

# Химическая технология неорганических веществ

## Бакалавриат

- **Технология производства азотной кислоты по схеме АК 72**
- Процесс получения азотной кислоты протекает в несколько основных стадий :
  - 1. подготовка аммиачно-воздушной смеси;
  - 2. окисление аммиака до оксида азота (II);
  - 3. окисление оксида азота (II) до оксида азота (IV);
  - 4. поглощение оксида азота (IV) водой и получение азотной кислоты;
  - 5. очистка хвостовых газов

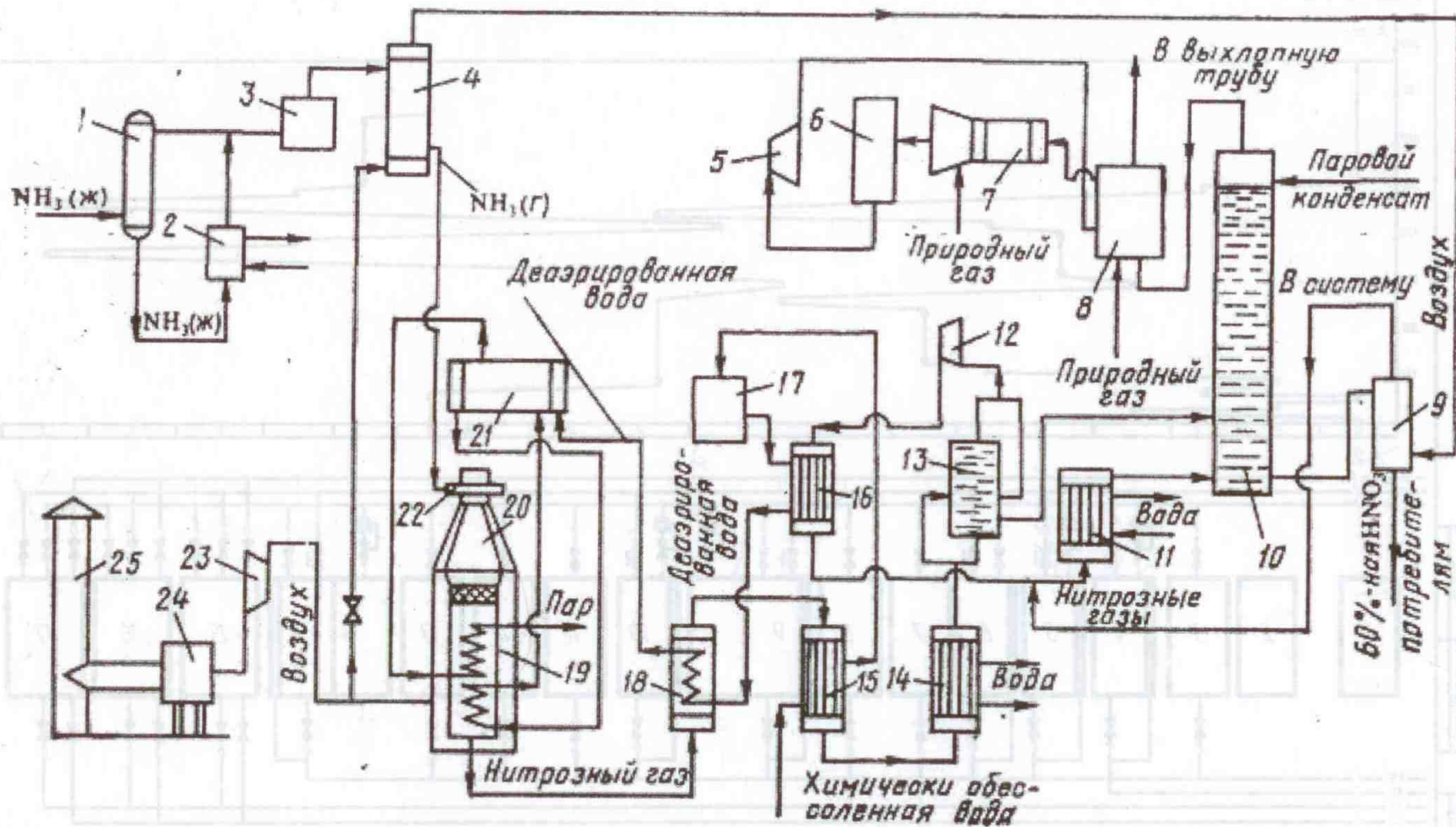


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства азотной кислоты АК-72:

1 – ресивер; 2 – испаритель; 3, 24 – фильтры; 4, 15 – подогреватели; 5 – рекуперационная турбина; 6 – реактор каталитической очистки; 7 – смеситель; 8 – топочное устройство; 9 – продувочная колонна; 10 – абсорбционная колонна; 11, 14 – водяные холодильники; 12, 23 – компрессоры; 13 – газовый промыватель; 16, 18 – холодильники нитрозных газов; 17 – деаэрационная колонна; 19 – котел-утилизатор; 20 – контактный аппарат; 21 – барабан с сепарационным устройством; 22 – смешивательная камера; 25 – труба для забора воздуха

# Материальные потоки в производстве азотной кислоты

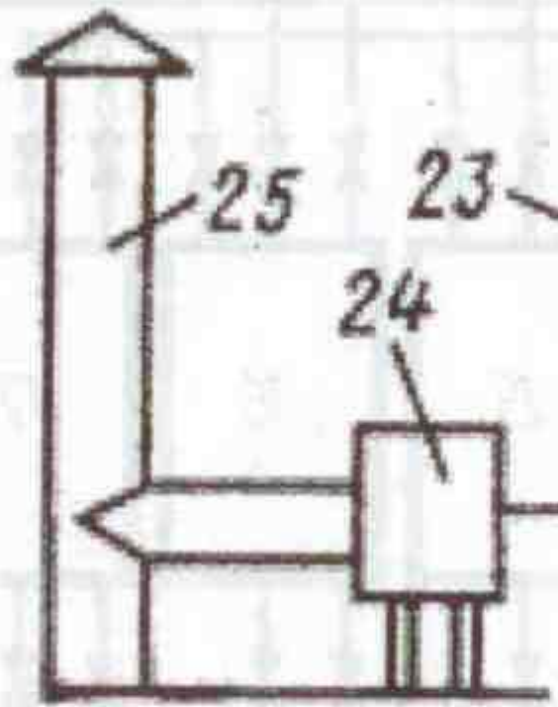
- воздух, аммиак → АВС →  
нитрозные газы → азотная кислота  
→ выхлопные газы → вода ↑
- АВС – аммиачно-воздушная смесь

