МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**БЕЛОРУСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

# Кафедра технологии

Индивидуальная работа на тему:

«Производство серной кислоты контактным способом».

Выполнил студент I курса ФБД: Клименок М. А.

Проверил преподаватель: Тарасевич В. А.

Минск 2002г.

**План**

* Реферат
* Описание контактного способа производства серной кислоты
* Принципиальная технологическая схема производства серной кислоты контактным способом
* Динамика трудозатрат при развитии технологического процесса
* Расчёт уровня технологии, тех вооруженности и производительности живого труда
* Заключение
* Литература и источники

**Реферат**

Данная работа состоит из 12 страниц.

Ключевые слова: Серная кислота, Контактный способ, Реакция, Технология производства, Динамика трудозатрат, Технологический процесс.

В данной работе изучена и описана технология производства серной кислоты контактным способом. Приведены иллюстрации, схемы, графики, и таблицы, отражающие суть технологического процесса. Выделены важнейшие тенденции развития производства серной кислоты контактным способом

Проведён анализ динамики трудозатрат живого и прошлого труда а также динамика трудозатрат при развитии технологического процесса. Рассчитан уровень технологии, тех вооруженности и производительности живого труда. Сделаны соответствующие выводы и заключения.

# Описание контактного способа производства серной кислоты

Контактным способом производится большое количество сортов серной кислоты, в том числе олеум, содержащий 20% свободной SO3, купоросное масло (92,5% Н2SO4 и 7,5% Н2О), аккумуляторная кислота, примерно такой же концентрации, как и купоросное масло, но более чистая.

Контактный способ производства серной кислоты включает три стадии: очистку газа от вредных для катализатора примесей; контактное окисление сернистого ангидрида в серный; абсорбцию серного ангидрида серной кислотой. Главной стадией является контактное окисление SO2 в SO3; по названию этой операции именуется и весь способ.

Контактное окисление сернистого ангидрида является типичным примером гетерогенного окислительного экзотермического катализа. Это один из наиболее изученных каталитических синтезов.



Равновесие обратимой реакции  
**2SO2 + O2 >< 2 SO3 + 2 x 96,7 кдж (500 оС)** (а)  
в соответствии с принципом Ле-Шателье сдвигается в сторону образования SO3 при понижении температуры и повышении давления; соответственно увеличивается равновесная степень превращения SO2 в SO3

Следует отметить, что повышение давления естественно увеличивает и скорость реакции (а). Однако повышенное давление в этом процессе применять нерационально, так как кроме реагирующих газов пришлось бы сжимать балластный азот, составляющий обычно 80 % от всей смеси и поэтому в производственном цикле активно используют катализаторы.

Наиболее активным катализатором является платина, однако она вышла из употребления вследствие дороговизны и легкой отравляемости примесями обжигового газа, особенно мышьяком. Окись железа дешевая, но при обычном составе газа - 7% SO2 и 11% О2 она проявляет каталитическую активность только при температурах выше 625 оС, т.е. когда хр 70%, и поэтому применялась лишь для начального окисления SO2 до достижения хр 50-60%. Ванадиевый катализатор менее активен, чем платиновый, но дешевле и отравляется соединениями мышьяка в несколько тысяч раз меньше, чем платина; он оказался наиболее рациональным и только он применяется в производстве серной кислоты. Ванадиевая контактная масса содержит в среднем 7% V2O5; активаторами являются окислы щелочных металлов, обычно применяют активатор К2О; носителем служат пористые алюмосиликаты. В настоящий момент катализатор применятся в виде соединения SiO2, K и/или Cs, V в различных пропорциях. Такое соединение оказалось наиболее устойчивым к кислоте и наиболее стабильным. Во всем мире его более корректное названия «ванадий - содержащий». Такой катализатор разработан специально для работы с невысокими температурами, что приводит в меньшим выбросам в атмосферу. Кроме того - такой катализ дешевле нежели калий/ванадиевый. Обычные ванадиевые контактные массы представляют собой пористые гранулы, таблетки или кольца **(Рис. 1)**.



