

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСУ**  
**«ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ»**  
для студентов специальности 24.03.01  
«Химическая технология неорганических веществ»

Составитель: А.В. Кунин

Иваново 2006

Составитель: А.В. Кунин

УДК 666.3:661.52:669.712(07)

Методические указания по курсу «Химическая технология неорганических веществ» для студентов специальности 24.03.01. «Химическая технология неорганических веществ» / Составитель: А.В. Кунин; ГОУ ВПО Иван. гос. хим-технол. ун-т.– Иваново, 2006.– 38 с.

Издание включает программу, принципиальные технологические схемы, контрольные вопросы и методические указания по прохождению курса «Химическая технология неорганических веществ». Оно охватывает основы технологии переработки фосфатного сырья химическими (восстановлением углеродом в присутствии кремния; кислотным разложением; термической обработкой) и механическими методами (измельчением фосфоритов с последующей классификацией фракций с целью получения фосфоритной муки). Эти процессы составляют основную группу крупнотоннажных производств минеральных удобрений и солей.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения при изучении ими курса «Химическая технология неорганических веществ. (Производство минеральных удобрений, солей и щелочей)», выполнении домашних заданий, контрольных работ и сдаче экзамена.

Рис. 11. Библиогр. 18.

*Рецензент:* кандидат технических наук, доцент Р.Ф. Шеханов (ГОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет).

## Общие положения

**Цель дисциплины.** Дисциплина «Химическая технология неорганических веществ» входит в цикл специальных дисциплин и имеет своей целью формирование у студентов специальности 24.03.01 «Химическая технология неорганических веществ» целостной системы знаний по технологии неорганических веществ, включающей состояние сырьевой базы, общие закономерности и принципы переработки минерального сырья для получения неорганических продуктов, принципиальные технологические схемы производств продуктов неорганического синтеза; минеральных солей, щелочей, удобрений и т.д.

Студент должен иметь представление о структуре отрасли технологии неорганических веществ, ее управлении; о номенклатуре выпускаемой продукции, контроле ее качества, системе стандартизации, сертификации. Знать о сырьевой базе промышленности неорганических веществ, свойствах и показателях качества получаемых продуктов. Уметь использовать химические свойства основных классов неорганических веществ и методы их синтеза; способы выделения основных и побочных продуктов неорганического синтеза; физико-химическую сущность реакций получения основных неорганических продуктов; типы и конструкции основных аппаратов для проведения процессов; технологию и общие принципы осуществления наиболее распространенных химических процессов неорганического синтеза; способы рекуперации и утилизации газовых, жидких и твердых отходов производства неорганических веществ. Иметь опыт проведения качественного и количественного анализа сырья и основных продуктов неорганического синтеза, а также выполнения материальных и тепловых расчетов основных технологических стадий производств неорганических продуктов.

В соответствии с учебной программой по данной дисциплине студентами выполняется лабораторный практикум, контрольные работы и домашние задания.

### Программа

курса «Химическая технология неорганических веществ»  
(производство минеральных удобрений, солей и щелочей).

1. История и основные направления развития производства минеральных удобрений, солей и щелочей. Продукты неорганической технологии, области их применения. Роль удобрений в развитии растений. Макро- и микропитательные элементы. Классификация удобрений по происхождению, назначению, составу, свойствам, способам получения и степени растворимости. Антагонизм и синергизм удобрений.

2. Сырьевые источники для получения основных продуктов минеральной технологии (фосфориты, апатит, калийсодержащие минералы, залежи солей, рассолы). Комплексная переработка сырья. Общие закономерности и основные принципы переработки минерального сырья для получения неорганических продуктов. Комбинирование производств, выпускающих удобрения и сырье для них. Роль вторичных материальных ресурсов для производства неорганических веществ.
3. Характеристика основных (типовых) технологических процессов в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей. Их экономическая эффективность. Обжиг. Виды обжига. Факторы, влияющие на скорость процесса обжига. Растворение (физическое, химическое; движущая сила процесса растворения; факторы, влияющие на скорость процесса растворения). Кристаллизация (виды кристаллизации). Гетерогенный ионный обмен. Экстракция.
4. Способы обогащения сырья для производства минеральных удобрений, солей и щелочей (флотация; гидросепарация, гравитационная сепарация, электросепарация, магнитная сепарация). Гранулирование (основные способы гранулирования минеральных удобрений).
5. Фосфорсодержащие удобрения и их роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. Фосфоритная мука, ее получение, свойства и применение в сельском хозяйстве.
6. Термохимические методы переработки природных фосфатов. Физико-химические основы производства элементарного фосфора и термической фосфорной кислоты (одноступенчатый и двухступенчатые способы). Их свойства и области применения. Сравнительная оценка технологии производства фосфорной кислоты термическим и экстракционным методами.
7. Мокрые методы переработки фосфорсодержащего сырья. Сернокислотное разложение. Физико-химические основы процесса. Способы получения простого суперфосфата (камерный, поточный, камерно-поточный). Гранулированный и аммонизированный суперфосфаты. Обезвреживание и утилизация газовых выбросов фосфатных производств.
8. Физико-химические основы получения экстракционной фосфорной кислоты, режимы получения (дигидратный; полугидратный; ангидридный); факторы, влияющие на фильтруемость суспензии. Концентрирование фосфорной кислоты.
9. Фосфорнокислотное разложение фосфатного сырья. Получение двойного суперфосфата камерным, поточным и камерно-поточным способами. Физико-химические основы процесса. Основные стадии по-

лучения двойного суперфосфата. Содержание форм  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате.

10. Гидротермальные методы переработки природных фосфатов с целью получения обесфторенных фосфатов. Получение моно- и дикальцийфосфата. Физико-химические основы процессов.
11. Азотнокислотное разложения фосфатного сырья. Влияние температуры, концентрации и нормы азотной кислоты на полноту и скорость разложения фосфатного сырья. Способы уменьшения соотношения  $CaO: P_2O_5$  в азотнокислотной вытяжке: вымораживание нитрата кальция; введение дополнительного количества фосфорной кислоты; осаждение избытка кальция серной кислотой или сульфатами аммония, натрия либо калия; осаждение избытка кальция в виде  $CaCO_3$  диоксидом углерода и аммиаком.
12. Получение комплексных удобрений на основе азотнокислотной вытяжки и экстракционной фосфорной кислоты. Нитроаммофоска, диаммофоска, аммофос. Способы переработки тетрагидрата нитрата кальция– побочного продукта производства нитрофосфатов.
13. Роль калия в развитии растений. Виды калийных солей, применяемых в качестве удобрений. Получение хлорида калия из сильвинита флотацией и галургическими методами. Виды, получение и применение бесхлорных калийных удобрений.
14. Физико-химические основы производства кальцинированной соды. История вопроса. Очистка солевого раствора от ионов кальция и магния. Аммонизация солевого раствора. Карбонизация аммонизированного раствора, фильтрация раствора бикарбоната натрия. Обжиг известняка и получение гашеной извести. Регенерация фильтровой жидкости. Пути использования хлорида кальция– отхода содового производства.
15. Производство каустической соды. Методы производства  $NaOH$  и их сравнительная характеристика. Физико-химические основы производства гидроксида натрия каустификацией содового раствора.

### **Контрольные вопросы**

Вопросы для сдачи экзамена по курсу «Химическая технология неорганических веществ» (производство минеральных удобрений, солей и щелочей) формулируются согласно приведенной выше программе и выполненным домашним заданиям. Экзаменационные билеты включают в себя описание физико-химических основ отдельных процессов, принципиальных технологических схем для получения конечного продукта

или полупродукта, а также задачу. Ниже приведены типовые вопросы, включенные в экзаменационные билеты.

1. Роль удобрений в развитии растений (основные питательные элементы; количества основных питательных элементов в тканях растений; роль питательных элементов в жизни и развитии растений; унос удобрений из почвы и восполнение их запасов). Макро- и микропитательные элементы. Ретроградация.

2. Классификация удобрений

- по происхождению (минеральные; органические; органо- минеральные; бактериальные);
- по назначению (срокам внесения) (основные; припосевные; подкормки);
- по составу (азотные; фосфорные; калийные; магниевые; борные и т.д.);
- по способам получения (смешанные; сложные), антагонизм и синергизм удобрений;
- по свойствам

а) прямые, косвенные

прямые:

- однокомпонентные (простые);
- многокомпонентные (комплексные);
  - а) двойные; тройные (полные);
  - б) концентрированные;
    - высококонцентрированные;
  - в) уравновешенные;
  - г) безбалластные;

б) по агрегатному состоянию

- твердые (порошковидные; кристаллические; гранулированные);
- жидкие;
- газообразные.

3. Классификация удобрений по степени растворимости

- водорастворимые; цитратнорастворимые; лимоннорастворимые; трудно- или нерастворимые.