# Аппараты, где идут химические процессы

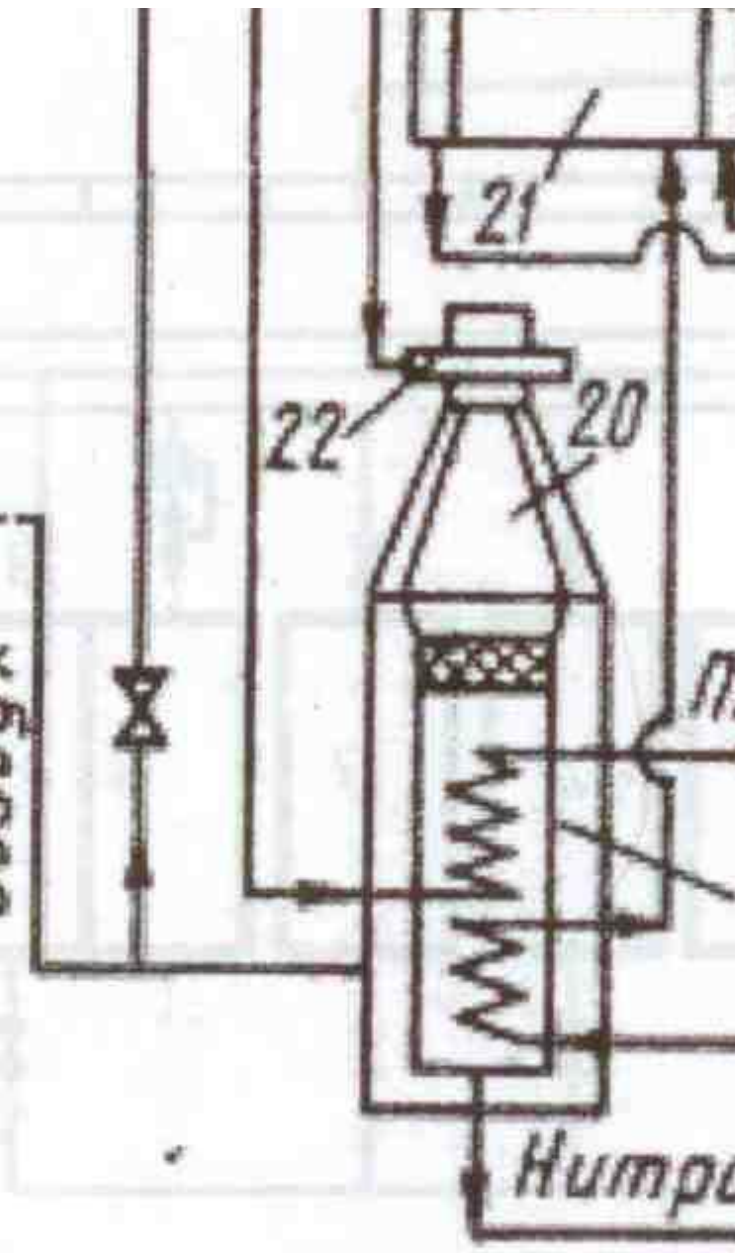
- 20 – контактный аппарат (конверсия)
- 18, 15, 14 – теплообменники (окисление NO, образование  $\text{HNO}_3$ )
- 10 – абсорбционная колонна (получение  $\text{HNO}_3$ )
- 6 – реактор каталитической очистки

# Подготовка и компримирование воздуха

- 25 - труба для забора воздуха
- 20 - контактный аппарат
- 22- смеситель
- 23- осевой компрессор
- 24- двухступенчатый фильтр



Воздух



# Очистка воздуха

- Для окисления аммиака используется кислород воздуха. Воздух забирается через воздухозаборную трубу 25 высотой 30 м.
- Воздух очищается в двухступенчатом фильтре 24 (грубая очистка на синтетическом волокне и тонкая очистка на ткани Петрянова). После очистки запылённость воздуха не должна превышать  $0,007 \text{ мг/м}^3$ . Замена фильтрующих элементов – примерно через год работы агрегата во время плановых остановок.
- При относительной влажности воздуха более 75 % и температуре ниже  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  возникают условия для увлажнения и обмерзания фильтров, поэтому перед фильтрацией воздух подогревается паром в теплообменниках.

