

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ и ГАЗА им. И.М. ГУБКИНА

Л.И.Толстых, Л.Ф.Давлетшина, О.Ю.Ефанова

**ПРОИЗВОДСТВО ИНГИБИТОРОВ
КОРРОЗИИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ НА
ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЙНЫХ И
ПИРИДИНИЕВЫХ СОЛЕЙ**

Методические указания для курсового и дипломного проектирования

Москва - 2015

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ и ГАЗА им. И.М. ГУБКИНА

Кафедра технологии химических веществ для нефтяной и газовой
промышленности

Л.И.Толстых, Л.Ф.Давлетшина, О.Ю.Ефанова

**ПРОИЗВОДСТВО ИНГИБИТОРОВ
КОРРОЗИИ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ НА
ОСНОВЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ АММОНИЙНЫХ И
ПИРИДИНИЕВЫХ СОЛЕЙ**

Методические указания для курсового и дипломного проектирования

Одобрено методической комиссией
факультета химической технологии и
экологии.

Москва – 2015

УДК 661.7

Л.И.Толстых, Л.Ф.Давлетшина, О.Ю.Ефанова. Методические указания для курсового и дипломного проектирования. Производство ингибиторов коррозии для нефтегазодобычи на основе четвертичных аммонийных и пиридиниевых солей.- М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2015.- 31 с.

Даны методические рекомендации для курсового и дипломного проектирования на тему «Производство ингибиторов коррозии для нефтегазодобычи на основе четвертичных аммонийных и пиридиниевых солей». Приведены исходные данные и методика расчета материальных и тепловых балансов производства ингибиторов коррозии. Методические указания предназначены для студентов специальности 240401–Химическая технология органических веществ, бакалавров направления 240100-Химическая технология и биотехнология.

Список литературы - 16 наименований.

Рецензент – д.т.н., проф. Лыков О.П.

Методические указания одобрены и рекомендованы к изданию учебно-методической комиссией факультета химической технологии и экологии РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина.

Содержание

	Стр.
I. Общие положения.....	5
II. Структура расчетно-пояснительной записки.....	5
III. Физико-химические основы процесса.....	7
IV. Технологическая схема процесса.....	8
V. Расчет материального баланса.....	10
VI. Расчет числа реакторов.....	13
VII. Расчет тепловых балансов.....	16
Приложение 1. Титульный лист курсового проекта (работы)....	26
Приложение 2 . Исходные данные для расчета.....	27
Приложение 3. Принципиальная технологическая схема.....	29
Литература.....	30

I. Общие положения

Выполнение курсового проекта по дисциплине «Химия и технология органических веществ» имеет целью приобретение студентами практических навыков при выполнении химико-технологических расчетов и проектировании технологических установок, в том числе установок производства химических реагентов, используемых в нефтегазодобыче, а также закрепление знаний, полученных при изучении теоретического курса.

Курсовой проект выполняется в виде расчетно-пояснительной записки, включающей также графическую часть (формат А1 и А4). Расчетно-пояснительная записка выполняется на компьютере, выполнение графической части возможно как с использованием компьютерной графики, так и от руки с соблюдением требований, содержащихся в пособии [3].

Аналогичные подходы могут быть использованы при выполнении студентами выпускных бакалаврских работ и дипломных проектов.

II. Структура расчетно-пояснительной записки

1. Титульный лист (Приложение 1).
2. Задание на курсовой проект - студент получает его на кафедре технологии химических веществ для нефтяной и газовой промышленности у преподавателя – руководителя курсового проекта. В задании указывается тема курсового проекта; производительность установки, другие исходные данные выбираются в соответствии с предложенными вариантами (Приложение 2) или корректируются преподавателем.
3. Оглавление.
4. Введение - следует показать объемы добычи нефти и газа в РФ, основные осложнения в работе нефтегазопромыслового оборудования, связанные с коррозией металлов, современное состояние применения ингибиторов коррозии и бактерицидов в нефтегазодобыче.