Способы определения форм  $P_2O_5$  в удобрениях.

4. Сырье для производства минеральных удобрений. Апатиты (Хибинское месторождение ОАО «Апатит»; конкуренты; доля компании в рынке); фосфориты; калийсодержащие минералы, залежи солей, рассолы; углерод- водород- кислород – из природных источников; азот – из атмосферы воздуха.

5. Комплексная переработка сырья. Общие закономерности и основные принципы переработки минерального сырья для получения неорганических продуктов. Комбинирование производств, выпускающих удобрения и сырье для них. Роль вторичных материальных ресурсов для производства неорганических веществ.

6. Основные способы переработки природных фосфатов. Химические

- кислотное разложение;
- восстановление углеродом в присутствии кремния;
- термическая обработка.

Механические

- измельчение фосфоритов с последующей классификацией фракций с целью получения фосфоритной муки.

Применение фосфора и фосфатов (в качестве минеральных удобрений (примеры); в качестве кормовых фосфатов (примеры)).

7. Технические требования к фосфатному сырью

- содержание  $P_2O_5$ ;
- содержание полуторных оксидов железа и алюминия;
- содержание соединений магния;
- содержание карбонатов;
- содержание диоксида кремния;
- гранулометрический состав.

8. Характеристика основных (типовых) технологических процессов в производстве минеральных удобрений, солей и щелочей. Их экономическая эффективность.

А) Обжиг, виды обжига.

- кальцинационный, окислительный, восстановительный, спекание.
- механизм протекания твердофазных реакций;
- факторы, влияющие на скорость процесса обжига (температура; измельчение; создание условий, при которых хотя бы один компонент будет находиться в жидком или газообразном состоянии; повышение концентрации реагирующих веществ; перемешивание шихты; влажность; скорость нагрева).

Б) Растворение, виды растворения

- физическое, химическое;
- движущая сила процесса растворения;
- факторы, влияющие на скорость процесса растворения (температура, площадь контакта фаз, интенсивность перемешивания).

В) Кристаллизация. Виды кристаллизации.

- политермическая (изогидрическая)– переохлаждение;
- изотермическая– выпаривание;

- высаливание– введение веществ, уменьшающих растворимость соли;
  - химическое осаждение.
9. Способы разделения компонентов, находящихся в растворах.
- А) Гетерогенный ионный обмен.
- Б) Экстрагирование.
10. Способы разделения компонентов, находящихся в твердых смесях.
- А) Флотация
- гидрофобные; гидрофильные частицы;
  - флотореагенты;
  - пенообразователи;
  - селективная флотация.
- Б) Гидросепарация, гравитационная сепарация, магнитная сепарация, электросепарация
- сущность методов;
  - флотогравитационное обогащение.
11. Основные способы гранулирования минеральных удобрений.
- гранулирование из порошков
    - окатывание (структурирование);
    - экструзионное формование;
    - прессование (таблетирование);
  - гранулирование из концентрированных растворов и суспензий
    - приллирование (виды грануляторов);
    - смешение с ретуром (аппараты БГС и КС).
12. Гигроскопичность.
- гигроскопическая точка; коэффициент гигроскопичности; класс гигроскопичности;
  - сыпучесть минеральных удобрений и солей (причины уменьшения сыпучести); способы уменьшения слеживания удобрений.
13. Фосфоритная мука.
- содержание  $P_2O_5$  в различных сортах;
  - основные стадии производства.
14. Преимущества и недостатки получения термической фосфорной кислоты по сравнению с экстракционной. Преимущества:
- возможность получения концентрированной фосфорной кислоты (вплоть до  $100,00\% P_2O_5$ );
  - возможность получения кислоты с высокой степенью чистоты;
  - возможность использования практически любых фосфатов, в том числе и низкокачественных.

Недостатки:

- высокая стоимость кислоты из-за большого расхода электроэнергии при получении фосфора;
- опасность выбросов высокотоксичного печного газа в атмосферу цеха вследствие негерметичности оборудования.

15. Физико-химические основы получения фосфора

- основные реакции;
- параметры, влияющие на скорость взаимодействия (температура; модуль кислотности; скорость введения  $SiO_2$  для связывания  $CaO$  в  $CaO \cdot SiO_2$ ).

16. Блок-схема производства желтого фосфора. Содержание фосфора в готовом продукте в зависимости от марки.

17. Физико-химические основы получения термической фосфорной кислоты. Одноступенчатый и двухступенчатый способы получения термической фосфорной кислоты – их достоинства и недостатки.

18. Блок – схема производства термической фосфорной кислоты двухступенчатым методом.

19. Сернокислотное разложение природных фосфатов

- основные реакции;
- влияние примесей, содержащихся в сырье, на процесс сернокислотного разложения;
- способы удаления примесей из сырья;
- формы сульфата кальция в системе  $CaSO_4 - H_3PO_4 - H_2O$ , от чего зависит, в какой форме кристаллизуется сульфат кальция.

20. Физико-химические основы получения простого суперфосфата

- основные операции (стадии) получения простого суперфосфата;
- разложение фосфата серной кислотой (стадии разложения; норма серной кислоты; концентрация серной кислоты; температура ведения процесса);
- показатели производства: коэффициент разложения фосфатного сырья, выход суперфосфата;

21. Нейтрализация свободной кислотности простого суперфосфата

- обработка добавками, легко разлагаемыми фосфорной кислотой;
- аммонизация простого суперфосфата.

22. Блок-схема производства простого суперфосфата камерным методом.

23. Физико-химические основы обезвреживания и утилизации газовых выбросов фосфатных производств.

- основные реакции;
- влияние различных факторов на количество фторидов, извлекаемых в газовую фазу при получении суперфосфатов;

- водная абсорбция фторидных газов.
24. Блок-схема водной абсорбции фторидных газов в производстве суперфосфатов.
25. Физико-химические основы получения экстракционной фосфорной кислоты.
- режимы получения ЭФК (дигидратный; полугидратный; ангидридный);
  - факторы, влияющие на фильтруемость суспензии;
  - технологические параметры производства (технологический выход; коэффициент извлечения; коэффициент отмывки).
26. Блок-схема производства ЭФК дигидратным способом.
27. Физико-химические основы процесса концентрирования экстракционной фосфорной кислоты.
28. Блок-схема процесса концентрирования экстракционной фосфорной кислоты.
29. Физико-химические основы получения двойного суперфосфата.
- основные реакции разложения фосфатов фосфорной кислотой;
  - стадии получения двойного суперфосфата;
  - содержание форм  $P_2O_5$  в двойном суперфосфате.
30. Блок-схема получения двойного суперфосфата камерным способом.
31. Блок-схема получения двойного суперфосфата поточным способом.
32. Термическая переработка природных фосфатов. Кормовые фосфаты.
- основные реакции, протекающие при гидротермальной обработке фосфатного сырья;
  - требования к количеству и составу примесей в кормовых фосфатах;
  - формы  $P_2O_5$ , образующиеся в результате гидротермической обработки фосфатов.
33. Физико-химические основы получения дикальцийфосфата (преципитата)
- основные реакции, протекающие при получении преципитата;
  - стадии получения преципитата;
  - состав кормового дикальцийфосфата.
34. Физико-химические основы получения монокальцийфосфата.
- основные реакции, протекающие при получении монокальцийфосфата;
  - стадии получения монокальцийфосфата.
35. Физико-химические основы азотнокислотной переработки фосфатного сырья.
- основные реакции;
  - кинетика разложения фосфатов азотной кислотой;

- анализ влияния условий ведения процесса (температуры, концентрации, нормы азотной кислоты и др.) на скорость разложения фосфатов и степень извлечения  $P_2O_5$ .
36. Методы переработки азотнокислотной вытяжки и получения сложных удобрений. Способы уменьшения соотношения  $CaO : P_2O_5$
- вымораживание (кристаллизация) нитрата кальция;
  - введение дополнительного количества фосфорной кислоты (экстракционной или термической);
  - осаждение избытка кальция серной кислотой или сульфатами аммония, натрия либо калия;
  - осаждение избытка кальция в виде  $CaCO_3$  диоксидом углерода и аммиаком.
37. Блок-схема производства нитроаммофоски с вымораживанием части кальция в виде тетрагидрата нитрата.
38. Блок-схема переработки тетрагидрата нитрата кальция методом его конверсии карбонатом аммония.
39. Роль калия в развитии растений. Виды калийных солей, применяемых в качестве удобрений. Получение хлорида калия из сильвинита флотацией и галургическими методами. Виды, получение и применение бесхлорных калийных удобрений.
40. Физико-химические основы основных промышленных способов получения соды и содопродуктов
- -добыча и очистка самородной соды;
  - -переработка нефелиновых руд (алюмосиликаты натрия и калия);
  - -переработка поваренной соли по аммиачному способу Сольве.
- Основные реакции, протекающие при проведении процессов получения соды и содопродуктов.
41. Блок-схема производства кальцинированной соды по аммиачному способу Сольве.
42. Физико-химические основы получения каустической соды. Методы производства  $NaOH$  и их сравнительная характеристика. Физико-химические основы производства гидроксида натрия каустификацией содового раствора.

