

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ "ЛЬВОВСКАЯ ПОЛИТЕХНИКА"

На правах рукописи
УДК 36.061.16:661.21

ЧЕРНОВ Валерий Павлович

МАССООБМЕН ПРИ РАСТВОРЕНИИ СЕРЫ С ОБРАЗОВАНИЕМ
ПОЛИСУЛЬФИДОВ НАТРИЯ

Специальность: 05.17.06 - "Процессы и аппараты химической
технологии"

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Львов - 1993

АВ 28.522

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре химической инженерии и промышленной экологии Государственного университета " Львовская политехника "

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Семенишин Евгений Михайлович.

Научный консультант кандидат технических наук, ст. научный сотрудник Малеваныч Мирослав Степанович.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, профессор Молчанов Анатолий Дмитриевич.

2. Кандидат технических наук, доцент Лабац Владимир Иосипович.

Ведущая организация: Отделение горно-химического сырья Академии горных наук Украины.

Защита состоится " 17 " декабря 1993 г. на заседании специализированного ученого совета Д 068.36.03 при Государственном университете " Львовская политехника " по адресу : 290646, Львов-13, пл.св. Юры 3/4, корп. 8, ауд.339.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного университета " Львовская политехника " по адресу: г.Львов-13, ул. Профессорская,1.

Автореферат разослан " 14 июля 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
Д 068.36.03

Лизневский В.М.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00810547 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Растворы полисульфида натрия находят широкое применение в резинотехнической промышленности / для получения тиоколов на заводах синтетического каучука /, в кожевенной промышленности / для обезволаживания шкур /, в сельском хозяйстве / в качестве высокоэффективного фунгицида и инсектоцида /.

Существующий способ получения полисульфида натрия, основывающийся на использовании в качестве сырья молотой серы малоэффективен из-за сравнительно большой длительности процесса, достигающей 6 часов. Поэтому поиски более эффективных технологических процессов, обеспечивающих большую скорость образования полисульфидов и высокое качество получаемого продукта, определяют актуальность данной проблемы.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с Координационным планом научно-исследовательских работ по процессам и аппаратам химических производств и кибернетике химико-технологических процессов, утвержденным 8.05.1987 г. по направлению 13 "Исследование, моделирование и интенсификация процессов экстрагирования, выщелачивания и растворения" / № гос. регистрации 01860053909 /.

Цель работы: установление механизма процесса растворения серы растворами гидроксида натрия и моносульфида натрия; определение кинетических констант, необходимых для расчета процесса образования полисульфидов; математическое описание процесса взаимодействия серы с гидроксидом натрия; разработка технологии промышленного производства полисульфидных растворов.

Научная новизна. Установлен механизм растворения серы растворами гидроксида и моносульфида натрия. Определена лимитирующая стадия химического взаимодействия и разработана методика расчета кинетических констант процесса. Разработана математическая модель процесса взаимодействия серы с гидроксидом натрия, позволяющая прогнозировать темп нарастания концентрации серы.

Практическая ценность работы. На основе теоретических и экспериментальных исследований осуществлен выбор и расчет основной аппаратуры, а также виданы исходные данные на проектирование опытно-промышленной установки по получению растворов полисульфида натрия производительностью 10000 м³/год. При этом получены полисульфида и моносульфида натрия внедрен на Самарском заводе "Алюмин" с годовым объемом прибыли 402 тыс. руб. / в ценах 1991 года /.

Автор защищает:

- механизм массообмена при растворении серы раствором гидроксида натрия ;

- кинетические закономерности растворения монодисперсной серы растворами гидроксида натрия и моносульфида натрия с образованием полисульфидов натрия в условиях естественной конвекции при постоянной и переменной движущей силе ;

- математическую модель растворения монодисперсной серы ;

- технологию промышленного производства растворов полисульфидов и дисульфидов натрия.

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждались на научных конференциях :

1. VIII Республиканской конференции " Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств ", 1991 г., г.Днепропетровск.

2. III-ей научно-технической конференции " Совершенствование технологии кожевного производства ", 1989 г., г.Курск.

Публикации. Основное содержание работы изложено в 4 научных статьях, 3 тезисах докладов и 1 авторском свидетельстве на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, выводов, списка использованной литературы из 115 наименований и приложений. Работа изложена на 145 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дан краткий обзор литературы по кинетике массообмена в системе твердое тело - жидкость, сопровождающегося химической реакцией, химическому образованию сульфидов и полисульфидов щелочных металлов, особенностях автокаталитических процессов растворения, технологическим решениям производств сульфидов и полисульфидов щелочных и щелочноземельных металлов. Сформулированы цель и задачи исследований.