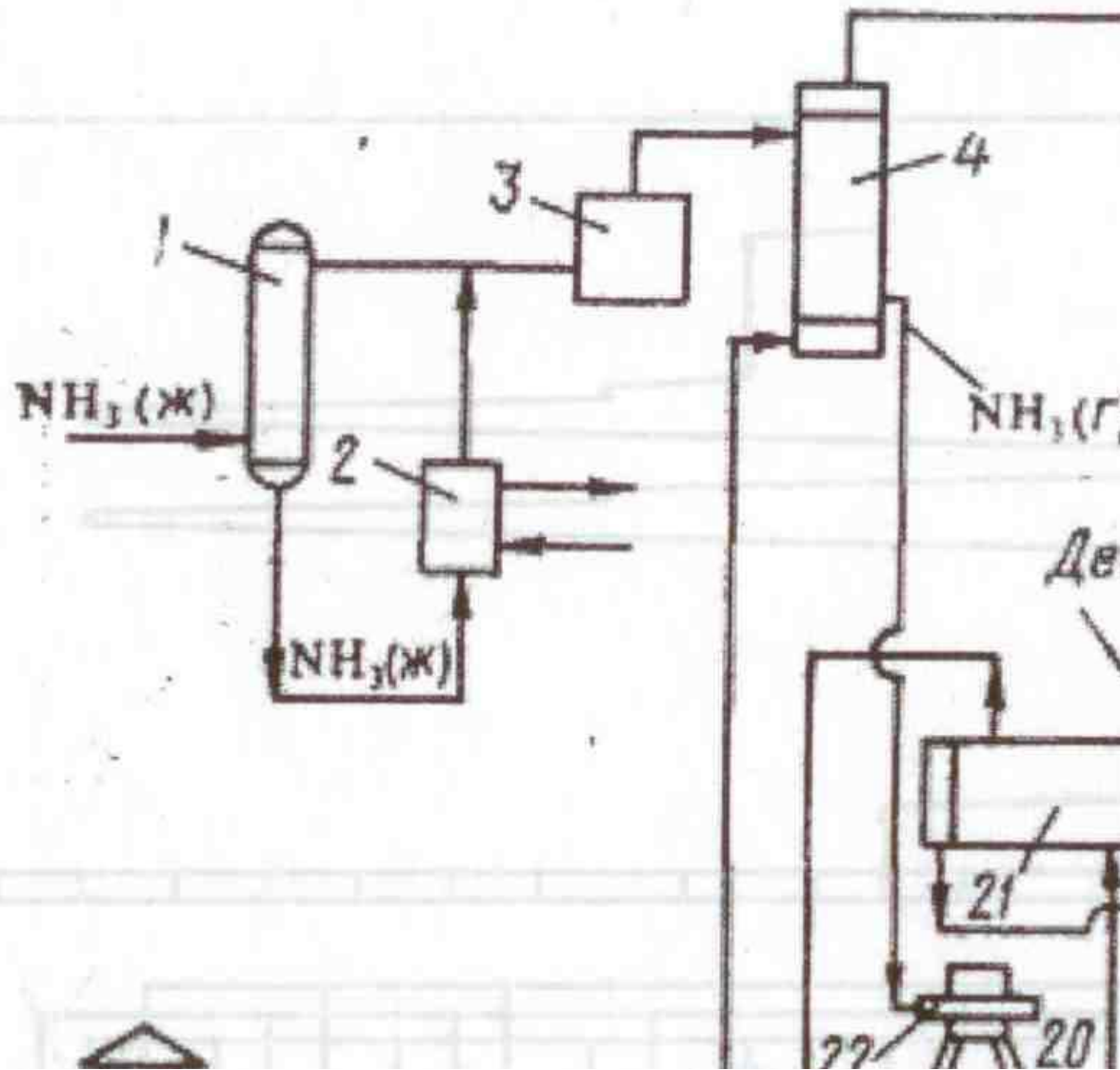
# Сжатие и подача воздуха

- После фильтрации воздух поступает в осевой компрессор 23 комплексного машинного агрегата ГТТ-12. В компрессоре воздух сжимается до 2 – 3,7 ат, нагреваясь до 130 – 210 °С. Сжатый воздух разделяется на 2 потока. Основной поток идёт в контактный аппарат 20 (в кольцевые зазоры корпуса). Второй поток (10 – 14 %) идёт в подогреватель аммиака 4, затем в продувочную колонну 9 для отдувки растворённых в кислоте оксидов азота.
- Пройдя по кольцевым зазорам, воздух поступает в смесители 22 в верхних частях контактных аппаратов, где смешивается с газообразным аммиаком.



# Подготовка газообразного аммиака

- 1 - ресивер
- 2 – испаритель
- 3 – фильтр
- 4 – подогреватель



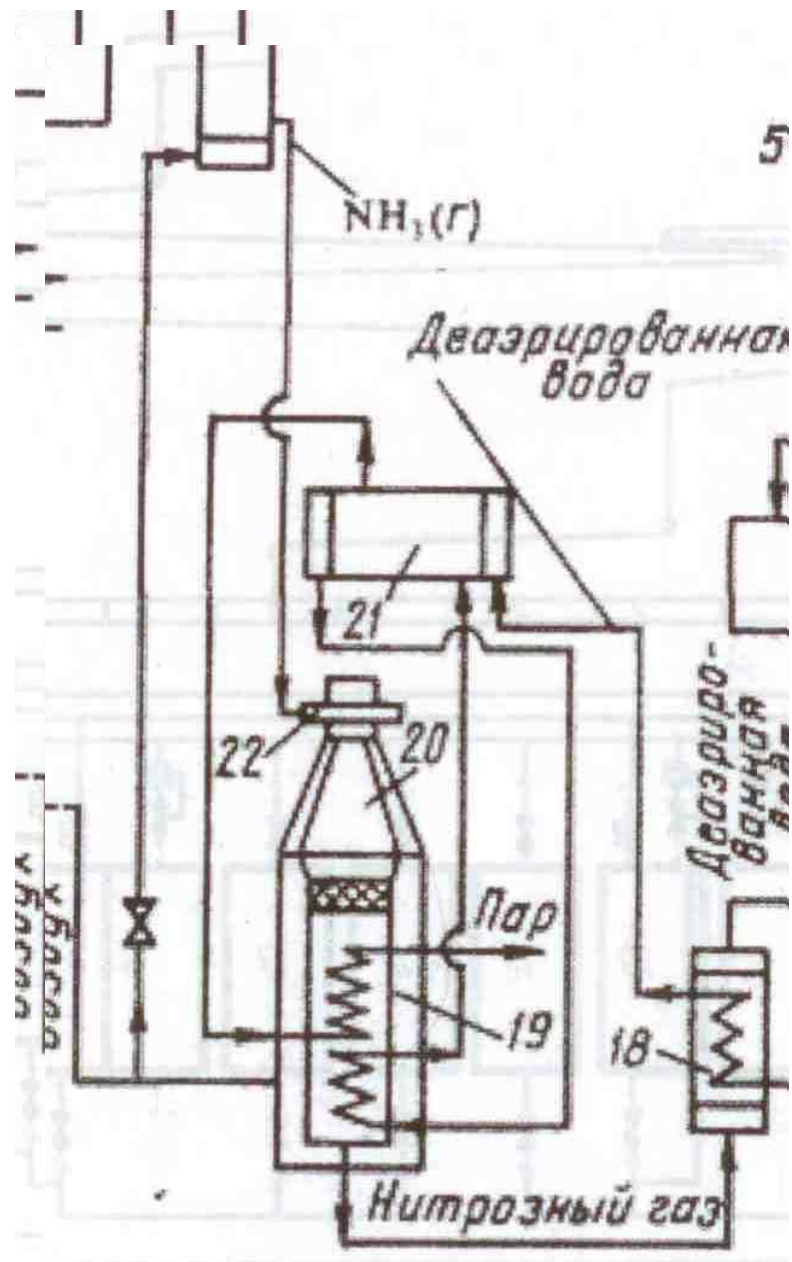
# Испарение и подготовка

## аммиака

- Жидкий аммиак из заводской сети поступает в ресивер 1. В нём аммиак частично испаряется и разделяется на ЖА и ГА. ЖА перетекает в испаритель 2, а ГА идёт на фильтр 3. Ресивер и испаритель соединены как сообщающиеся сосуды с одним уровнем ЖА. Испарение аммиака происходит за счёт тепла воды, подаваемой в трубы испарителя.
- ЖА содержит примеси воды и масла, поэтому часть ЖА (4 – 10 %) отводится из системы в сборник кубовых остатков, где испаряется и идёт в заводскую сеть. Масла утилизируются.
- ГА чистят от масла, железа и катализаторной пыли на двухступенчатых фильтрах 3 (стекловолокно; материал ФМП-1).