Далее приведены принципиальные технологические схемы для получения конечного продукта или полупродукта, включенные в экзаменационные билеты.

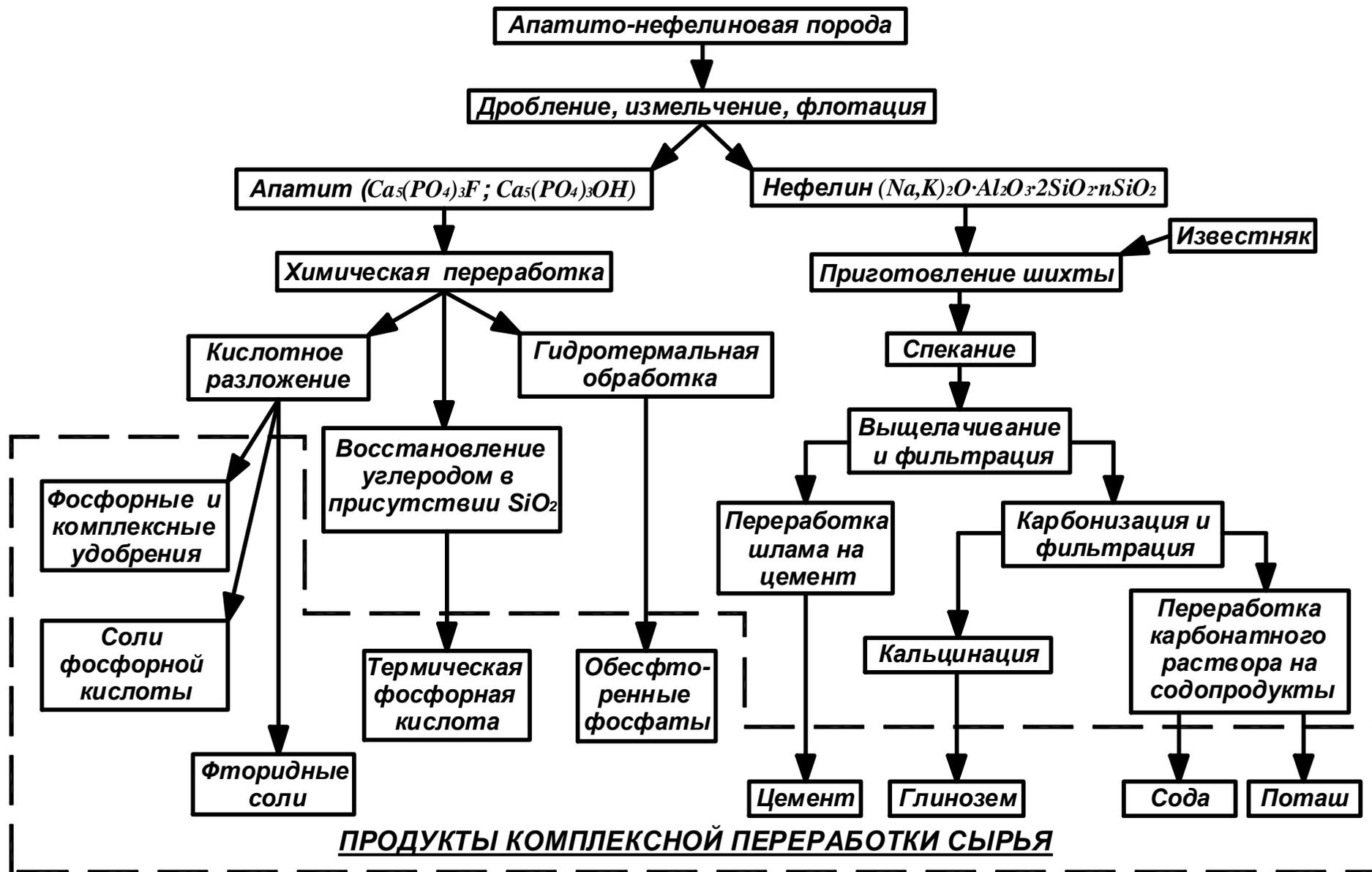


Рис. 1. Блок-схема комплексной переработки апатито-нефелиновой руды.

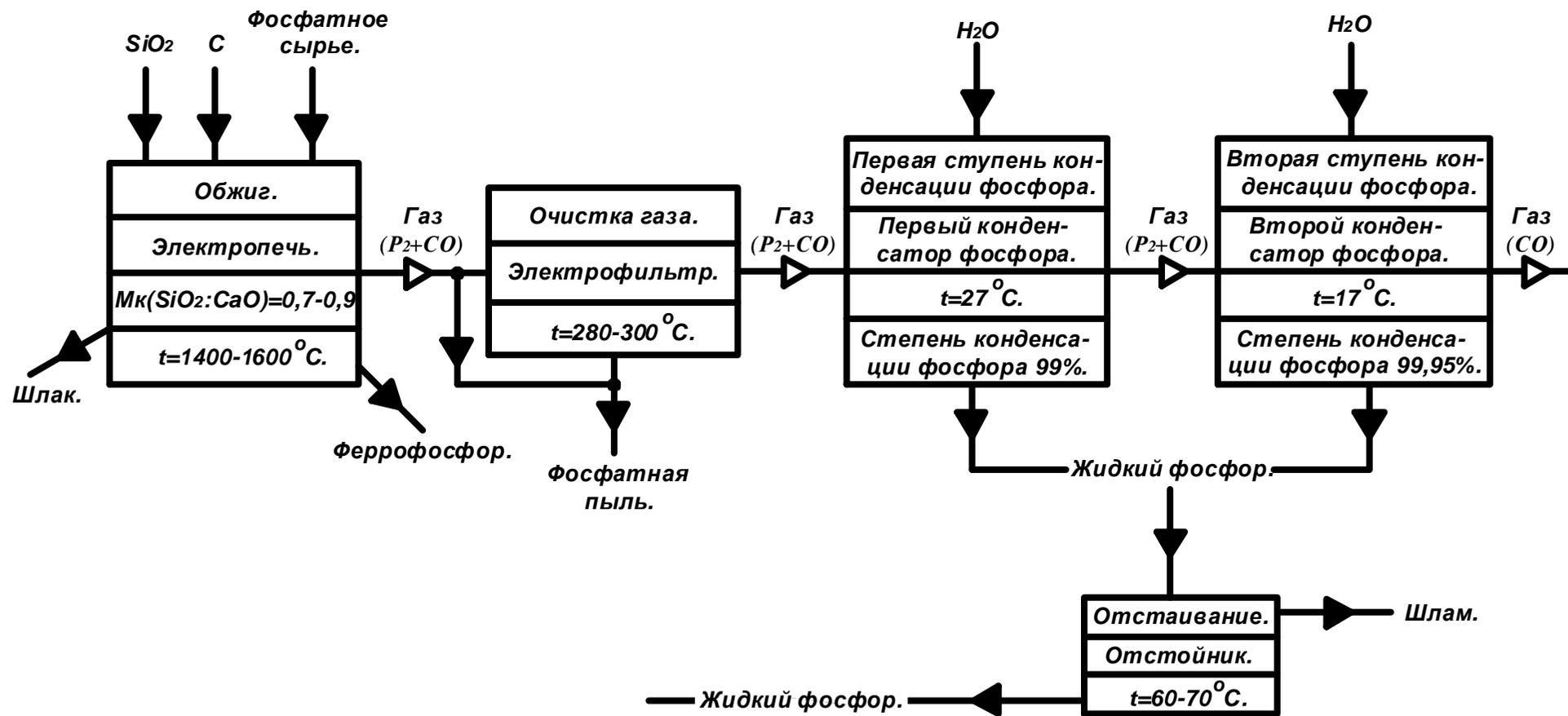


Рис. 2. Блок-схема производства жидкого фосфора.