Вторая глава посвящена исследованиям кинетики образования полисульфидных растворов при растворении серы раствором гидроксида и моносульфида натрия. Установлено, что при растворении монодисперсной серы раствором гидроксида натрия механизм растворения является автокаталитическим / катализируют реакцию ненасыщенные по сере сульфид-ионы /. Такой процесс описывается уравнением вида

$$\varphi = (B/\gamma + 1) - B\Phi(\tau) \quad (1)$$

где

$$B = \frac{K V_0 F_M}{3 M \gamma \psi}; \quad \varphi = \frac{\tau}{2 \mu}; \quad \Phi(\tau) = \frac{\exp(\psi \tau)}{\psi} - 1 \quad (2)$$

/ Расшифровка обозначений приведена в разделе " Условные обозначения " / .

В качестве исследуемых объектов использовались комовая сера фракции 2-3 мм в количестве 0,33 кг и 20% раствор гидроксида натрия объемом 1 л. Эксперименты проводились при температурах 25, 37, 45, 65, 78 и 90°C. Кинетика растворения серы при температуре 65, 78 и 90°C представлена на рис.1, а при температуре 45°C - в таблице.

№	τ , час	$S_{\text{тио}}$, кг/м ³	$S_{\text{моно}}$, кг/м ³	$S_{\text{поли}}$, кг/м ³	ΣS , кг/м ³
1	2	3	4	5	6
1.	1,5	3,7	2,2	2,5	8,4
2.	3	11	10	34	55
3.	4,5	25	22	68	115
4.	6	41	39	113	193
5.	7,5	48	50	154	252
6.	9	56	50	160	266

Как видно из рис.1, для всех кинетических кривых характерна S образная форма, что указывает на наличие 3-х стадий процесса растворения: стадия индукции активных центров, стадия развития автокаталитической реакции и стадия израсходования одного из реагентов. Адекватность уравнения (1) экспериментальным данным подтвердила программа, проводившаяся на ЭВМ ЕС-1035 с использованием программы **BMDP 1R**.

Для установления области изменения механизма процесса образования полисульфидов натрия и расчета энергии активации этого процесса построена зависимость $B = f(1/T)$ (рис.2).

Анализ данных (рис.2) указывает что эта зависимость состоит из 2 линейных участков. Это подтверждает наличие двух механизмов растворения, существующих в интервалах температур 25-57 и 57-90°C. Эксперименты исследования установили автомодельность процесса по отношению к гидродинамической обстановке на всем исследованном температурном интервале.

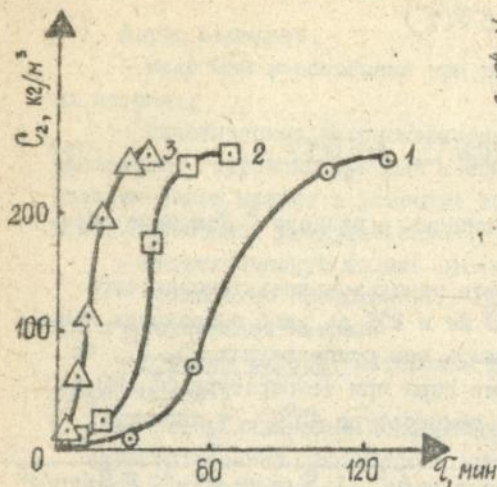


Рис.1. Кинетика растворения монодисперсной серы в растворе гидроксида натрия при $n = 300$ об/мин и температурах 5, 78, 90°C - кривые 1, 2, 3, соответственно.

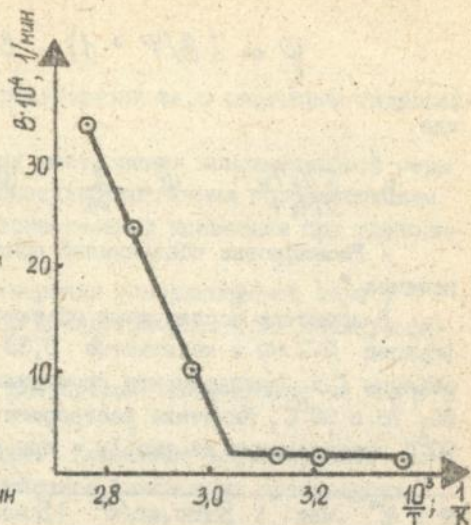


Рис.2. Зависимость $\beta = f(1/T)$ для процесса растворения серы в растворе гидроксида натрия.

Значение энергии активации для двух указанных участков составило $E_1 = 33,17$ кДж/моль, $E_2 = 63,89$ кДж/моль.