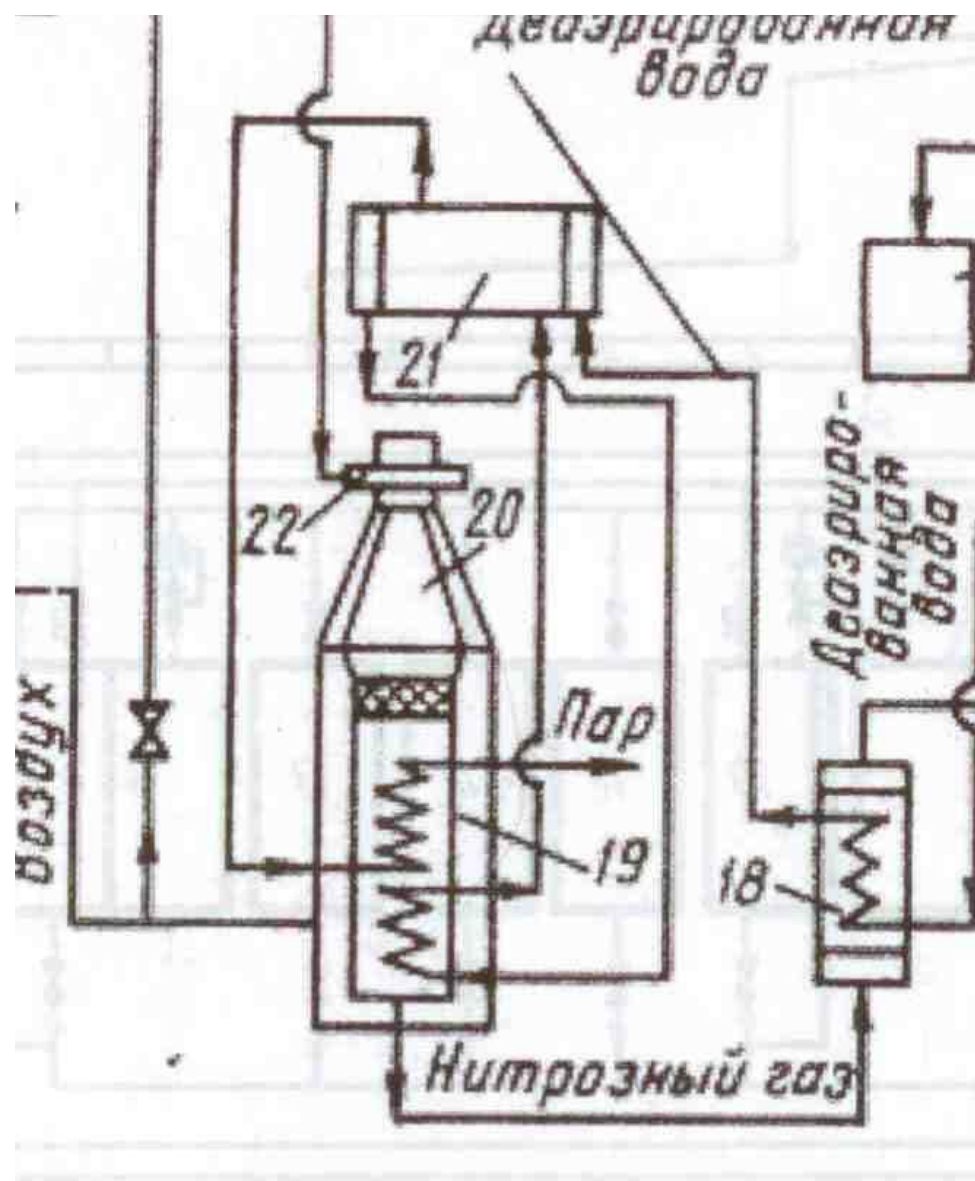
# Аммиачно-воздушная смесь

- Очищенный ГА подогревается до 70 – 110 °С в аппарате 4 за счёт тепла воздуха и поступает в смесительную камеру 22 контактного аппарата. АВС проходит тонкую очистку от аэрозолей (микроультрасупертонкое волокно УСТВ-20; стеклоткань), затем поступает через детурбулизатор (перфорированные листы) на Pt катализатор.



# Контактное окисление аммиака

- 6 – 7 катализаторных сеток из Pt сплавов. Разогрев сеток в период пуска – азото-водородной смесью из цеха № 55 или водородом из баллонов. Воспламенение смеси с помощью электрического запального устройства. При розжиге контактных аппаратов в нитрозном газе (НГ) – повышенное содержание аммиака. Он реагирует с НГ и образует нитрит-нитратные соли (типа  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ). Они вызывают коррозию аппаратов. Поэтому время розжига сеток не более 5 мин. Первые по ходу АВС смеси сетки – ранее работавшие.
- В НГ не менее 8,8 объёмных % NO, остальное - ????. Степень конверсии не менее 95 %. Температура в пределах 800 – 880 °С.