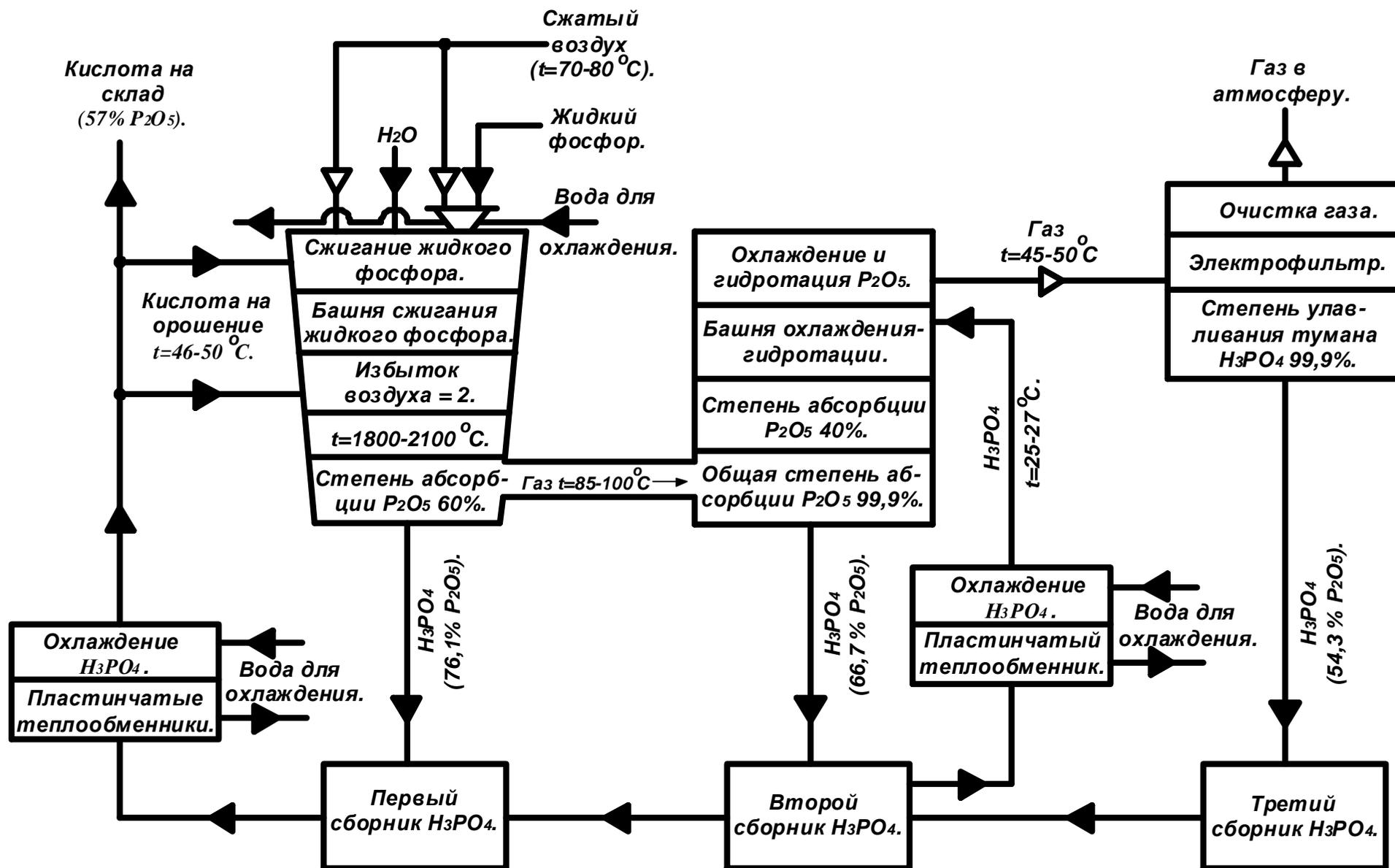


Рис. 3. Блок-схема производства термической фосфорной кислоты.

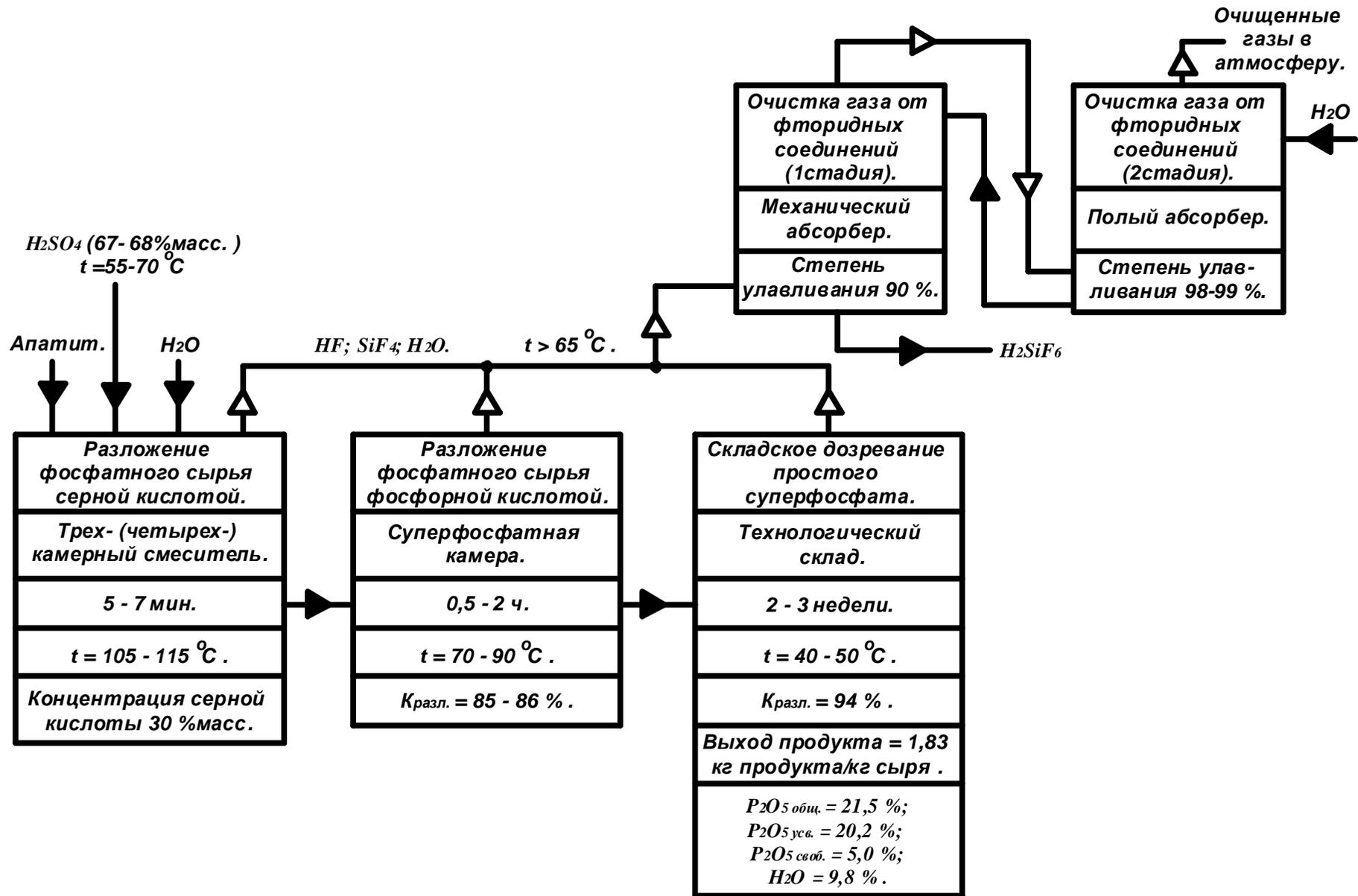


Рис. 4. Блок-схема производства простого суперфосфата камерным способом.