5. Литературный обзор - рассматривается классификация и механизм действия ингибиторов коррозии и бактерицидов, основные методы получения ингибиторов на основе четвертичных аммониевых и пиридиновых солей, технологии использования в нефтедобыче, методы оценки их эффективности. В тексте обязательны ссылки на цитированную литературу, список использованной литературы приводится в конце курсового проекта и должен содержать не менее 3 – 5 ссылок на публикации по данной теме последних пяти лет.

Дается характеристика сырья, рассматриваются основные и побочные реакции, лежащие в основе процесса, условия его осуществления, приводится анализ методов синтеза целевого продукта, его свойств, основных направлений применения целевого продукта, масштабы его производства в настоящее время и перспективы развития.

Характеристика сырья и готовой продукции может быть представлена в виде таблицы основных характеристик (химическая формула, молекулярная масса, растворимость, плотность, вязкость, температуры кипения и плавления, токсикологические характеристики, экологическая опасность и т.д.) с указанием литературных источников информации.

6. Технологическая схема процесса (Приложение 3) - включает графическую часть и ее описание с указанием параметров технологического режима и способов их регулирования, описанием устройства и принципов работы основных аппаратов. Выполняется в соответствии с требованиями ЕСКД [3] в формате А4 и А1; обозначения аппаратов на чертежах и в пояснительной записке должны соответствовать друг другу.

7. Исходные данные для расчета - приводится таблица конкретных исходных данных в соответствии с вариантом задания, указаниями преподавателя и методическими указаниями к курсовому проекту.

8. Материальный баланс производства по стадиям.

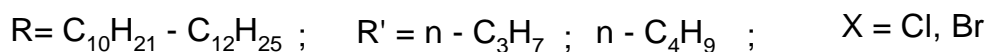
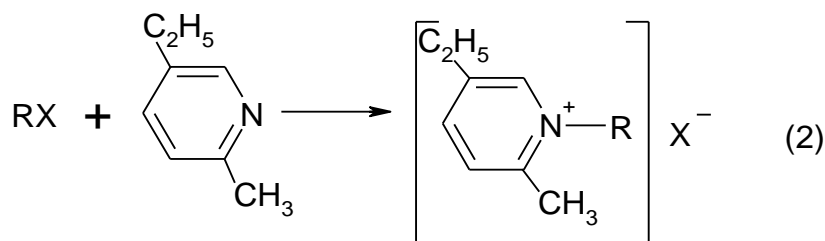
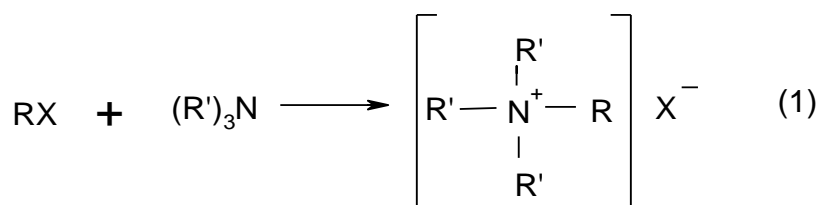
9. Технологический расчет реактора и вспомогательного оборудования (по согласованию с преподавателем) - включает стандартный расчет

необходимого объема аппаратов (реакторов с перемешивающим устройством), их количества, тепловые балансы аппаратов с определением поверхности теплообмена. Тепловой эффект реакции и другие необходимые теплофизические параметры могут быть рассчитаны студентом на основании знаний и навыков, полученных в курсе «Физическая химия» с помощью программы ChemOffice 2005, МОРАС, РМЗ.

