

## ТРЕНАЖЕР ПО ПРОИЗВОДСТВУ АЗОТНОЙ КИСЛОТЫ

**Назначение программы:** определение причин, вызвавших нарушение технологического режима производства азотной кислоты, и управляющих воздействий, восстанавливающих регламентный режим химико-технологического процесса (управление технологическим режимом химико-технологической системы).

### 1. Производство разбавленной азотной кислоты под единым давлением 0,73 МПа (УКЛ-0,73)

В промышленности азотную кислоту получают из аммиака, кислорода и воды, используя следующие химические превращения

*Окисление аммиака*



Реакция – сложная необратимая экзотермическая, протекает на платиновом катализаторе при 850–920°C с избирательностью 94–98% (в зависимости от условий процесса) при полном превращении аммиака. В промышленности для окисления аммиака используют кислород воздуха.

*Окисление оксида азота*



Реакция – обратимая экзотермическая гомогенная (газофазная). Снижение температуры благоприятствует сдвигу равновесия вправо.

*Хемосорбция диоксида азота*



Реакция – гетерогенная газожидкостная экзотермическая. Понижение температуры способствует более полному превращению  $\text{NO}_2$ . Выделяющийся  $\text{NO}$  окисляется кислородом воздуха по реакции (3), так что происходит почти полное поглощение диоксида азота водой, и процесс можно описать следующим стехиометрическим уравнением



Промышленное получение азотной кислоты, технологические схемы ее производства описаны в [1], раздел 6.2.4. Наиболее распространенное в отечественной промышленности производство слабой азотной кислоты осуществляется под единым давлением 0,73 МПа в системе, называемой "универсальная комплектная линия под давлением 0,73 МПа" (УКЛ–0,73).

Проведение процесса под повышенным давлением сокращает расходы на оборудование, особенно на стадии хемосорбции, и позволяет создать энерготехнологическую систему, не потребляющую энергию со стороны.

Технологическая схема такого производства представлена на рис. 1. Здесь же показаны подсистемы производства.

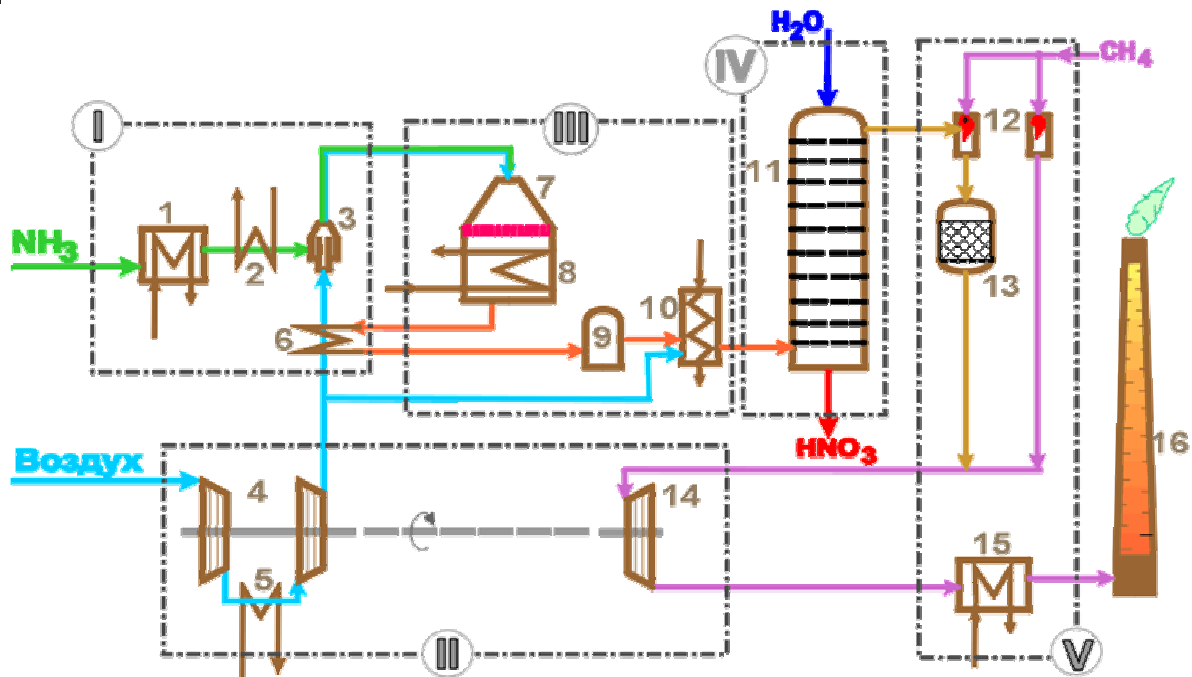


Рис. 1. Схема производства азотной кислоты  
Технологические аппараты

- |                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1 – испаритель $\text{NH}_3$ ;        | 9 – окислитель;               |
| 2 – нагреватель $\text{NH}_3$ ;       | 10 – холодильник–конденсатор; |
| 3 – смеситель;                        | 11 – абсорбционная колонна;   |
| 4 – компрессор;                       | 12 – горелки;                 |
| 5 – холодильник воздуха;              | 13 – реактор очистки газов;   |
| 6 – теплообменник;                    | 14 – турбина;                 |
| 7 – реактор окисления $\text{NH}_3$ ; | 15 – экономайзер;             |
| 8 – котел-утилизатор;                 | 16 – выхлопная труба.         |

#### Подсистемы

- I. Подготовка аммиачно-воздушной смеси;
- II. Компрессия воздуха;
- III. Конверсия аммиака;
- IV. Абсорбция оксидов азота;
- V. Очистка отходящих газов.