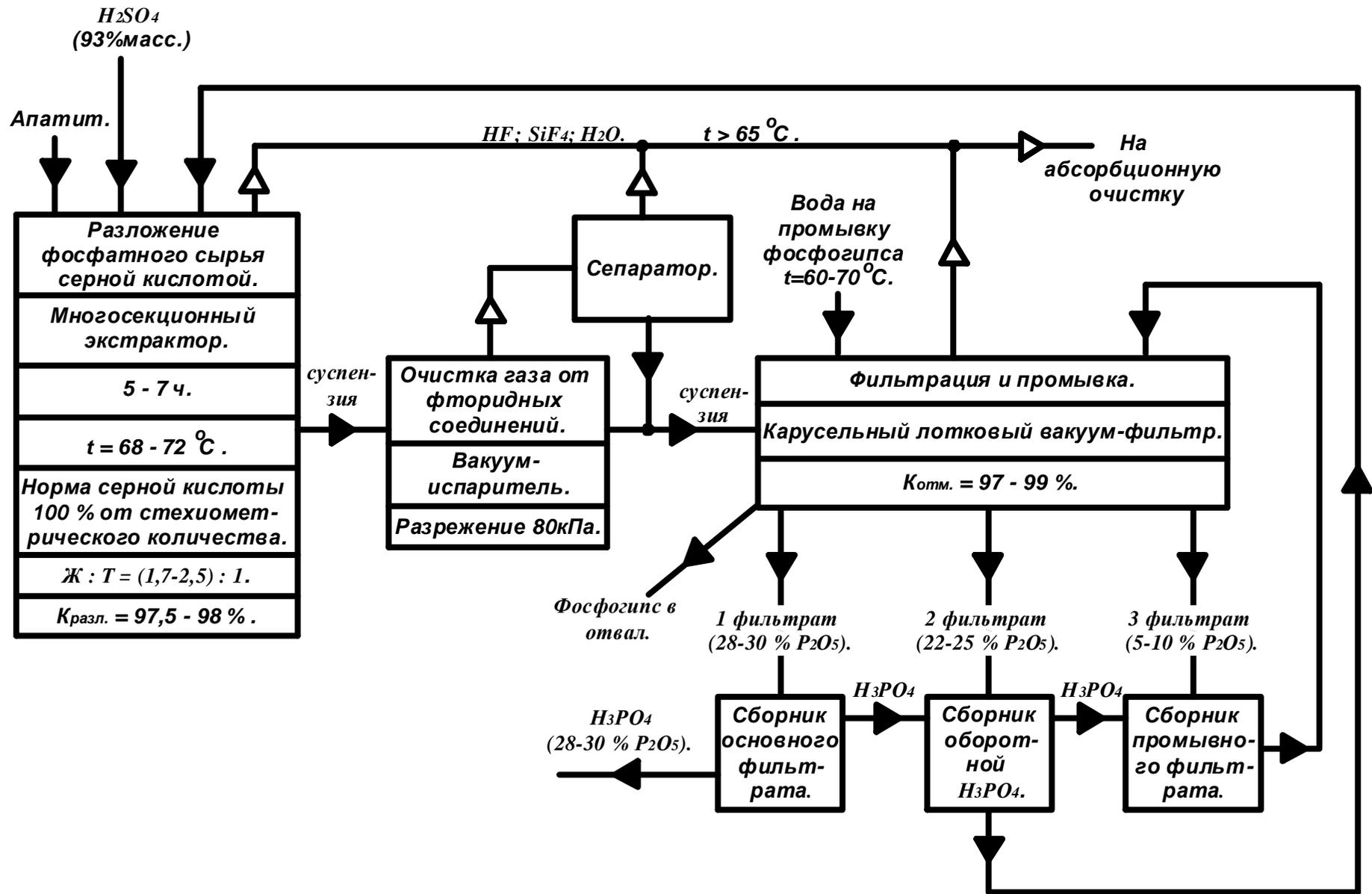


Рис. 5. Блок-схема производства экстракционной фосфорной кислоты дигидратным способом.

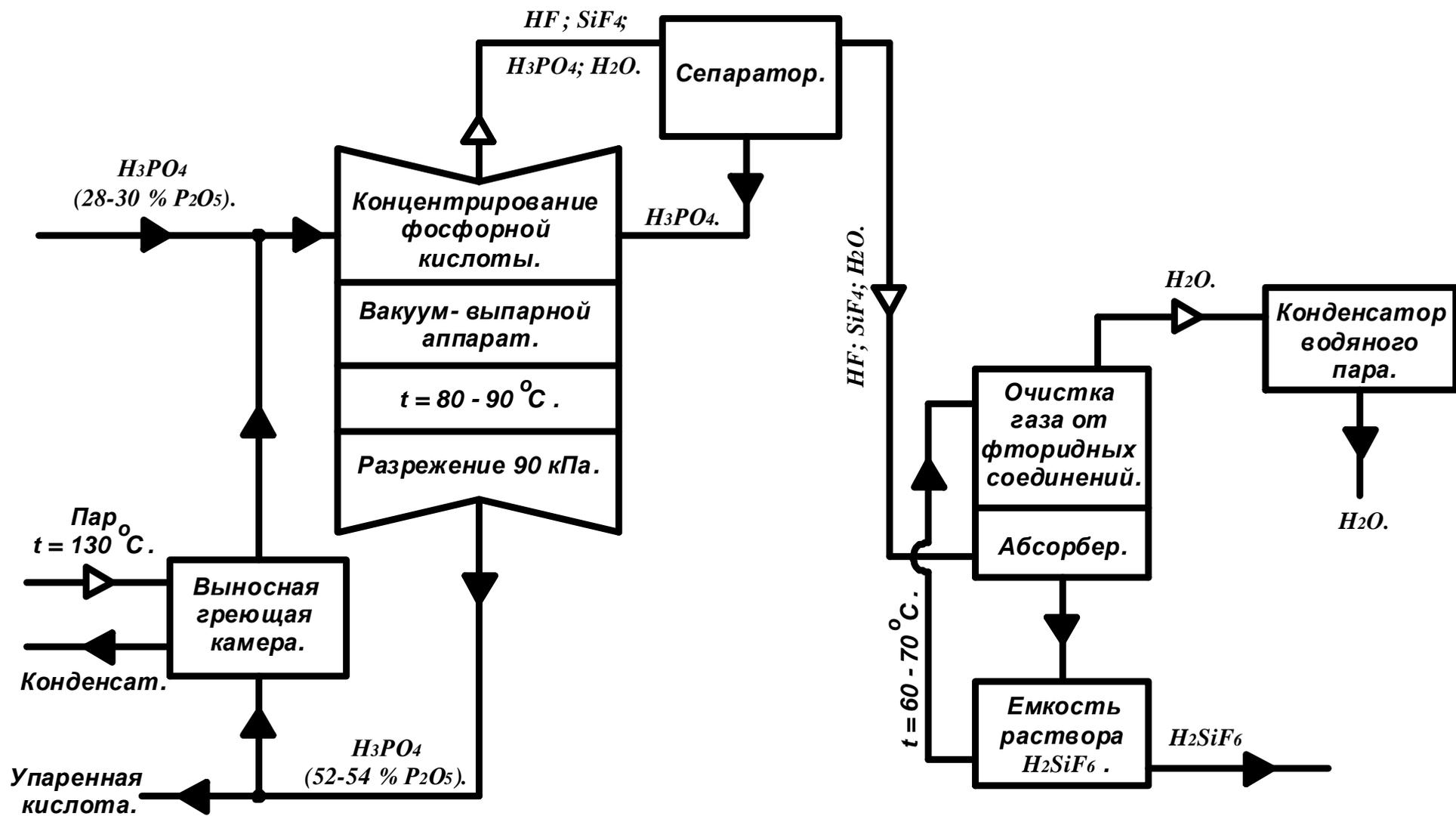


Рис. 6. Блок-схема концентрирования экстракционной фосфорной кислоты.