При растворении монодисперсной серы раствором моносульфида натрия установлено, что лимитирующей стадией является химическая реакция I-го порядка. Кинетика такого процесса описывается уравнением вида

$$\Phi(1/\varepsilon) - \Phi(y) = \frac{K F_{\text{H}} \beta \varepsilon^2 n^2}{3 M_{\text{H}}} \quad ; \quad (3)$$

$$\frac{M_{\text{H}}}{nV} = \beta \quad ; \quad \frac{C_{\text{H}}}{\beta} - 1 = \varepsilon^3 \quad ; \quad y = \varphi/\varepsilon \quad ;$$

$$\Phi(y) = \frac{1}{6} \ln \frac{1+y^2}{1-y+y^2} + \frac{1}{\sqrt{3}} \operatorname{arctg} \frac{2y-1}{\sqrt{3}} \quad . \quad (4)$$

Изучение данного процесса проводилось в реакторе с мешалкой при температурах 25, 45 и 65°C. В качестве исследуемого объекта использовались комовая сера фракции +2-3 мм в количестве 160 г, раствор гидросульфида натрия и 20% раствор гидроксида натрия в отношении 1:1,28, образующие при смешении раствор моносulfида натрия. Кинетика растворения серы в растворе моносulfида натрия ставлена на рис.3.

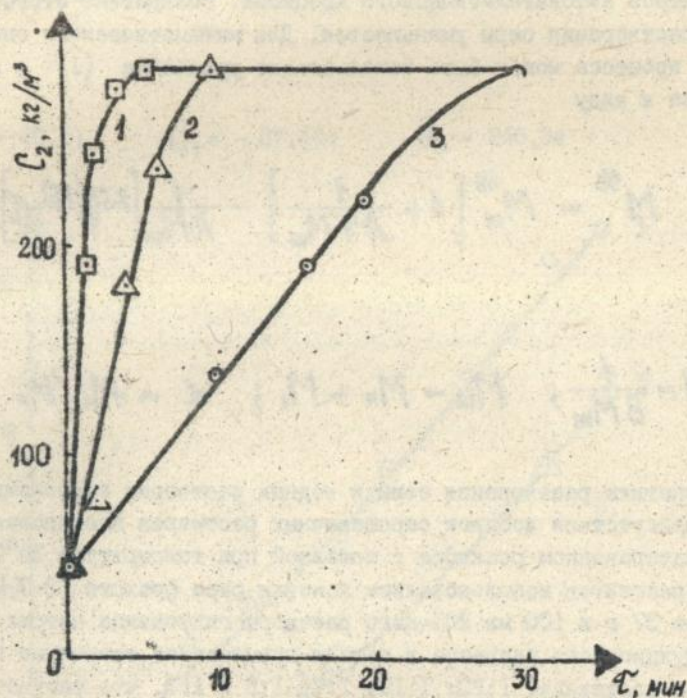


Рис. 3. Кинетика образования дисulfида натрия при температурах (°C) : 1-65; 2-45; 3-25.

Из уравнения (3) следует что между величинами $\varphi(y)$ τ должна существовать линейная зависимость. Проверка степени неаризации указанной зависимости показала, что минимальное значение критерия Фишера (236,437) ниже допустимого для уровня значимости 5%, что подтверждает линейность зависимости (3), а следовательно обоснованность допущения о лимитирующей процесс реакции I-го порядка. Значения констант скорости химической реакции составили

$K_1 = 1,522 \cdot 10^{-4}$ м/с при $t = 25^\circ\text{C}$; $K_2 = 5,327 \cdot 10^{-4}$ м/с при $t = 45^\circ\text{C}$; $K_3 = 1,035 \cdot 10^{-3}$ м/с при $t = 65^\circ\text{C}$.

Интенсификация процесса растворения серы раствором гидроксида натрия может быть достигнута введением в начальной стадии процесса растворения добавок производного раствора. При этом дополнительно вносится некоторое количество серы M_1 , часть которой находится в виде ненасыщенных сульфид-ионов, которые играют роль активных центров автокаталитического процесса. Вследствие этого общее время растворения серы уменьшается. Для математического описания такого процесса может быть использовано уравнение (1), преобразованное к виду

$$M^{1/3} = M_{ин}^{1/3} \left[1 + \frac{1}{A \psi M_{ин}} \right] - \frac{1}{A M_{ин}} \left[\frac{\exp(\psi t)}{\psi} - t \right], \quad (5)$$

где

$$A = \frac{1}{B M_{ин}}; \quad M_{ин} = M_{н} + M_1; \quad d = M_1 / M_{ин}. \quad (6)$$

Кинетика растворения серы в водных растворах гидроксида натрия в присутствии добавок серощелочных растворов исследовалась в термостатированном реакторе с мешалкой при температуре 25°C . В качестве реагентов использовались комовая сера фракции 2-3 мм в количестве 37 г и 100 мл 20%-ного раствора гидроксида натрия. Добавка производного раствора в начале процесса по отношению к объему реагента составила: 1:20; 1:10; 1:7; 1:5 и 1:3, что соответствовало значениям d равным 0,014; 0,056; 0,083; 0,125 и 0,203, соответственно.