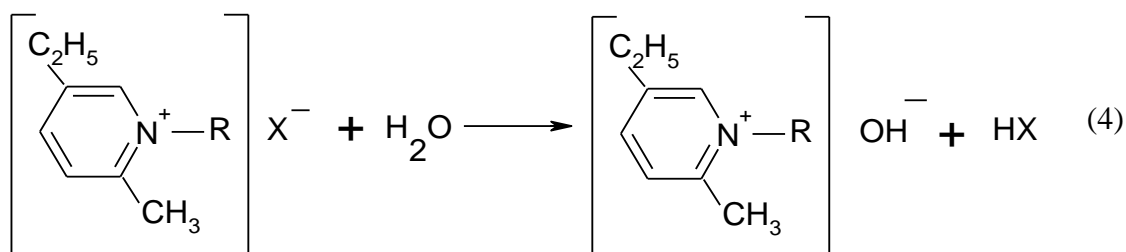
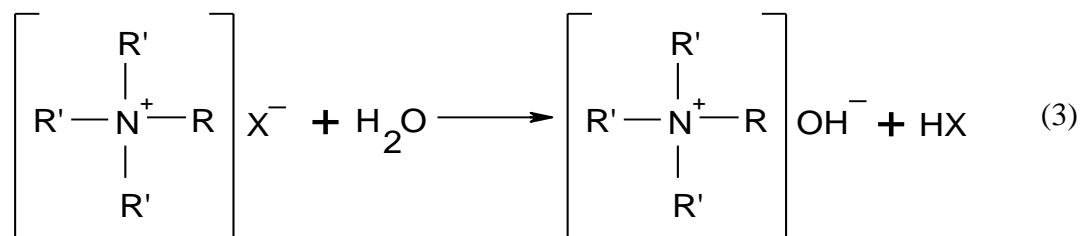
10. Список использованной литературы, ссылки на которую даются по ходу изложения литературного материала и проводимых расчетов.

III. Физико-химические основы процесса

Одним из наиболее распространенных и эффективных видов ингибиторов коррозии и бактерицидов являются четвертичные соли аммония и пиридиния. В основе их получения лежит реакция высших алкилгалогенидов с третичными аминами (1) или алкилпиридином (например, 2-метил-5-этилпиридином) (2):



При наличии в исходном сырье воды возможны побочные реакции превращения четвертичных аммонийных солей (ЧАС) и четвертичных пиридиниевых солей (ЧПС) соответственно в четвертичное аммонийное (ЧАО) (3) или четвертичное пиридиниевое основание (ЧПО) (4).



IV. Технологическая схема процесса

Процесс получения ингибиторов коррозии – бактерицидов на основе четвертичных аммонийных и пиридиниевых солей состоит из следующих стадий:

- загрузка сырья;
- получение продукта взаимодействием алкилгалогенидов $\text{C}_{10} - \text{C}_{12}$ (RX) с триалкиламином или 2-метил-5-этилпиридином (AM);
- приготовление товарной формы введением в реакционную массу растворителя (метанол, метанол/нефрас);
- выгрузка готового продукта.

Алкилгалогениды, алкиламины и растворитель поступают на установку в бочках или автоцистернах. Алкиламин (АМ) и алкилгалогенид (RX) предварительно загружают из товарных емкостей насосами НД-1, НД-2 и НД-3, НД-4 соответственно в приемно-расходные емкости Е-1, Е-2 и Е-3, Е-4.

Загрузку сырья на стадии взаимодействия RX и АМ производят равными порциями (по 1/3 от расчетного количества).

Первую порцию RX насосом- дозатором НД-3, НД-4 через мерник М-6, в реакторы Р-1, Р-2, снабженные механической мешалкой и рубашкой для подачи пара с целью разогрева системы и охлаждающей воды для отвода тепла реакции. Затем из мерника М-5 вводят расчетное количество алкиламина (алкилпиридина) (АМ). По окончании загрузки включают мешалку и подачу пара и нагревают смесь до 120 °С. Реакция RX с АМ сопровождается выделением тепла. При достижении температуры 125°С - 130°С в рубашку охлаждения реактора подают охлаждающую воду для поддержания температуры на уровне 125°С -130°С.

Незначительно испаряющиеся в процессе реакции алкилгалогенид и алкиламин (пиридин) улавливаются в холодильнике – конденсаторе КХ-1, охлаждаются и самотеком сливаются в реактор.

После достижения температуры 125°С отключается подача охлаждающей воды и рубашка реактора освобождается от неё.

Затем осуществляют загрузку второй порции алкилгалогенида и алкиламина, в рубашку реактора подается водяной пар и реакционная смесь нагревается до 120°С. Далее повторяют все технологические операции как после загрузки и нагрева первой порции сырья. Аналогично поступают с последней (третьей) порцией сырья.

После загрузки всего количества RX и АМ реакционная масса перемешивается в течение 1 часа при температуре 120 – 130°С, затем отбирается проба для анализа степени завершенности реакции.