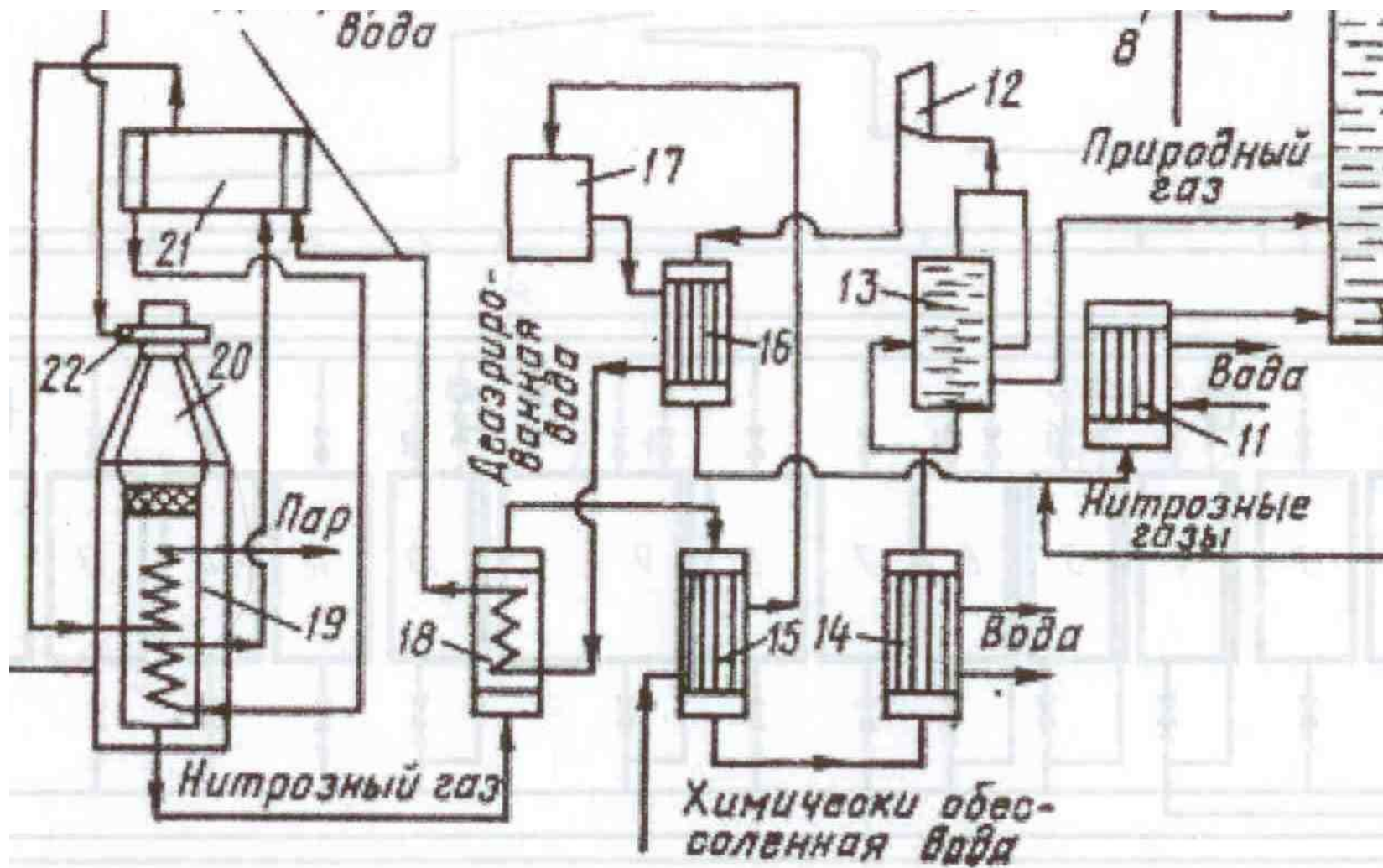


# Утилизация тепла нитрозного

## газа

- Внутри контактного аппарата расположен котёл-утилизатор, в котором получается перегретый пар  $P = 40$  ат с температурой  $440$  °С.
- Рассмотрим путь воды перед поступлением в котёл. Холодная обессоленная вода (внизу схемы) сначала поступает в подогреватель 15. Затем идёт в деаэратор 17. В этот аппарат через барботёр подаётся пар, и из воды удаляются растворённые газы (кислород, углекислый газ, инертные газы), а вода нагревается до  $102 - 106$  °С. Эта вода насосами (с давлением до 58 ат) подаётся в теплообменники 16 и 18 и затем в барабан 21 с сепарационным устройством. На схеме 16 и 18 обозначены как холодильники нитрозных газов (что для НГ – холодильник, то для воды – подогреватель). В сепарационном барабане пароводяная смесь, содержащая примерно 15 % насыщенного пара, разделяется внутри циклонов. Насыщенный пар подаётся в двухступенчатый пароперегреватель, где он приобретает температуру до  $440$  °С. Этот пар идёт в заводской паропровод и на технологические цели.
- Запишем путь воды:  $15 \rightarrow 17 \rightarrow 16 \rightarrow 18 \rightarrow 21 \rightarrow$  котёл-утилизатор.





# Путь нитрозных газов

- НГ отдают тепло пару и химически обессоленной воде. Сначала НГ охлаждается в котле-утилизаторе, затем в холодильнике 18. На входе в холодильник температура НГ 335 – 400 °С, на выходе 220 – 260 °С. Уже и по пути к холодильнику и в нём происходит окисление NO до NO<sub>2</sub>. Затем НГ идут в подогреватель воды 15, где охлаждаются до 130 – 190 °С. В водяном холодильнике 14 НГ охлаждаются оборотной водой до 40 – 65 °С. Происходит конденсация воды из НГ с образованием азотной кислоты (25 – 28 %). Далее – газовый промыватель 13. В нём НГ отмываются от нитрит-нитратных солей и происходит дальнейшая конденсация HNO<sub>3</sub>. Кислота (уже 40 %-ная) подаётся в абсорбционную колонну 10. Затем НГ сжимают в компрессоре 12 до P = 9 ат, при этом они нагреваются до 210 – 230 °С. Поэтому их охлаждают в холодильнике 16 до 155 – 165 °С и в холодильнике 11 до 60 – 65 °С и только потом направляют в абсорбционную колонну 10.
- Запишем путь НГ: котёл-утилизатор → 18 → 15 → 14 → 13 → 12 → 16 → 11 → 10.

# Абсорбция нитрозных газов

- Сверху в колонну 10 поступает водяной конденсат с температурой не выше  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , снизу – охлаждённые НГ. Абсорбция оксидов азота водой происходит на тарелках колонны. Перетекая сверху вниз навстречу потоку НГ, вода поглощает оксиды азота с образованием кислоты.
- Процесс абсорбции идёт при давлении не выше 9 ат с постоянным отводом тепла реакцией оборотной водой с температурой не выше  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Снизу выходит 58 – 60 %-ная азотная кислота. Она идёт в продувочную колонну 9 для удаления растворённых оксидов азота.



# Очистка хвостовых газов

- Отходящий газ из абсорбционной колонны нагревается в подогревателе (топочном устройстве) 8, смешивается в смесителе 7 с природным газом. Оптимальное соотношение природный газ – кислород составляет  $\text{CH}_4 / \text{O}_2 = 0,55 - 0,56$ . Подогретый до  $480\text{ }^\circ\text{C}$  газ направляется на каталитическую очистку от оксидов азота в реактор 6. Катализатором очистки служит алюмопалладиевый катализатор АПК-2. После каталитического разложения выхлопные газы, содержащие до  $0,005\%$  оксидов азота при температуре  $720 - 760\text{ }^\circ\text{C}$ , поступают в рекуперационную турбину 5, входящую в состав газотурбинного агрегата. Здесь тепловая энергия выхлопных газов преобразуется в механическую со снижением температуры до  $350 - 430\text{ }^\circ\text{C}$  и одновременным снижением давления газа. Энергия, вырабатываемая в газовой турбине, используется для привода компрессоров 12 и 23 (нитрозного и воздушного). Отработанные в турбине выхлопные газы используют для подогрева в аппарате 8.