Кинетика растворения серы для значений $d = 0; 0,056; 0,203$ представлена на рис. 4.

Для всех значений d проверялась степень линейризации зависимости (5). При этом минимальное значение выборочного коэффициента корреляции составляло 0,852, что больше критического значения для уровня значимости 1%. Это подтверждает адекватность уравнения (5) реальному процессу. Значения A определялись из уравнения линейной регрессии при $d = 0$. Зависимость времени полного раст-

ворения τ_n от α аппроксимирована с помощью программы *BMDP5R* "Полиномиальная зависимость" Пакета прикладных программ "СОМИ". В результате аппроксимации получено уравнение

$$\tau_n = a_0 + a_1\alpha + a_2\alpha^2 \quad (7)$$

где

$$a_0 = 20,5; \quad a_1 = -87,46; \quad a_2 = 246,34$$

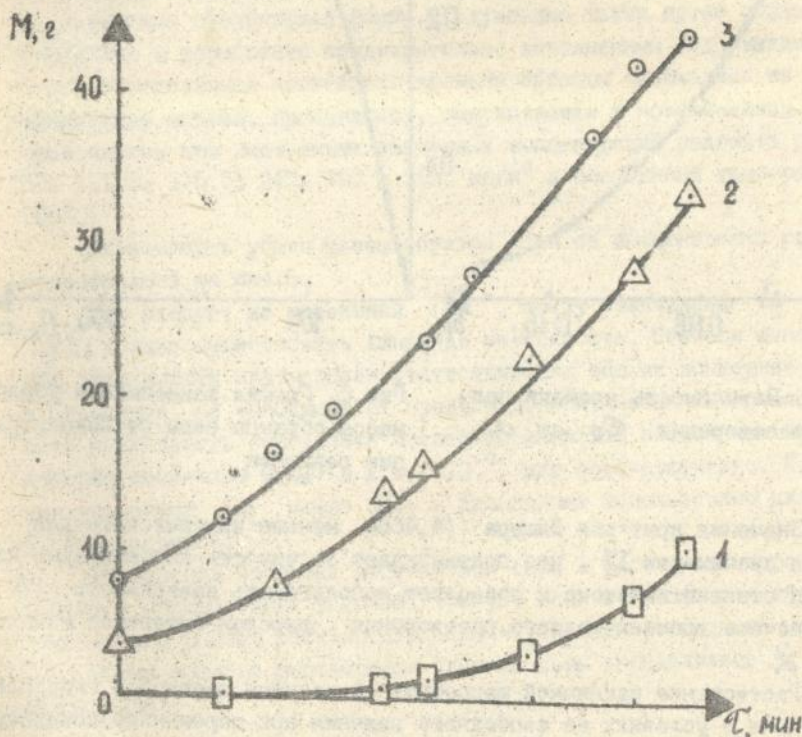


Рис.4. Зависимость массы серы, находящейся в растворе M от продолжительности растворения τ при значениях $\alpha = 0; 0,019; 0,203$ - кривых 1, 2, 3, соответственно