При условиях катализа окись калия превращается в K2S2O7, а контактная масса в общем представляет собой пористый носитель, поверхность и поры которого смочены пленкой раствора пятиокиси ванадия в жидком пиросульфате калия.  
Ванадиевая контактная масса эксплуатируется при температурах от 400 до 600 оС. При увеличении температуры выше 600 оС начинается необратимое снижение активности катализатора вследствие спекания компонентов с образованием неактивных соединений, не растворимых в пиросульфате калия. При понижении температуры активность катализатора резко снижается вследствие превращения пятивалентного ванадия в четырехвалентный с образованием малоактивного ванадила VOSO4.

Процесс катализа слагается из стадий: 1) диффузии реагирующих компонентов из ядер газового потока к гранулам, а затем в порах контактной массы; 2) сорбции кислорода катализатором (передача электронов от катализатора к атомам кислорода); 3) сорбции молекул SO2 с образованием комплекса SO2 \* О \* катализатор ; 4) перегруппировки электронов с образованием комплекса SO2 \* катализатор; 5) десорбции SO3 из пор контактной массы и от поверхности зерен.

При крупных гранулах контактной массы суммарная скорость процесса определяется диффузией реагентов (1-я и 6-я стадии). Обычно стремятся получить гранулы не более 5 мм в поперечнике; при этом процесс идет на первых стадиях окисления в диффузионной, а на последних (при х 80%) в кинетической области.

Вследствие разрушения и слеживания гранул, загрязнения слоя, отравления катализатора соединениями мышьяка и температурной порчи его при случайных нарушениях режима ванадиевая контактная масса заменяется в среднем через 4 года. Если же нарушена очистка газа, получаемая обжигом колчедана, то работа контактного аппарата нарушается вследствие отравления первого слоя контактной массы через несколько суток. Для сохранения активности катализатора применяется тонкая очистка газа мокрым способом.

**Принципиальная технологическая схема производства серной кислоты контактным способом**

Лучшим сырьем для производства сернистого газа служит сера, которая выплавляется из природных пород, содержащих серу, а также получается как побочный продукт при производстве меди, при очистке газов и т.п. Сера плавится при температуре 113 градусов С, легко воспламеняется и сгорает в простых по устройству печах **(Рис. 2)**. Получается газ высокой концентрации, с маленьким содержанием вредных примесей.

Сжигание серы происходит по реакции S + O2 > SO2 + 296 кДж Фактически сера перед горением плавится и испаряется (т. кип. ~444 оС) и сгорает в газовой фазе. Таким образом, сам процесс горения гомогенный.



*Компрессор и камера сгорания*



*Недогоревшая сера  
Воздух для горения и догорания серы  
Жидкая сера  
Сжатый воздух  
Продукт – обжиговый газ*



*технологическая схема производства серной кислоты*

*1 - 1-я промывная башня; 2 - 2-я промывная башня с насадкой; 3 - мокрый электрофильтр; 4 - сушильная башня с насадкой; 5 - турбокомпресор; 6 - трубчатый теплообменник; 7 - контактный аппарат; 8 - трубчатый холодильник газа; 9 и 10 - абсорбционные башни с насадкой; 11 - центробежные насосы; 12 - сборники кислоты; 13 - холодильники кислоты*