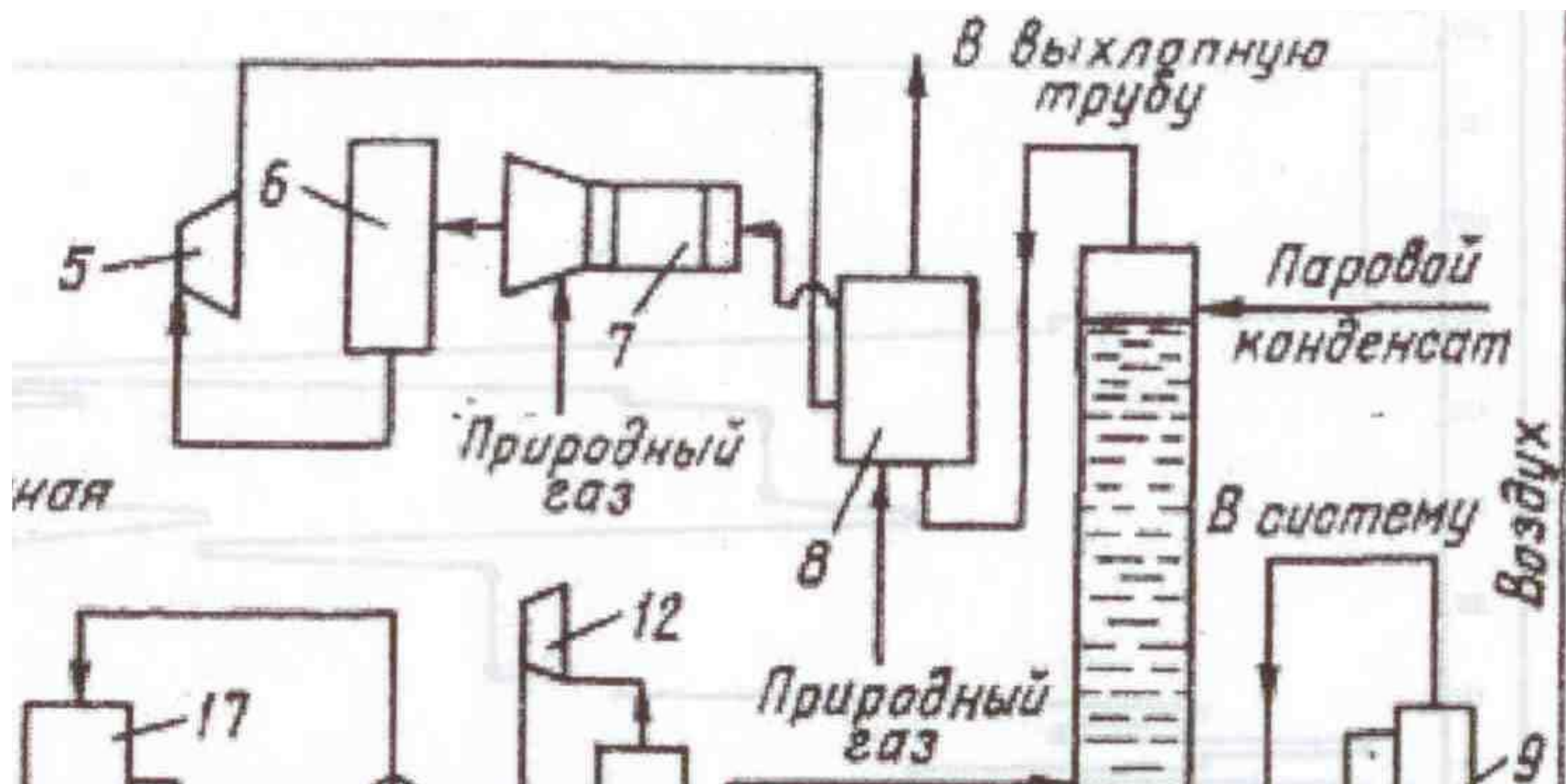
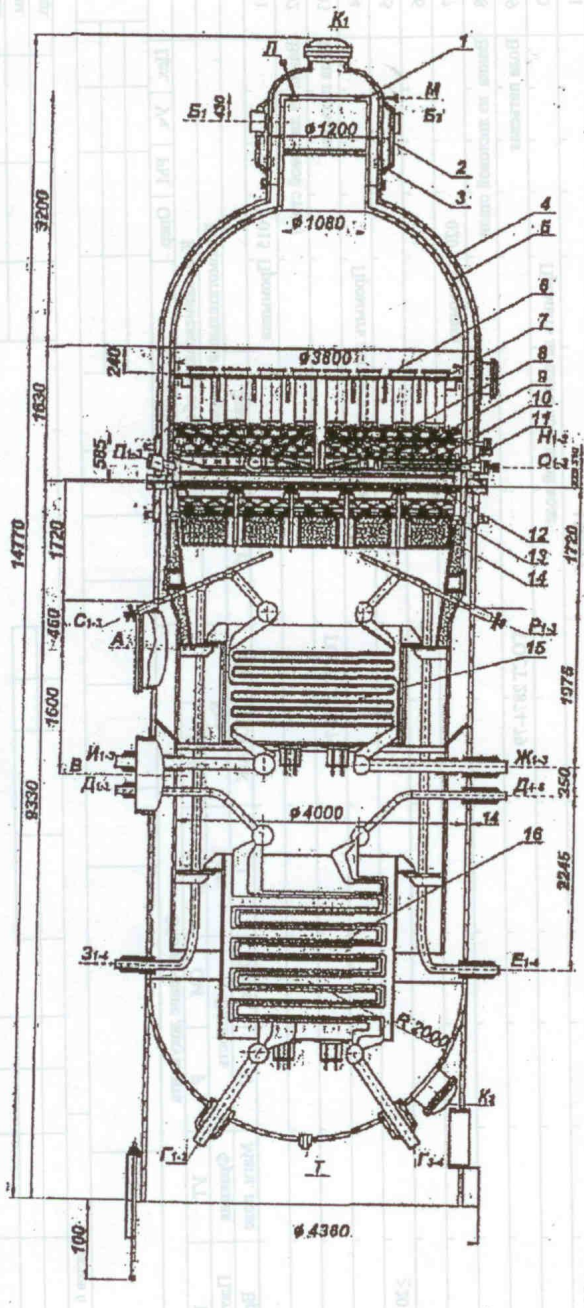
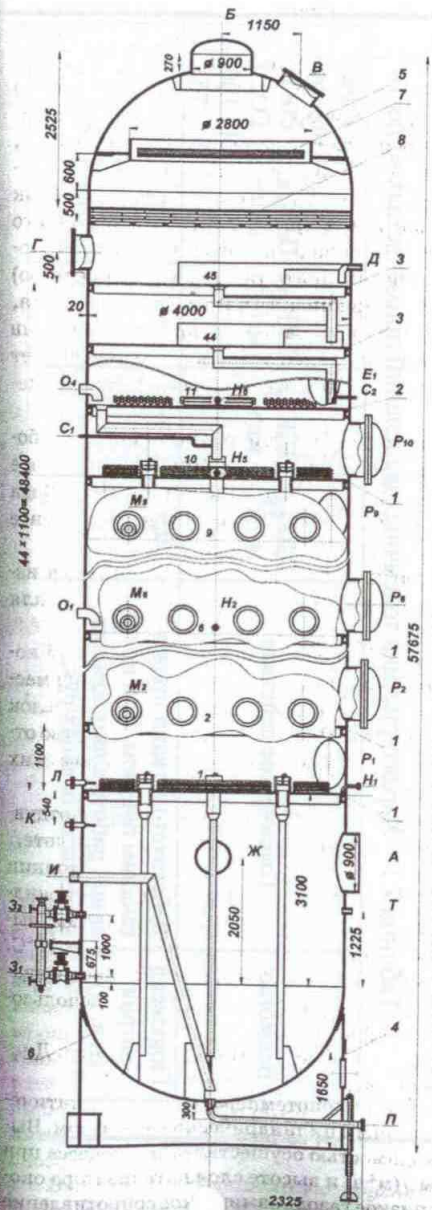