Вид зависимости $\tau_n = f(d)$ представлен на рис.5

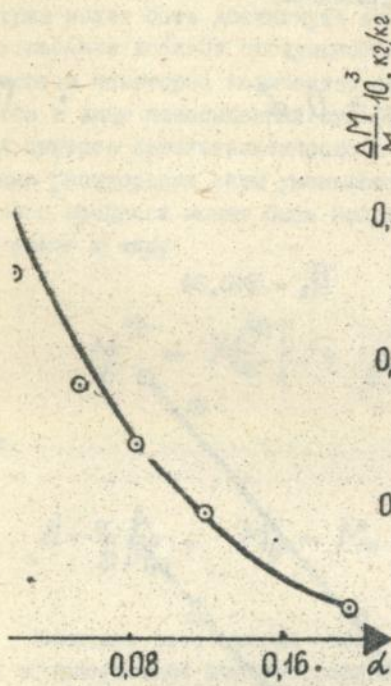


Рис.5. Зависимость времени полного растворения τ_n от d

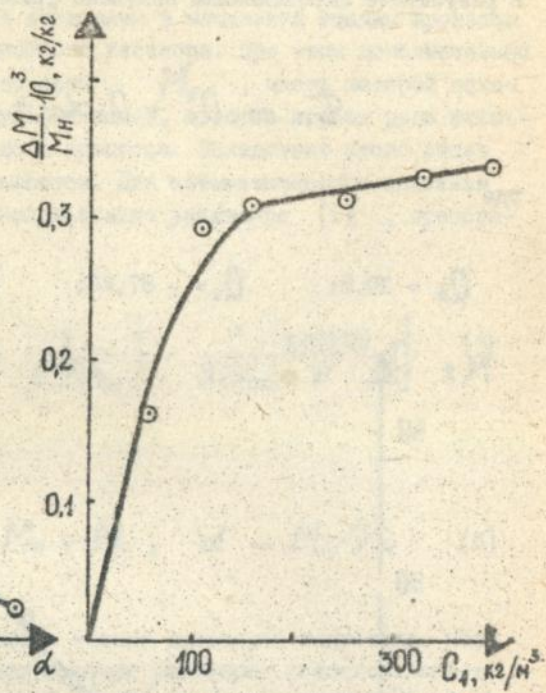


Рис.6. График зависимости убыли массы образца серы от концентрации реагента

Значения критерия Фишера (4,466) меньше критического для уровня значимости 1%, что подтверждает значимость аппроксимации для второй степени полинома и позволяет использовать зависимость (7) для расчета времени полного растворения: широким интервале изменения d .

Растворение единичной шарообразной частицы раствором гидроксида натрия в условиях ее свободного падения при переменной концентрации реагента описывается уравнением вида

$$\lg j = \lg K + a \lg C_1 \quad (8)$$

где

$$j = \frac{M_1 - M_2}{\pi \Delta r \left[\frac{1}{2} \left(\frac{6}{\rho_r} \right)^{1/3} \left(\sqrt[3]{M_1} - \sqrt[3]{M_2} \right) \right]} \quad (9)$$

Методика экспериментов по изучению кинетики растворения единичной шарообразной частицы в растворе гидроксида натрия при постоянной температуре и объеме, достаточном, для обеспечения постоянства концентрации реагента на протяжении всего времени растворения заключалась в следующем.

Комочек серы предварительно измельченной засыпалась в специально изготовленные формы в которых при давлении 0,3 МПа прессовалась до получения сферической формы. Полученные таким путем образцы закреплялись в термостате предварительно заполненном гидроксидом натрия. Через определенные промежутки времени образцы вынимались из раствора гидроксида натрия, промывались, высушивались и взвешивались. С опыты проводились при постоянных значениях концентраций реагента равных 53; 111,5; 175,5; 245; 320 и 399 кг/м³ и постоянной температуре 105°С.

Зависимость убыли массы образца серы от концентрации реагента представлена на рис. 6.

Как следует из уравнения (8), между величинами $\lg j$ и $\lg C_r$ должна существовать линейная зависимость. Степень линейаризации зависимости подтвердили статистические оценки критерием Фишера и Стьюдента, не выходящие за пределы доверительных интервалов. Это дало возможность определить численные значения постоянных a и K которые составили 0,467 и $2,5 \cdot 10^{-4}$ м/с соответственно. Полученное уравнение (8) может быть в дальнейшем использовано для кинетических расчетов.

Реализация процесса растворения серы в растворах гидроксида натрия в промышленных условиях требует знаний высоты реактора, обеспечивающего полное растворение серы в условиях свободного падения.

Время полного растворения частицы серы определялось по уравнению вида

$$\tau_n = \frac{3\sqrt[3]{M_n}}{\gamma j} \quad (10)$$

где

$$\gamma = \sigma \left(\frac{6}{\rho_T} \right)^{2/3} \quad (11)$$

Необходимая высота автоклава для условий полного растворения частиц определялась из условий

$$L = \frac{2}{3} \chi \frac{\sigma_H^3}{f} \quad (12)$$

где

$$\chi = 0,865 \rho_T \sqrt{\frac{\rho_T \cdot \sigma_H}{\rho \cdot g}} \quad (13)$$

Третья глава посвящена получению полисульфидного раствора в промышленных условиях и применению этого раствора в различных областях народного хозяйства.

Экспериментальные исследования, связанные с разработкой технологической схемы процесса, включали моделирование промышленного процесса на пилотной установке, а также на опытно-промышленной установке, смонтированной на Самарском заводе "Алхимия".

Технология получения полисульфидных растворов осуществлялась на опытно-промышленной установке, схема которой представлена на рис. 7.