Обжиговый газ после грубой очистки от пыли в огарковых электрофильтрах при температуре около 300 оС поступает в полую промывную башню **(Рис. 3: 1,2),** где разбрызгивается холодная серная кислота (75%-ная H2SO4). При охлаждении газа имеющиеся в нем серный ангидрид и пары воды конденсируются в виде мельчайших капелек. В этих капельках растворяется окись мышьяка. Образуется мышьяковокислотный туман, который частично улавливается в первой башне и во второй башне с керамиковой насадкой. Одновременно улавливаются остатки пыли, селен и другие примеси. Образуется грязная серная кислота (до 8% от общей выработки), которую выдают как нестандартную продукцию. Окончательная очистка газа от трудноуловимого мышьяковокислотного тумана производится в мокрых фильтрах **(Рис. 3: 3)**, которые устанавливают последовательно (два или три). Принцип действия мокрых фильтров таков же, как и сухих. Капельки туммана осаждаются на трубчатых осадительных электродах, изготовленных из свинца или пластмассы «АТМ», и стекают вниз. Очистка газа завершается осушкой его от паров воды купоросным маслом в башне с насадкой **(Рис. 3: 4)**. Обычно устанавливаются две сушильные башни. Башни, газоходы и сборники кислоты в отделении очистки обычно устанавливают стальные, футерованные кислотоупорным кирпичом или диабазовой плиткой. Сухой сернистый газ и серный ангидрид не агрессивны, поэтому всю последующую аппаратуру вплоть до моногидратного абсорбера можно монтировать из обычной углеродистой стали без защиты от коррозии.

Большое количество аппаратуры создает значительное сопротивление потоку газа (до 2 м вод.ст.), поэтому для транспортировки газа устанавливается турбокомпрессор **(Рис. 3: 5)**. Компрессор, просасывая газ из печей через всю аппаратуру, нагнетает его в контактный узел.

Контактный узел **(Рис. 3: 6,7,8)** состоит из контактного аппарата, кожухотрубного теплообменника и не показанного на схеме **(Рис. 4)**. огневого пускового подогревателя газа. В теплообменнике пускового подогревателя газ нагревается перед поступлением в аппарат при пуске или при падении температуры в аппарате ниже нормы.  
Обычно применяются полочные контактные аппараты. Такой аппарат имеет цилиндрический корпус диаметром от 3 до 10 и высотой 10-20 м. Внутри корпуса установлены четыре-пять решеток со слоем гранул контактной массы на каждой из них. Между слоями контактной массы установлены промежуточные трубчатые или коробчатые теплообменники. На схеме представлен четырехслойный контактный аппарат, хотя чаще применяются пятислойные аппараты, но принцип их дествия полностью аналогичен, разница лишь в еще одном слое ктализатора. Свежий газ подогревается за счет тепла прореагировавшего горячего газа сначала во внешнем теплообменнике, потом он частично или полностью проходит для подогрева последовательно три-четыре внутренних теплообменника, при 440-450 оС поступает в первый слой контактной массы. Эта температура регулируется открыванием задвижек. Главное назначение внутренних теплообменников - охлаждение частично окисленного и разогретого в слое катализатора газа, таким образом, чтобы режим ступенчато приближался к кривой оптимальных температур.

*Полочные контактные аппараты* - *один из наиболее распространненых типов контактных аппаратов. Принцип их действия состоит в том, что подогрев и охлаждение газа между слоями катализатора, лежащими на полках, производится в самом контактном аппарате с использованием различных теплоносителей или способов охлаждения .В аппаратах такого типа высота каждого нижележащего слоя катализатора выше, чем расположенного над ним, т.е. увеличивается по ходу газа, а высота теплообменников уменьшается, так как по мере возрастания общей степени превращения скорость реакции снижается и соответственно уменьшается количество выделившегося тепла. В межтрубном пространстве теплообменников последовательно снизу вверх проходит свежий газ, охлаждая продукты реакции и нагреваясь до тепмпературы начала реакции*



Производительность контактных аппаратов в пересчете на H2SO4 в зависимости от их размеров составляет от 50 до 500 т в сутки H2SO4. Разработаны конструкции контактных аппаратов мощностью 1000 и 2000 т в сутки. В аппарат загружают 200-300 л контактной массы на 1 т суточной выработки. Трубчатые контактные аппараты применяются для окисления SO2 реже, чем полочные. Для окисления сернистого газа повышенной концентрации рационально применять контактные аппараты с кипящими слоями катализатора.

