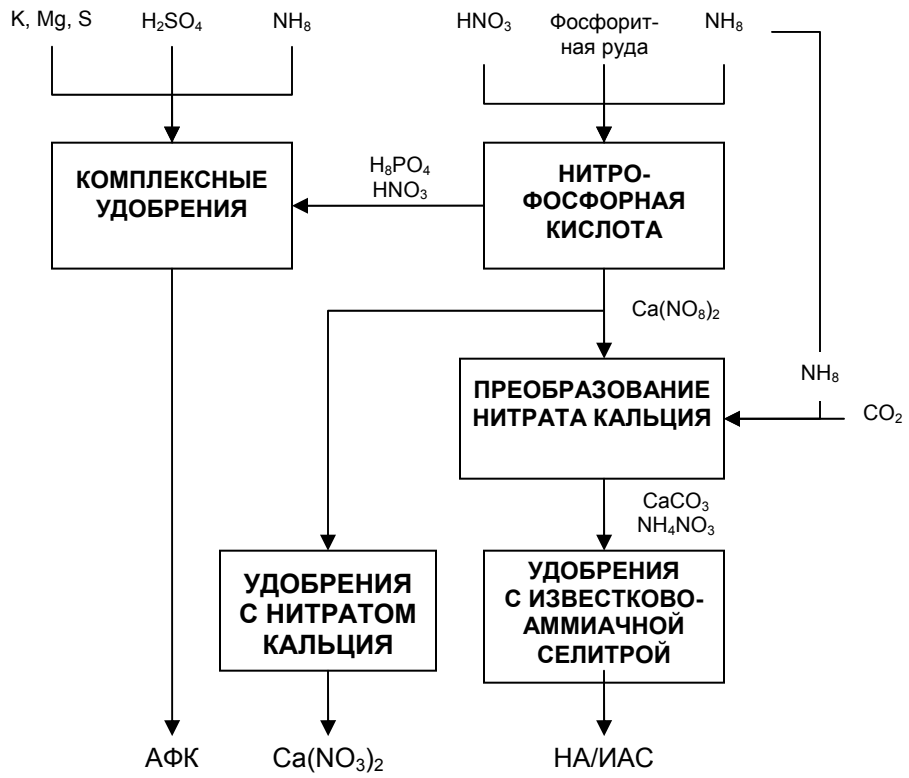
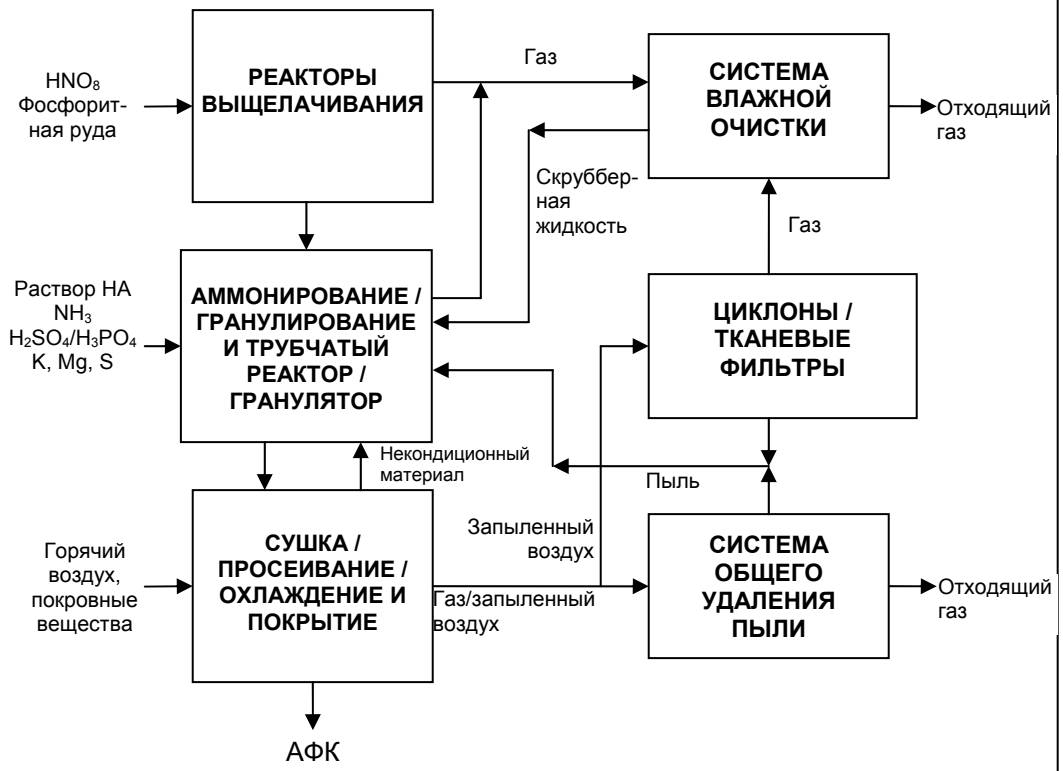
*Рисунок А.3. Технология на основе смеси кислот*