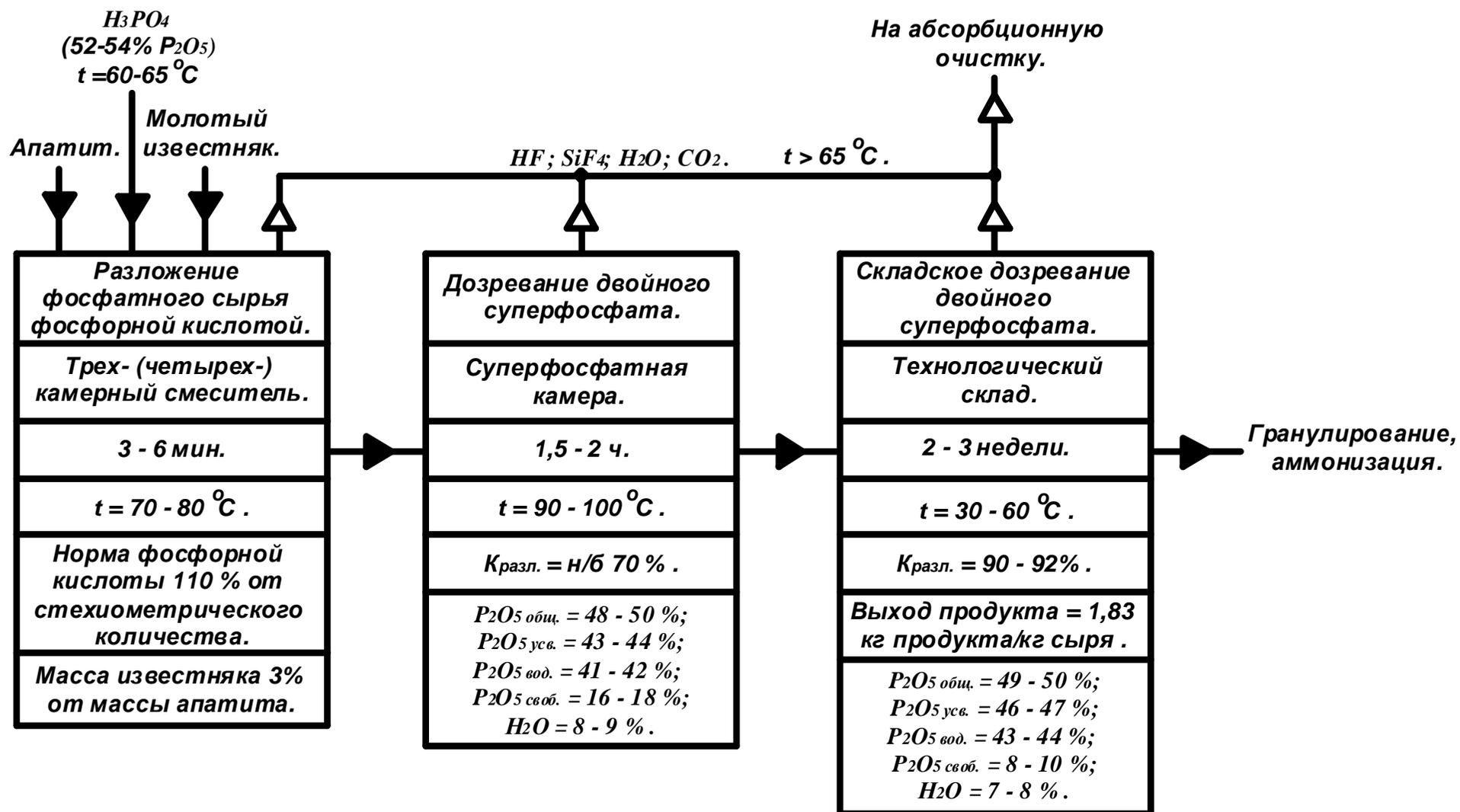


Рис. 7. Блок-схема производства двойного суперфосфата камерным способом.

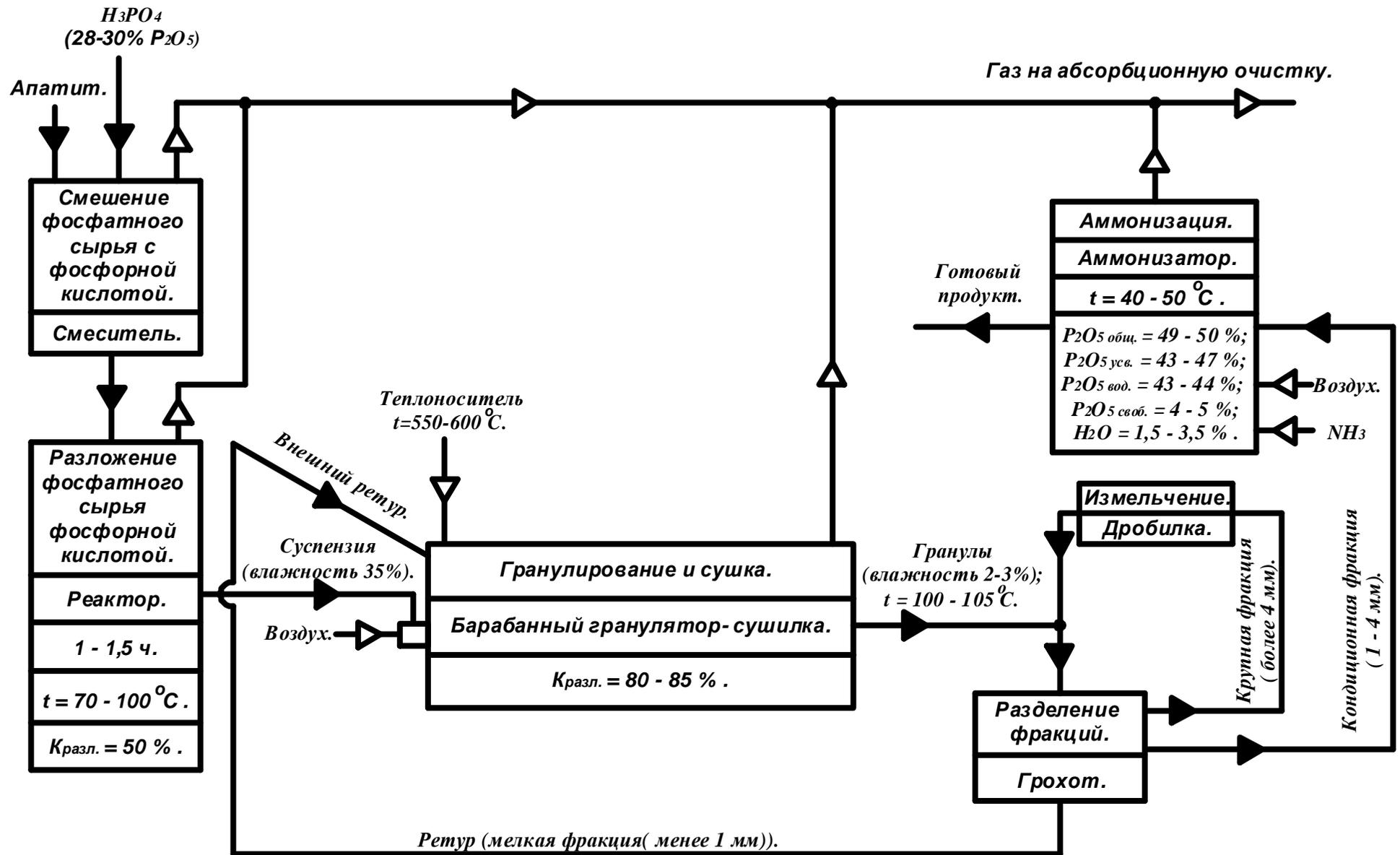
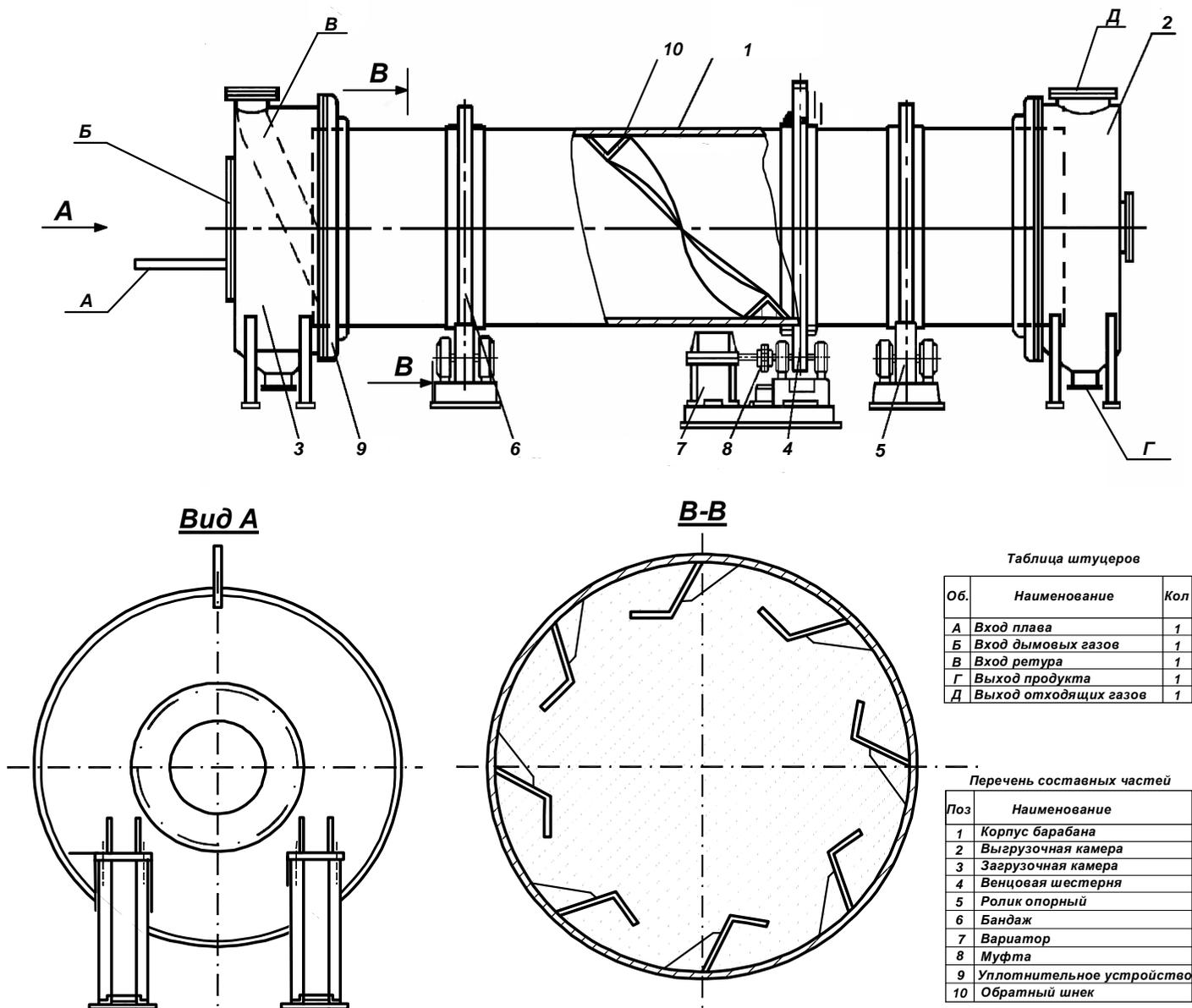


Рис. 8. Блок-схема производства двойного суперфосфата поточным способом.