В соответствии с рис. 7, раствор гидроксида натрия с концентрацией 46% из жел. индородной цистерны 1 сливался в емкость 2 объемами 50 м³. Гидроксид натрия насосом 3 перекачивался в приготовленный чан объемом 12 м³, расположенный в реagentном отделении, который на период опытно-промышленных работ служил мерником. В чане раствор разбавлялся водой до концентрации гидроксида натрия 27-32% и затем насосом 5 по трубопроводу подавался в сероплавильное отделение на 21-метровую отметку для загрузки в автоклав 6. В автоклаве раствор гидроксида натрия подогревался острым паром до температуры 110-115°C и частично разбавлялся до концентрации 22-27%.

В автоклав с серосборника 7 подавалась жидкая сера. Смесь расплав-

лавленной серы и щелочи перемешивали острым паром на протяжении одной минуты.

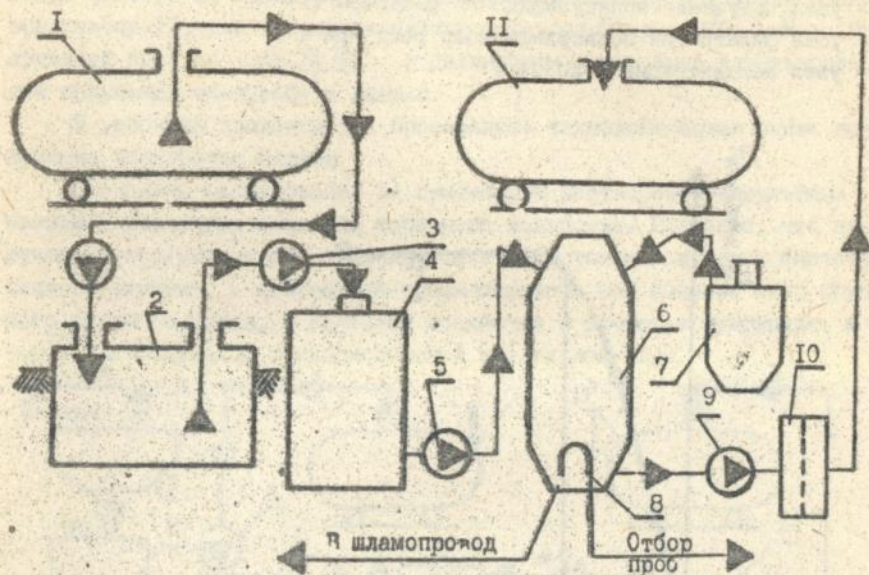


Рис.7. Схема опытно-промышленной установки: I-цистерна гидроксида натрия, 2-емкость сбора $NaOH$, 3,5,9-насосы, 4-емкость приготовления раствора $NaOH$ рабочей концентрации, 6-автоклав, 7-серосборник, 8-пробоотборник, 10-фильтр, II-цистерна готового раствора

Для отбора проб серощелочного раствора был смонтирован специальный пробоотборник 8. Полученные на такой установке данные представлены на рис.8.

Разделение полисульфидного раствора от твердых частиц осуществлялось путем отстаивания. Процесс разделения проводился на протяжении 16 часов. Затем раствор фильтровался, после чего по трубопроводу поступал на загрузку в цистерну. Выделившиеся примеси по действующей схеме направляли в шламопровод. На основе полученных результатов разработана технологическая схема производства полисульфидных растворов и выданы исходные данные на проектирование а также разработан рабочий проект на промышленную установку, которая представлена на рис. 9.

Установка включала следующие узлы:

- узел приемки гидроксида натрия ;
- узел приемки исходной серы ;
- узел приемки готового продукта ;
- узел приготовления исходного раствора гидроксида натрия ;
- узел получения полисульфидного раствора ;
- узел фильтрации полисульфидного раствора ;
- узел концентрации отходов .

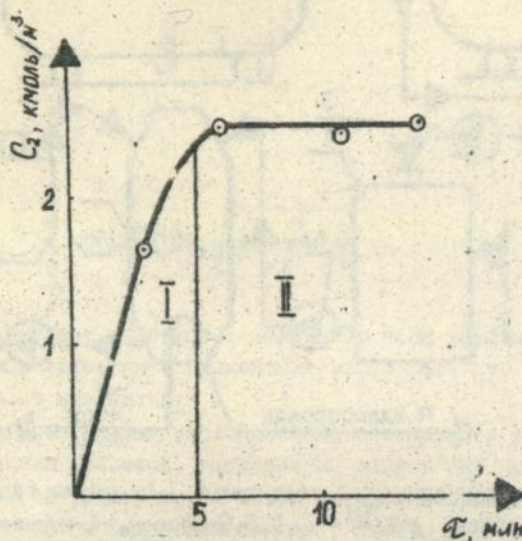


Рис.8. зависимость концентрации полисульфидных растворов от времени / I-режим перекачивания серы, II-режим перемешивания /