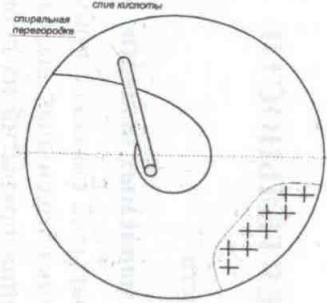
Рис. ПЗ. Контактный аппарат.



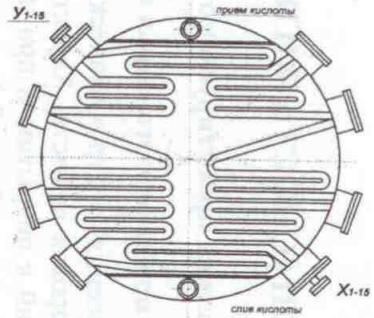
- А – вход воздуха;  
 В<sub>1,2</sub> – вход аммиака;  
 В – выход нитрозного газа;  
 Г<sub>1-4</sub> – подвод воды от циркуляционных насосов;  
 Д<sub>1-6</sub> – отвод пароводяной смеси к барабану;  
 Е<sub>1-4</sub> – подвод насыщенного пара от барабана;  
 Ж<sub>1-4</sub> – отвод пара в пароохладитель;  
 З<sub>1-4</sub> – подвод насыщенного пара от пароохладителя;  
 И<sub>1-3</sub> – отвод перегретого пара на производство;  
 К – люк;  
 Л – для замера сопротивления;  
 М – для замера давления;  
 Н<sub>1,3</sub> – вход газа для розжига;  
 О<sub>1,3</sub> – для отбора проб;  
 П<sub>1,3</sub> – окно смотровое;  
 Р<sub>1,3</sub> – для термометры;  
 С<sub>1,3</sub> – для отбора проб;  
 Т – дренаж;  
 I – смеситель;  
 2 – отверстия диаметром 12мм;  
 3 – отверстия диаметром 4мм;  
 4 – силовой корпус;  
 5 – внутренний корпус;  
 6 – плита опорная;  
 7 – патрон фильтра;  
 8 – распределительная решетка;  
 9 – огнепреградительный слой из колец алюминия;  
 10 – огнепреградительный слой из колец никеля;  
 11 – горелка;  
 12 – платиновая сетка;  
 13 – неплатиновый катализатор;  
 14 – масса для улавливания платины;  
 15 – пароперегреватель;  
 16 – испаритель.



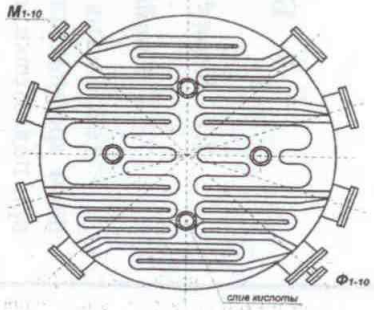
Тарелка со спиральным перетоком (26-45)



Тарелка с четырехрядными змеевиками (11-25)



Тарелка с семирядными змеевиками и зоной контакта 2-х фаз (1-10)