Абсорбцию серного ангидрида по реакции **SO3+H2O = H2SO4+9200 Дж** обычно проводят в башнях с насадкой (Рис. 3: 9,10), так как барботажные или пенные абсорберы при большой интенсивности работы обладают повышенным гидравлическим сопротивлением. Если парциальное давление водяных паров над поглощающей кислотой значительно, то SO3 соединяется с H2O в газовой фазе и образует мельчайшие капельки трудноуловимого сернокислотного тумана. Поэтому абсорбцию ведут концентрированными кислотами. Наилучшей по абсорбционной способности является кислота, содержащая 98,3% Н2SO4 и обладающая ничтожно малой упругостью как водяного пара, так и SO3. Однако за один цикл в башне невозможно закрепление кислоты с 98,3% до стандартного олеума, содержащего 18,5-20% свободного серного ангидрида. Ввиду большого теплового эффекта абсорбции при адиабатическом процессе в башне кислота разогревается и абсорбция прекращается. Поэтому для получения олеума абсорбцию ведут в двух последовательно установленных башнях с насадкой: первая из них орошается олеумом, а вторая - 98,3%-ной серной кислотой. Для улучшения абсорбции охлаждают как газ, так и кислоту, поступающую в абсорбер, при этом увеличивается движущая сила процесса.

Во всех башнях контактного производства, включая и абсорберы, количество орошающей кислоты во много раз больше, чем нужно для поглощения компонентов газа (Н2О, SO3) и определяется тепловым балансом. Для охлаждения циркулирующих кислот устанавливаются обычно оросительные холодильники, в трубах которых, орошаемых снаружи холодной водой, протекает охлаждаемая кислота.

Производство серной кислоты значительно упрощается при переработке газа, получаемого сжиганием предварительно расплавленной и профильтрованной природной серы, почти не содержащей мышьяка. В этом случае чистую серу сжигают в воздухе, который предварительно высушен серной кислотой в башне с насадкой. Получается газ 9% SO2 и 12% О2 при температуре 1000 оС, который сначала направляется под паровой котел, а затем без очистки в контактный аппарат. Интенсивность работы аппарата больше, чем на колчеданном газе, вследствие повышенной концентрации SO2 и О2. В аппарате нет теплообменников, так как температура газов снижается добавкой холодного воздуха между слоями. Абсорбция SO3 производится так же, как и в технологической схеме.

Важнейшие тенденции развития производства серной кислоты контактным способом:

1) интенсификация процессов проведением их во взвешенном слое, применением кислорода, производством и переработкой концентрированного газа, применением активных катализаторов;

2) упрощение способов очистки газа от пыли и контактных ядов (более короткая технологическая схема);

3) увеличение мощности аппаратуры;

4) комплексная автоматизация производства;

5) снижение расходных коэффициентов по сырью и использование в качестве сырья серосодержащих отходов различных производств;

6) обезвреживание отходящих газов.

Динамика трудозатрат при развитии технологического процесса

В общем виде весь вышеизложенный материал можно изобразить следующим образом:



## Известно что данный технологический процесс и динамику трудозатрат харрактеризуют следующие формулы:

**1250**

**Тж = ---------------------- Тп = 0,004 \* t2 +0,3 Тс = Тж + Тп**

**21 \* t2 +1575**

Взаимосвязь между этими формулами выглядит так:

**59,5238 1250**

**Тп = 0,004 \* - 75 +0,3 и Тж = 21 \* Тп-0,3 +1575**

**Тж 0,004**

Основываясь на вышеизложенных формулах проведём расчёты и сведём их в общую таблицу **(Таб. 1):**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **(Таб. 1): Динамика трудозатрат на производстве серной кислоты на 15 лет** | | | | | | | | | | | | | | | |
| t (Время, года) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Затраты живого труда | 0,78 | 0,75 | 0,71 | 0,654 | 0,595 | 0,54 | 0,48 | 0,43 | 0,38 | 0,34 | 0,3 | 0,27 | 0,24 | 0,22 | 0,198 |
| Затраты прошлого труда | 0,3 | 0,32 | 0,34 | 0,364 | 0,4 | 0,44 | 0,496 | 0,56 | 0,62 | 0,7 | 0,78 | 0,88 | 0,98 | 1,08 | 1,2 |
| Совокупные затраты | 1,09 | 1,07 | 1,04 | 1,018 | 0,995 | 0,98 | 0,976 | 0,98 | 1,01 | 1,04 | 1,09 | 1,15 | 1,22 | 1,3 | 1,398 |