**Рис. 9. Барабанный гранулятор-сушилка.**

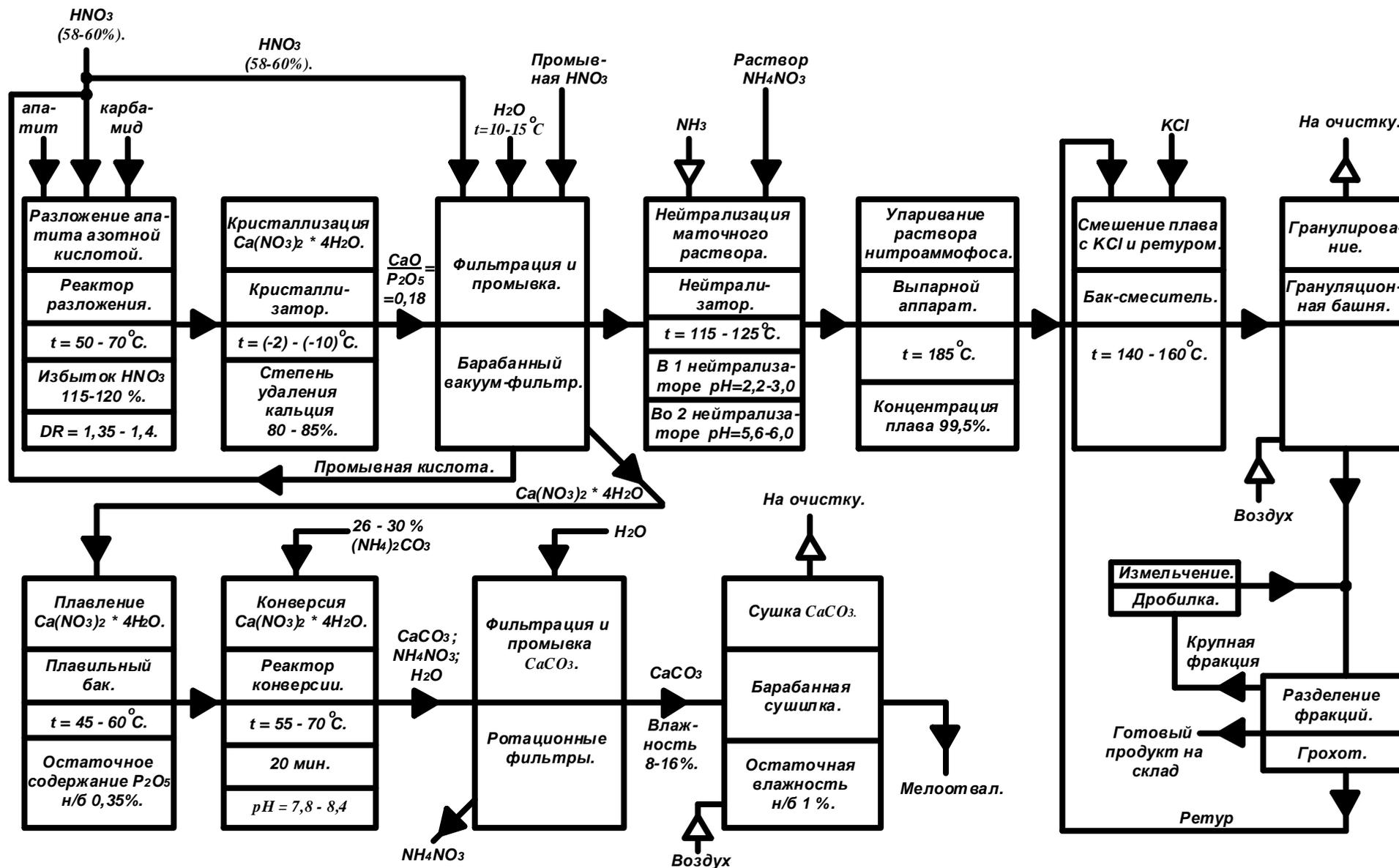


Рис. 10. Блок-схема производства нитроаммофоски с вымораживанием части кальция в виде  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ .

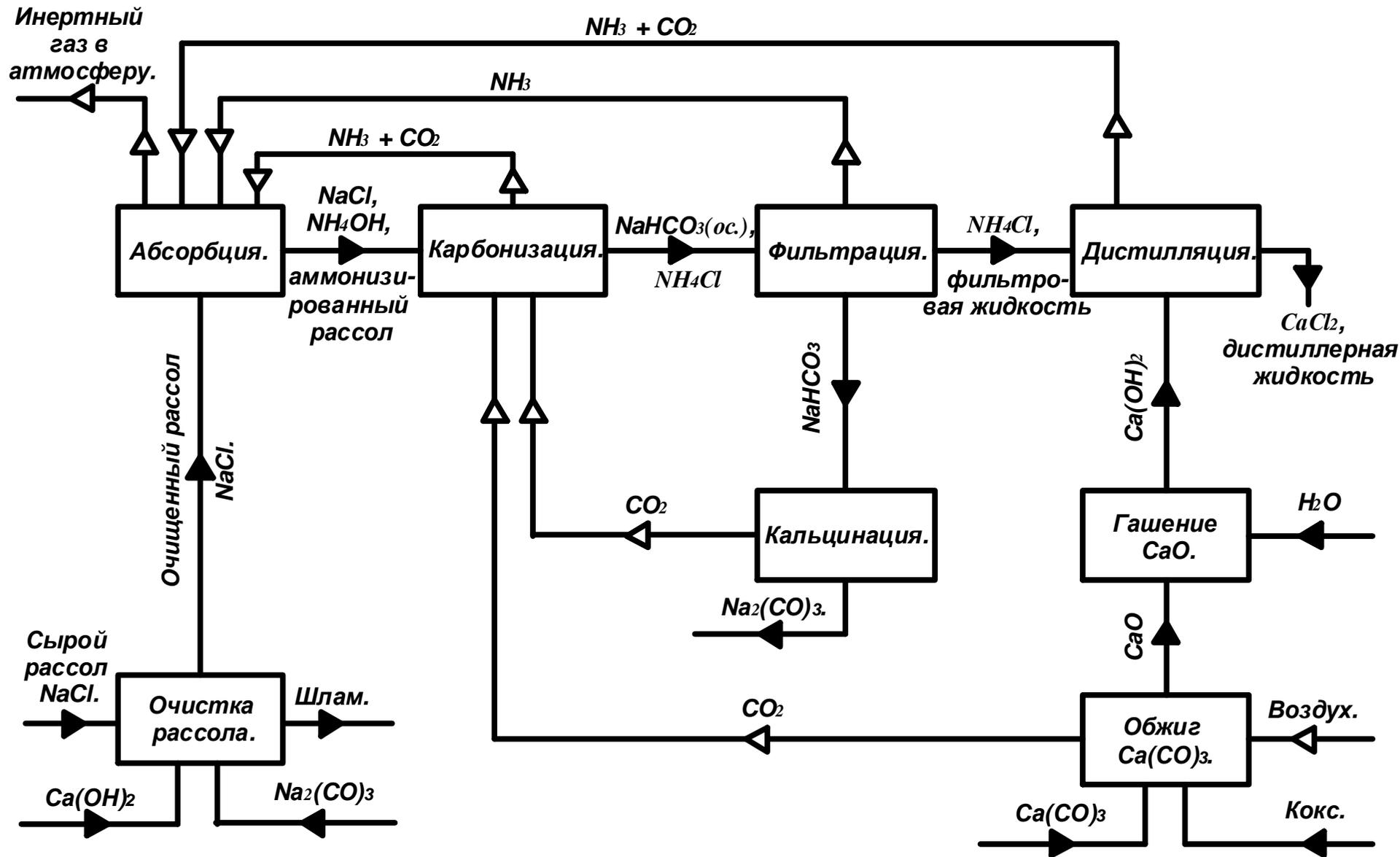


Рис. 11. Блок-схема производства кальцинированной соды аммиачным способом.

## Общие понятия в технологии минеральных удобрений и солей

**Удобрения**– это вещества, предназначенные для улучшения питания растений и повышения плодородия почвы.

**Минеральными удобрениями (туками)** называют соли и другие неорганические промышленные или ископаемые продукты, содержащие элементы, необходимые для развития растений и улучшения плодородия почвы, используемые с целью получения высоких и устойчивых урожаев.