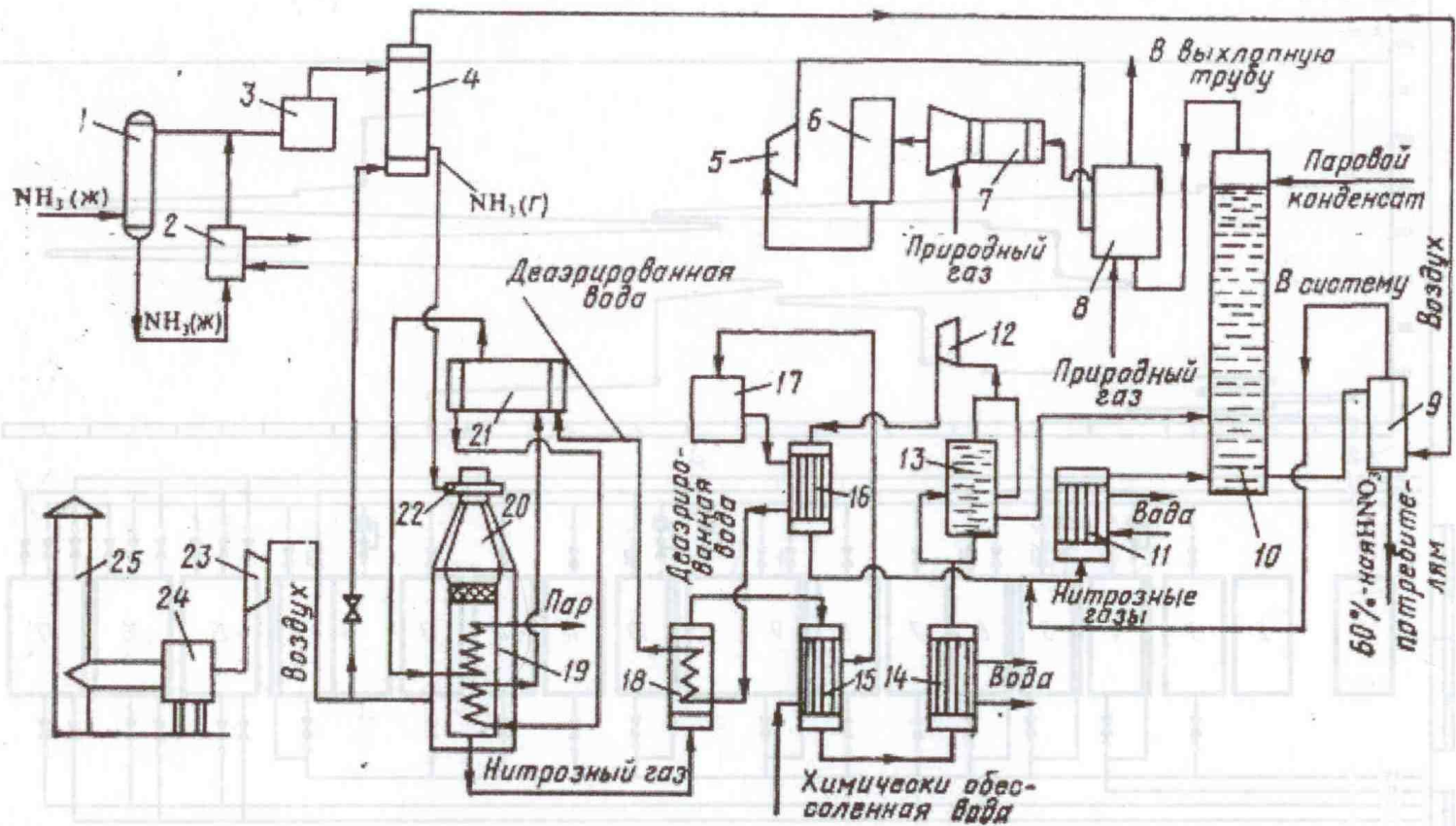


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства азотной кислоты АК-72:

1 – ресивер; 2 – испаритель; 3, 24 – фильтры; 4, 15 – подогреватели; 5 – recuperационная турбина; 6 – реактор каталитической очистки; 7 – смеситель; 8 – топочное устройство; 9 – продувочная колонна; 10 – абсорбционная колонна, II, 14 – водяные холодильники; 12, 23 – компрессоры; 13 – газовый промыватель; 16, 18 – холодильники нитрозных газов; 17 – деаэрационная колонна; 19 – котел-утилизатор; 20 – контактный аппарат; 21 – барабан с сепарационным устройством; 22 – смесительная камера; 25 – труба для забора воздуха

Раздаточный лист 5

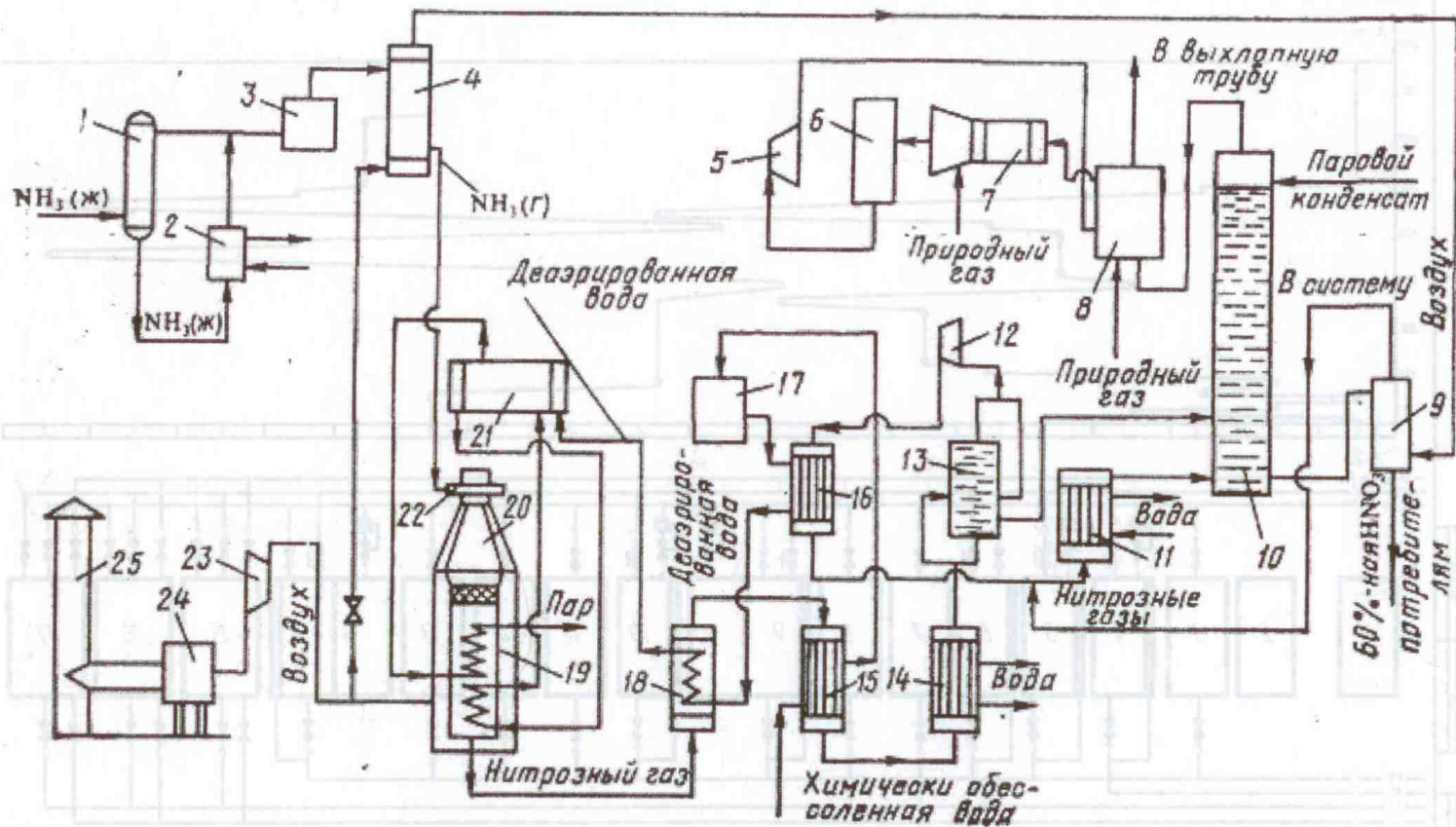


Рисунок 1.1 – Технологическая схема производства азотной кислоты АК-72:

1 – ресивер; 2 – испаритель; 3, 24 – фильтры; 4, 15 – подогреватели; 5 – recuperационная турбина; 6 – реактор каталитической очистки; 7 – смеситель; 8 – топочное устройство; 9 – продувочная колонна; 10 – абсорбционная колонна, II, 14 – водяные холодильники; 12, 23 – компрессоры; 13 – газовый промыватель; 16, 18 – холодильники нитрозных газов; 17 – деаэрационная колонна; 19 – котел-утилизатор; 20 – контактный аппарат; 21 – барабан с сепарационным устройством; 22 – смесительная камера; 25 – труба для забора воздуха

Раздаточный лист 5