Технологические процессы протекают под давлением, для чего в подсистеме компрессии воздух сжимается турбокомпрессором 4 до давления 0,73 МПа. Аммиак испаряется в испарителе 1, подогревается и смешивается с воздухом. Аммиачно–воздушная смесь (АВС), содержащая ~10%  $\text{NH}_3$ , направляется в реактор 7. Горячие нитрозные газы отдают тепло в котле–утилизаторе 8. После окислителя 9 и холодильника 10 нитрозные газы направляются в абсорбционную колонну 11, в которой образуется азотная кислота. Для доокисления NO в колонне в нее подается добавочный воздух.

Газы после абсорбции нагревают, сжигая природный газ в горелках 12. Это необходимо для каталитического восстановления оставшихся оксидов азота в реакторе очистки 13. Высокая температура (1000 К) и повышенное остаточное давление (0,5 МПа) отходящих газов

обеспечивают их необходимый энергетический потенциал, чтобы в газовой турбине 14 превратить его в механическую энергию и полностью обеспечить привод воздушного турбокомпрессора 4. Такое самообеспечение энергией определяет, что *производство азотной кислоты – энерготехнологическая система*. В ней не потребляется энергия со стороны.

Теплота отходящих газов также используется в экономайзере 15.

Математические модели аппаратов этой системы получены статистической обработкой данных работы промышленного агрегата [Автоматизированное управление обучением (дисциплины химико-технологического цикла). / Под ред. А.М. Кутепова. Раздел V.8. М.: Высшая школа. 1991.].

## 2. Постановка задачи управления

Режимы аппаратов заранее определены как "нормальные". Запуск программы есть пуск производства. При нормальной работе агрегата азотной кислоты на экране монитора появляется бегущая строка "**режим нормальный**". Через некоторое время вносятся изменения в режим, и появляется сигнализация "**нарушение режима**" с информацией: в каком узле произошло нарушение, параметры процесса в этом узле и "нормальные" значения параметров. В реальных условиях производства управление процессом осуществляется (автоматически или вручную) поворотом штурвала задвижки, вентиля и т.д. по принципу "открывать-закрывать", или "больше-меньше". Производственный принцип управления процессом положен в основу управления моделью–тренажером.

На рис. 2 представлена технологическая схема, на которой показаны управляющие органы (вентили, задвижки), меняющие потоки технологические и теплоносителей и позволяющие воздействовать на режим работы отдельных аппаратов и ХТС в целом.