Технология получения полисульфидных растворов / рис.9 / заключается в следующем: в реакционный аппарат 5 из серосборника I через мерник 2 подается жидкая сера. Концентрированный раствор гидроксида натрия, поступающий в железнодорожных цистернах, насосом 4 перекачивается на хранение в емкость 9. Для получения раствора NaOH 30% концентрации концентрированный раствор перекачивается насосом 10 в реактор с мешалкой 6. После этого в реактор 6 подается вода и полученный раствор перемешивается до полной гомогенизации. Из ре-

актора 6 раствор гидроксида натрия перекачивается насосом 7 в автоклав 5. В результате реакции в автоклаве образуется раствор полисульфида натрия, который после фильтрации на фильтре 8 поступает в емкость готового продукта, откуда по мере необходимости насосом 15 перекачивается в железнодорожную цистерну II. Осадок, образовавшийся на фильтре 8, промывается, а промывочный раствор подавался в нейтрализатор 13, где окислялся кислородом воздуха до $Na_2S_2O_3$. Полученный раствор $Na_2S_2O_3$ в дальнейшем может быть использован для получения тиосульфата натрия.

В условиях производства проверялась технологическая схема получения дисульфида натрия.

Проведены исследования по применению растворов полисульфида натрия в различных областях народного хозяйства. Показано, что полученные продукты могут применяться в технологии получения синтетического каучука, в кожевенной промышленности при золении шкур крупного рогатого скота, в сельском хозяйстве в качестве фунгицида, а также для получения тонкодисперсной коллоидной серы.

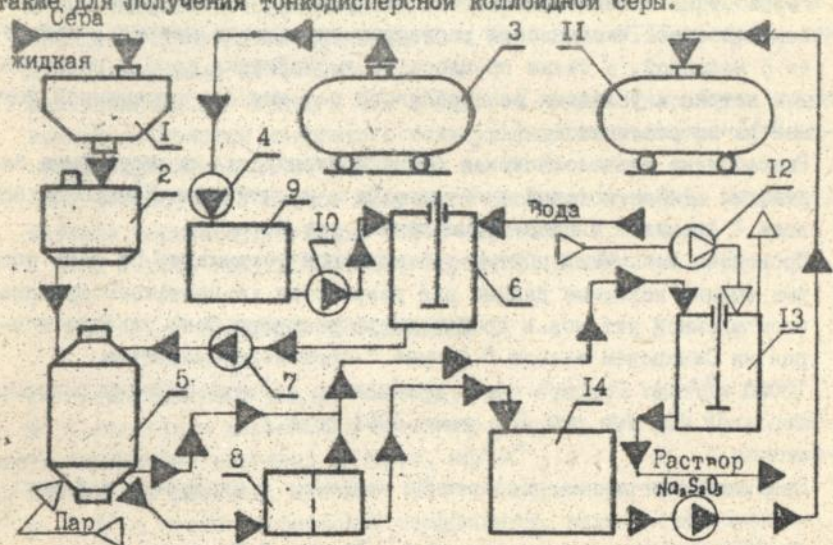


Рис. 9. Принципиальная технологическая схема промышленной установки по производству растворов полисульфида натрия: 1-серосборник, 2-мельник, 3, II-железнодорожные цистерны, 4, 7, 10, 15-насосы, 5-автоклав, 6-емкость приготовления рабочего раствора гидроксида натрия, 8-фильтр, 9-емкость-сборник гидроксида натрия, 12-компрессор, 13-нейтрализатор, 14-емкость готового раствора полисульфида натрия.