Степень завершенности реакции определяется по формуле:

$$K = \frac{b_1 (RX + AM)}{RX * b} * 100$$

где, b_1 – содержание ионов галоида, полученное по анализу, (%)

b – содержание ионов галоида в RX, (%),

RX и AM – количество взятых в технологический процесс RX и AM (кг).

Если степень завершенности реакции менее 95%, то реакционная масса перемешивается при температуре 120 – 130°C ещё в течение 1- 1,5 часов.

При степени завершенности 95 – 98 % в рубашку реактора подается охлаждающая вода, и температура реакционной смеси снижается до 50 – 60°C. Затем насосом НД-7 в реактор загружается растворитель: метиловый спирт или смесь спирт/нефрас в расчетном количестве. При закачке растворителя подача охлаждающей воды в рубашку реактора не прекращается. Реакционная смесь перемешивается при температуре 30 – 40°C в течение 1,5 часов, затем отбирается проба готового продукта на соответствие ТУ. При положительных результатах анализа готовый продукт откачивается насосом НД-5, НД-6 в емкости хранения.

V. Расчет материального баланса

1. Количество активного вещества (ЧАС, ЧПС), содержащегося в товарном ингибиторе коррозии:

$$G_{\text{час}} = \frac{G_{\text{инг}}^{\text{тов}} * X_{\text{час}}}{100}, \text{ т/год}$$

2. Теоретическое количество алкилгалогенида (RX), необходимое для получения ЧАС (ЧПС):

$$G_{\text{RX}}^{\text{теор}} = \frac{G_{\text{час}} * M_{\text{RX}}}{M_{\text{час}}}, \text{ т/год}$$

3. Необходимое количество алкилгалогенида с учетом расходного коэффициента:

$$G'_{RX} = G_{RX}^{теор} * B_{RX}, \text{ т/год}$$

4. Необходимое количество алкилгалогенида с учетом его конверсии:

$$G''_{RX} = \frac{G'_{RX} * 100}{K_{RX}}, \text{ т/год}$$

5. Содержание воды в алкилгалогениде:

$$G_{H_2O}^{RX} = \frac{G''_{RX} * y_{H_2O}^{RX}}{(100 - y_{H_2O}^{RX})}, \text{ т/год}$$

6. Теоретическое количество триалкиламина (алкилпиридина) для получения ЧАС (ЧПС):

$$G_{ам}^{теор} = \frac{G_{час} * M_{ам}}{M_{час}}, \text{ т/год}$$

7. Необходимое количество амина с учетом расходного коэффициента:

$$G'_{ам} = G_{ам}^{теор} * B_{ам}, \text{ т/год}$$

8. Содержание воды в триалкилаmine (алкилпиридине):

$$G_{H_2O}^{ам} = \frac{G'_{ам} * y_{H_2O}^{ам}}{(100 - y_{H_2O}^{ам})}, \text{ т/год}$$

9. Общее количество воды в сырье:

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{общ}} = G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{RX}} + G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{ам}}, \text{ Т/ГОД}$$

10. Количество ЧАС (ЧПС), разлагающееся водой:

$$G_{\text{час}}^{\text{разл}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{общ}} * M_{\text{час}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ Т/ГОД}$$

11. Количество ЧАС (ЧПС), образующейся с учетом принятых расходных коэффициентов:

$$G_{\text{час}}' = \frac{G_{\text{RX}}' * M_{\text{час}}}{M_{\text{RX}}} = \frac{G_{\text{ам}}' * M_{\text{час}}}{M_{\text{ам}}}, \text{ Т/ГОД}$$

12. Количество ЧАС (ЧПС), содержащейся в реакционной массе:

$$G_{\text{час}}^{\text{р.м.}} = G_{\text{час}}' - G_{\text{час}}^{\text{разл}}, \text{ Т/ГОД}$$

13. Количество четвертичного аммонийного основания (ЧАО) или четвертичного пиридиниевого основания (ЧПО), образующегося в результате взаимодействия ЧАС (ЧПС) с водой:

$$G_{\text{чао}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{общ}} * M_{\text{чао}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ Т/ГОД}$$