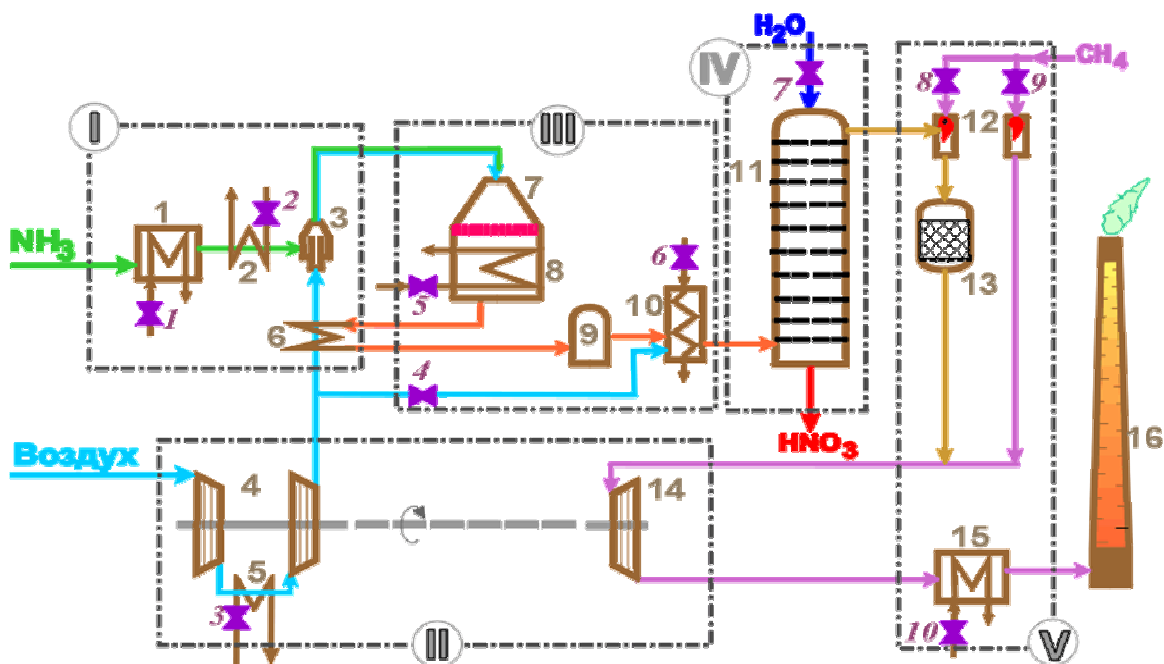


Рис. 2. Регуляторы в производстве азотной кислоты и их действие

- 1 – подача греющего пара для испарения аммиака
- 2 – подача греющего пара для нагрева испаренного аммиака
- 3 – подача воды на промежуточное охлаждение воздуха в компрессоре
- 4 – подача добавочного количества воздуха на охлаждение нитрозных газов а
- 5 – подача химически очищенной воды в котел-утилизатор реакционного узла
- 6 – подача охлажденной воды в холодильник-конденсатор
- 7 – подача воды на орошение абсорбционной колонны
- 8 – подача природного газа на нагрев отходящих газов перед реактором каталитической очистки
- 9 – подача природного газа на подогрев отходящих газов перед турбиной
- 10 – подача химически очищенной воды в экономайзер узла очистки нитрозных газов

После сигнала о нарушении режима требуется определить регулятор (указать его номер) и провести корректировку его (ввести коэффициент изменения положения регулятора). После ввода воздействий устанавливается новый режим. Если он совпадает с нормальным с определенной точностью, то корректировка заканчивается. Иначе предлагается продолжить восстановление режима. Возможно, потребуются корректировать режим не одним регулятором.

После завершения работы определяется число попыток и производится оценка действий. Допускается не более 10-ти попыток. На выполнение работы отводится до 10-ти минут.

### 3. Инструкция пользователя (учащегося)

После запуска программы выбрать режим – *"Тренировка"* или *"Контроль"*. При выборе *"Контроль"* ввести свои данные.

Пуск производства – *"Пуск"*. Режимы аппаратов в технологической схеме заранее определены как "нормальные". Через некоторое время после пуска производства вносятся изменения в режим, и появляется сигнал *"Нарушение режима!"* и информация – в каком узле произошло нарушение, параметры процесса в этом узле и "нормальные" значения параметров.

В реальных условиях производства управление процессом осуществляется (автоматически или вручную) поворотом штурвала задвижки, вентиля и т.д. по принципу "открывать–закрывать", или "больше–меньше". Производственный принцип управления процессом положен в основу управления моделью–тренажером.

На схеме указаны регуляторы потоков, с помощью которых можно изменять режим аппаратов. В нормальном состоянии значение регулятора равно 1. При ином значении происходит нарушение режима.

После сообщения о нарушении режима будет запрос *"Введите номер регулятора и регулирующее воздействие"* – число в интервале от 0 до 2, соответствующее изменению степени закрытия или открытия исполнительного механизма регулятора. Действующее значение регулятора будет умножено на введенное значение регулирующего воздействия. Значение

регулятора находится также в интервале  $0 \div 2$ . Возможно, потребуется корректировать режим не одним регулятором.

После записи воздействий – *"Ввести"*, и будет установлен новый режим. Если он совпадает с нормальным с определенной точностью, то корректировка режима заканчивается. Иначе предлагается продолжить восстановление режима.

По окончании можно просмотреть результаты работы – *"Показать результаты работы"* – значения регуляторов в процессе корректировки режима и режимы процесса нормального и отрегулированного.

В режиме *"Контроль"* после завершения работы определяется число попыток и производится оценка действий. Число попыток и время выполнения работы ограничено. Дата и время выполнения контроля, данные обучающегося и результаты работы фиксируются в журнале отчета.

В режиме *"Тренировка"* можно пользоваться *"Описание"* процесса .

*"Останов"* – возврат в исходное состояние.

*"ВЫХОД"* – завершение работы программы.

#### 4. Инструкция для преподавателя

Результаты работы учащихся в режиме *"Контроль"* (журнал отчета) можно просмотреть, выбрав режим *"Тренер"*. Потребуется ввод пароля. Если его не вводить (установить маркер в окно пароль и нажать клавишу *"Enter"*) или пароль не верен, то будет показана только таблица последних результатов (до 200 записей). Каждая запись включает: дата и время работы, фамилия и группа учащегося, оценка выполнения работы, количество попыток регулирования и время работы.

Если ввести пароль (в представленной копии программы пароль «охт») появится таблица результатов и следующие возможности работы с ней:

*Результаты* – показывает таблицу результатов;

*Удалить* – удалить выделенную строчку записи результата;

*Очистить* – удалить все результаты (очистить таблицу);

*Пароль* – возможность изменить пароль для защиты от несанкционированных действий со стороны посторонних, кроме преподавателя.