В В О Д Н

1. Разработаны научные основы процесса растворения монодисперсной смеси частиц серы раствором гидроксида натрия в реакторе с мешалкой. Установлено, что процесс лимитируется кинетикой автокаталитических реакций. Рассчитаны значения энергии активации процесса взаимодействия на стадиях, лимитирующих процесс.
2. Исследована кинетика процесса взаимодействия единичной частицы серы с гидроксидом натрия в условиях ее свободного падения. Установлено, что процесс лимитируется концентрацией реагента. На основании анализа экспериментальных данных рассчитаны кинетические константы.
3. Изучено влияние добавок серощелочного раствора на кинетику процесса образования полисульфидных растворов. Показано, что введение таких добавок значительно интенсифицирует процесс за счет введения дополнительного числа активных центров автокатализа.
4. Разработаны математические модели процесса растворения монодисперсной смеси частиц серы раствором гидроксида натрия в аппарате с мешалкой, а также процесса взаимодействия серы с гидроксидом натрия в условиях ее свободного падения при переменной концентрации реагента.
5. Разработана технологическая схема производства полисульфида натрия, на основе которой смонтирована и испытана на Самарском заводе "Алюмин" опытно-промышленная установка.
6. Проведены испытания опытно-промышленной установки, на базе которых выданы исходные данные для разработки технического проекта промышленной установки и производства раствора полисульфида натрия на Самарском заводе "Алюмин" производительностью 10000 м³/год. Головой объем прибыли по полисульфидному раствору составил 402 тыс. руб / в ценах 1991 года /.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Семенов Е.М., Колесникова С.А., Чернов В.П. и др. Кинетика образования дисульфида натрия - в кн.: Сера и серосодержащие продукты: технологии, свойства, применение; Сб. науч. тр. ВНИПСЕРА / М.: НИИТЭХИМ, 1990, - с. 33-38.
2. Семенов Е.М., Малечаний М.С., Чернов В.П. и др. Механизм процесса образования дисульфидов натрия / Журн. физ. химии, 1991, Т. 65, №11, - с. 1798-1802.

3. Малеваный М.С., Вайда М.С., Чернов В.П. и др. Разработка технологии производства серной печени - продукта, традиционно применяемого в кожевенной промышленности - в кн. Совершенствование технологии кожевенного производства: Тез. докл. III-ей научно-технической конф. Курск, 1989. с. 36.
4. Денисенко Н.И., Слейник Н.Н., Чернов В.П. и др. Использование полисульфидов натрия при золении шкур крупного рогатого скота - в кн. Совершенствование технологии кожевенного производства: Тез. докл. III-ей научно-технической конф. Курск, 1989. с. 16.
5. Вайда М.С., Гайдин А.И., Чернов В.П. и др. Особенности кислотно-го разложения натриевых серощелочных отходов - в кн. Сера и серосодержащие продукты: технология, свойства, применение: Сб. научн. тр. / ВНИПСЕРА. М.: НИИТЭХИМ, 1990.- с. 38-41.
6. Малеваный М.С., Чернов В.П., Панькив М.С. Кинетические закономерности процесса выщелачивания серы из серосодержащего сырья - в кн.: Повышение эффективности, совершенствование процессов и аппаратов химических производств: Тез. докл. VIII республ. конф. Днепропетровск, 1991.- с. 119.
7. Малеваный М.С., Чернов В.П., Вайда М.С. и др. Разработка промышленной технологии натриевого полисульфидного раствора // Химическая промышленность. 1992, №3. с. 33-35.
8. А.С. 1756269 СССР Способ получения раствора сульфида щелочного металла. Чернов В.П., Вайда М.С., Малеваный М.С. и др. - кл. С 01 В 17/34, под. 15.05.90.- Оpubл. 23.08.92, бвл. №31.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

φ - безразмерный радиус частицы; r - радиус частицы, м;
 ψ - константа нарастания активных центров, 1/с; U_0 - скорость зарождения активных центров, кг/м³·с; K - константа химической реакции, м/с; F - поверхность контакта фаз, м²; N - стехиометрический коэффициент, равный стехиометрическому отношению масс; t - координата времени, с; M - масса растворяющейся серы, кг; t_n - время полного растворения, с; j - массовый поток, кг/м³·с; L - необходимая высота автоклава, м; n - число оборотов мешалки, об/мин; T - абсолютная температура Кельвина; E - энергия активации, кДж/моль; V - объем раствора, м³; C_1 - концентрация реагента, кг/м³; C_2 - концентрация серы в растворе, кг/м³;

ВНИИ В.С. Стефанов
НИИ В.С. Стефанов

t - температура, $^{\circ}\text{C}$, M_1 - количество серы, вносимое в начальный процесс растворения с добавкой производонного раствора, кг ;
 $B, a, \gamma, \chi, a_0, a_1, a_2$ - коэффициенты ; π - число пи ; ρ - плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$; g - ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Индексы: т - твердый ; ж - реагент ; н - начальное значение параметра ; Δ - разница между двумя соседними значениями параметра.

Подп. к печати 29.10.1993. Формат 60x84¹/16
Бумага типограф. № 2. Офс. печ. Усл. печ. л. 1
Усл. крас.-отт. 1. Учетно-изд. л. 0,93
Тираж 100 экз. Зак. 225. Бесплатно

ГУЛП 290646 Львов-13, Ст. Бандеры, 1Р

Участок оперативной печати ГУЛП
Львов, ул. Городецкая, 286

1163060

AB 28.522