На основании таблицы построим графики зависимостей Тж, Тп, Тс от времени **(Рис. 7)** и зависимости Тж от Тп **(Рис. 6)** и Тп от Тж **(Рис. 8)**.



Из данного графика видно, что данный технологический процесс является ограниченным в своём развитии.

Экономический предел накопления прошлого труда наступит через семь лет.



Из графиков 7 и 8 видно что вид технологического процесса является трудосберегающим.

**Расчёт уровня технологии, тех вооруженности и производительности живого труда.**

Уровень технологии рассчитывается по формуле:

**Утех = 1/Тж \* 1/ ТП**

Производительность живого труда:

**L = У тех  \* В**

Техническая вооружённость рассчитывается:

**В = Тп / Тж**

Относительный уровень технологии:

**Уотнос = Утех/ L**

Проведём расчёты используя приведёные выше формулы и данные занесём в таблицу **(Таб. 2)**:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| T Время (года) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Затраты живого труда | 0,78 | 0,75 | 0,71 | 0,654 | 0,595 | 0,54 | 0,48 | 0,43 | 0,38 | 0,34 | 0,3 | 0,27 | 0,24 |
| Затраты прошлого труда | 0,3 | 0,32 | 0,34 | 0,364 | 0,4 | 0,44 | 0,496 | 0,56 | 0,62 | 0,7 | 0,78 | 0,88 | 0,98 |
| Совокупные затраты | 1,09 | 1,07 | 1,04 | 1,018 | 0,995 | 0,98 | 0,976 | 0,98 | 1,01 | 1,04 | 1,09 | 1,15 | 1,22 |
| Уровень технологии | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 |
| Тех. вооруженность | 0,39 | 0,42 | 0,47 | 0,556 | 0,672 | 0,83 | 1,033 | 1,3 | 1,64 | 2,058 | 2,58 | 3,22 | 4 |
| Производительность Тж | 1,28 | 1,33 | 1,41 | 1,529 | 1,68 | 1,86 | 2,083 | 2,34 | 2,62 | 2,94 | 3,29 | 3,68 | 4,1 |
| Относ уровень технологии | 3,29 | 3,16 | 2,98 | 2,747 | 2,5 | 2,25 | 2,016 | 1,8 | 1,6 | 1,429 | 1,28 | 1,14 | 1,02 |

Из данной таблицы видно что рационалистическое развитие целесообразно только в течении семи лет поскольку в этот период времени относительный уровень технологии больше производительности живого труда.

**Заключение**

В данной работе изучена и описана технология производства серной кислоты контактным способом, проведён анализ динамики трудозатрат живого и прошлого труда а также динамика трудозатрат при развитии технологического процесса. На основании проделанной работы получены следующие выводы: Развитие тех процесса ограничено, экономический предел накопления прошлого труда равен семи годам, данный технологический процесс является трудосберегающим и рационалистическое развитие целесообразно в течении семи лет.

**Литература и источники:**

1. **ПРОИЗВОДСТВО СЕРНОЙ КИСЛОТЫ** /Бараненко Д. **http://service.sch239.spb.ru:8101/infoteka/root/chemistry/room1/baran/chem.htm**
2. **Технология важнейших отраслей промышленности: Учеб. Для эк. Спец. Вузов / А.М. Гинберг, Б.А. Хохлов. – М.: Высшая школа, 1985.**