**Питательный элемент**– химический элемент, необходимый для роста и развития растений и регулирования состояния почвы.

**Питательный макроэлемент**– питательный элемент, содержащийся в сухой растительной массе в количестве от 2 до 10% (по массе). К ним относятся: азот, калий, фосфор, кальций, магний и сера.

**Основной питательный макроэлемент**– азот, фосфор или калий, содержащийся в сухой растительной массе.

**Питательный микроэлемент**– питательный элемент, содержащийся в сухой растительной массе в количестве менее 2 % (по массе). К питательным микроэлементам относятся бор, молибден, медь, марганец, кобальт, цинк, железо и др.

**Ретроградация**– переход питательных элементов в формы, не пригодные для усвоения растениями.

**Гарантированное содержание**– содержание питательных элементов, установленное нормативно-техническим документом и указанное на этикетке или в документе, сопровождающем партию удобрения.

**Состав удобрений**– наличие питательных элементов в удобрении, выраженное в порядке очередности в буквенном ( $N:P:K$ ,  $N-P-K$ ) или ( $N:P_2O_5:K_2O$ ,  $N-P_2O_5-K_2O$ ) или цифровом виде ( $12-12-12$ ).

*Примечание: 1. Буквенные обозначения: N- азот, P ( $P_2O_5$ )- фосфор, K ( $K_2O$ )-калий, Mg ( $MgO$ )- магний, Ca ( $CaO$ )- кальций, S- сера;  
2. При цифровом обозначении отсутствие какого-либо питательного элемента может быть обозначено нулем;  
3. Обычно соотношение компонентов обозначают, например для нитроаммофоски, 1:1:1, а ее марку 17:17:17.*

**Простое удобрение**– удобрение с гарантированным содержанием только одного основного питательного макроэлемента.

*Примечание: простое удобрение может содержать негарантированное количество других питательных элементов.*

**Комплексное удобрение**– удобрение с гарантированным содержанием не менее двух питательных макроэлементов.

**Сложное удобрение**– удобрение, полученное путем химической переработки сырья по единому технологическому процессу, обеспечивающему одинаковый или близкий химический состав.

**Смешанное удобрение**– удобрение, получаемое механическим смешиванием с гарантированным содержанием не менее двух питательных макроэлементов.

**Удобрение с микроэлементами**– простое или сложное удобрение с гарантированным содержанием одного или более микроэлементов.

**Многофункциональное удобрение**– удобрение, содержащее кроме питательных элементов вещества, оказывающие специфическое действие на растения и почву.

**Медленнодействующее удобрение**– удобрение, содержащее питательные элементы в медленно действующей форме.

**Твердое удобрение**– порошковидное и гранулированное удобрение.

**Гранулированное удобрение**– твердое удобрение, имеющее форму зерен (гранул).

**Приллированное удобрение**– гранулированное удобрение, имеющее наиболее близкую к сферической форму гранул, получаемое при распыскивании горячего расплавленного удобрения в потоке охлаждающего воздуха или другого газа.

**Порошковидное удобрение**– твердое удобрение, имеющее размер частиц менее 1 мм.

**Модифицированное удобрение (кондиционированное)**– удобрение, частицы которого покрыты тонким слоем различных материалов, улучшающих их физико-механические свойства.

**Капсулированное удобрение**– гранулированное удобрение, покрытое тонкой водонепроницаемой пленкой органических полимеров.

**Жидкое удобрение**– удобрение в виде раствора или суспензии.

**Наполнитель**– вещество, не содержащее питательных элементов или добавляемое к удобрению для регулирования содержания питательных элементов.

**Модифицирующая добавка**– вещество, добавляемое к удобрению для улучшения его физико-механических свойств.

**Растворимость удобрений**– масса удобрения в килограммах, которая может быть растворена в 100 кг воды при определенной температуре.

**Влажность удобрения**– масса воды, выделяемая из удобрения конвекционным методом в заданных условиях или химическим путем.

**Кислотность**– содержание свободной кислоты в удобрении, выраженное в процентах.

**Щелочность**– содержание свободного основания в удобрении, выраженное в процентах.

**Гигроскопичность**– свойство удобрения поглощать атмосферную влагу с интенсивностью, зависящей от температуры и влажности атмосферы.

**Насыпная плотность (без уплотнения)**– масса свободно насыпанного в емкость удобрения, отнесенная к единице объема.

**Насыпная плотность (после уплотнения)**– масса уплотненного встряхиванием в емкости удобрения, отнесенная к единице объема.

**Угол естественного откоса**– угол образующегося конуса свободно насыпанного удобрения с горизонтальной плоскостью.

**Сыпучесть**– свойство удобрений свободно истекать непрерывной струей под воздействием гравитационных сил.

**Рассыпчатость**– масса сыпучей части удобрения, отнесенная к общей массе удобрения и выраженная в процентах.

**Прочность гранул**– свойство гранул удобрения, характеризующее их способность сохранять размеры и форму под воздействием внешних сил.

**Статическая прочность гранул**– прочность гранул, определяемая усилием, необходимым для разрушения гранул данного размера при одностороннем сжатии между двумя параллельными плоскостями.

**Динамическая прочность гранул**– прочность гранул, определяемая усилием, необходимым для разрушения гранул при ударе о твердую поверхность.

**Истираемость гранул**– прочность гранул, определяемая усилием, необходимым для разрушения гранул под воздействием сил трения.

## Рекомендуемая литература

1. Технология фосфорных и комплексных удобрений / Под. ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бордского.– М.: Химия, 1987.– 464 с.
2. Основы технологии фосфорных и комплексных удобрений / А.В. Кононов, В.Н. Стерлин, Л.И. Евдокимова.– М.: Химия, 1988.– 320 с.
3. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений.– Л.: Химия, 1989.– 352 с.
4. Позин М. Е. Технология минеральных удобрений / Учебник для Высших учебных заведений– 6-е изд.– Л.: Химия, 1989.– 352 с.
5. Кислотные методы переработки фосфатного сырья / Е.Л. Яхонтова, И.А. Петропавловский, В.Ф. Камышов и др.– М.: Химия, 1988.– 288 с.
6. Комплексное использование сырья и отходов / Б.М. Равич, В.П. Окладников, В.Н. Лигач и др.– М.: Химия, 1988.– 288 с.
7. Мельников Е.Я. и др. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений.– М.: Химия, 1983.– 432 с.
8. Соколовский А.А., Унанянц Т.П. Краткий справочник по минеральным удобрениям.– М.: Химия, 1977.– 376с.
9. Технология калийных удобрений / Под ред. В.В. Печковского.– Минск: Вышэйшая школа, 1978.– 304 с.
10. Кашкаров О.Д., Соколов Н.Д. Технология калийных удобрений.– Л.: Химия, 1978.– 247 с.
11. Крашенинников С.А. Технология соды.– М.: Химия, 1988.– 304 с.
12. Зайцев И.Д., Ткач Г.А., Стоев Н.Д. Производство соды.– М.: Химия, 1986.– 312 с.
13. Производство кальцинированной соды при комплексной переработке нефелинового сырья / М.Л. Варламов, С.В. Беленький, Е.Л. Кричевская и др.– М.: Химия, 1977.– 176 с.
14. Производство глинозема / А.И.Лайнер, Н.И.Еремин, Ю.А.Лайнер и др.– М.: Металлургия, 1978.– 344 с.
15. Викторов М.М. Графические расчеты в технологии неорганических веществ.– М.: Химия, 1972.– 464с.
16. Позин М.Е., Копылев Б.А., Бельченко Т.В. и др. Расчеты по технологии неорганических веществ.– Л.: Химия, 1989.– 492 с.
17. Позин М.Е. Руководство к практическим занятиям по технологии неорганических веществ.– Л.: Химия, 1980.–368 с.
18. Ильин А.П., Морозов Л.Н., Смирнов Н.Н. Химическая технология неорганических веществ: Сборник лабораторных работ. Иваново, 2002.– 80 с.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Общие положения  | 3  |
| Программа  | 3  |
| Контрольные вопросы                                      | 5  |
| Принципиальные блок-схемы производств                    | 12 |
| Общие понятия в технологии минеральных удобрений и солей | 34 |
| Рекомендуемая литература                                 | 37 |

Составитель: Кунин Алексей Владимирович

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО КУРСУ**  
**«ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ»**  
для студентов специальности 24.03.01  
«Химическая технология неорганических веществ»

Редактор Т.В. Куликова

Подписано в печать 21.02.2006. Формат 60×84 1/16. Бумага газетная. Печать плоская. Усл.печ.л. 2,65. Уч.-изд. л. 2,84. Тираж 120 экз. Заказ

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финансов ГОУ ВПО «ИГХТУ».

ГОУ ВПО Ивановский государственный химико-технологический университет  
153460, г.Иваново, пр. Ф.Энгельса, 7