14. Количество НХ, образующегося в результате взаимодействия ЧАС (ЧПС) с водой:

$$G_{\text{нх}} = \frac{G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{общ}} * M_{\text{нх}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ т/год}$$

15. Остаточное содержание алкилгалогенида в реакционной массе:

$$G_{\text{RX}}^{\text{ост}} = G_{\text{RX}}'' - G_{\text{RX}}', \text{ т/год}$$

16. Количество растворителя для получения товарной формы ингибитора коррозии с учетом потерь:

$$G_{\text{р-ля}} = \frac{G_{\text{инг}}^{\text{тов}} * 100}{(100 - Z_{\text{пот}})} - G_{\text{час}}^{\text{р.м.}} - G_{\text{чао}} - G_{\text{нх}} - G_{\text{RX}}^{\text{ост}}, \text{ т/год}$$

На основании приведенных расчетов составляется материальный баланс установки (табл. 5.1).

VI. Расчет числа реакторов

Расчет необходимого числа реакторов может быть осуществлен следующим образом.

Общий объем реагентов определяется по формуле

$$V_{\text{р}}^{\text{общ}} = \left(\sum \frac{G_i}{\rho_i} \right) * \frac{\tau * \alpha}{k_{\text{зап}}}, \text{ м}^3$$

где:

$\Sigma G_i / \rho_i$ - сумма объемов компонентов, загружаемых в реактор, м³/час,

τ - время пребывания реакционной массы в реакторе, ч

α - коэффициент увеличения реакционного объема за счет перемешивания
(1,1÷1,2)

$k_{\text{зап}}$ - коэффициент заполнения реактора (0,65÷0,75)

Плотность(ρ) компонентов сырья (индивидуальных алкилгалогенидов), отсутствующая в справочной литературе, рассчитывается по формуле Паниди-Трофимова:

$$V_{\text{м.об.}} = 56,07 + 2,696 (N - 14)$$

$$\rho = M_{\text{RX}} / V_{\text{м.об.}}$$

где

$V_{\text{м.об.}}$ – мольный объем;

M_{RX} – молекулярная масса индивидуального алкилгалогенида;

N – сумма всех внешних электронов в алкилгалогениде.

Число реакторов (n):

$$n = \frac{V_{\text{р}}^{\text{общ}}}{V_{\text{р}}^{\text{ед}}}$$

Таблица 5.1 – Материальный баланс синтеза ингибитора коррозии-бактерицида

Наименование	Условное обозначение	т/год	на загрузку	
			кг	%
<u>Приход</u>				
1. Алкилгалогенид технич. в т.ч. алкилгалогенид 100% H ₂ O	$G_{RX}^{тех}$ G_{RX}'' $G_{H_2O}^{RX}$			
2. Триалкиламин технич. в т.ч. триалкиламин 100% (алкилпиридин) H ₂ O	$G_{ам}^{тех}$ $G_{ам}'$ $G_{H_2O}^{ам}$			
3. Растворитель	$G_{р-ля}$			
Итого				100
<u>Расход</u>				
1. Ингибитор коррозии (товарный) в т.ч. ЧАС ЧАО НХ RX _{ост} растворитель	$G_{инг}^{тов}$ $(1 - Z_{пот}) * G_{час}^{р.м.}$ $(1 - Z_{пот}) * G_{чао}$ $(1 - Z_{пот}) * G_{нх}$ $(1 - Z_{пот}) * G_{RX}^{ост}$ $G_{р-ля}$			
2. Потери	$G_{пот}$			
Итого				100

VII. Расчет тепловых балансов

7.1. Расчет тепловых балансов реактора

Реактор изготовлен из углеродистой стали и представляет собой цилиндрический аппарат с мешалкой якорного типа (рис.7.1). Мешалка приводится в действие электродвигателем через редуктор, мощность привода составляет 5 кВт. Скорость вращения мешалки – 190 об/мин. Для нагрева и охлаждения реакционной массы реактор оборудован рубашкой, в которую сначала подается водяной пар, затем холодная вода соответственно.

Рабочее давление в реакторе и в рубашке атмосферное, температура не превышает 135⁰С, поэтому реактор изолирован слоем шлаковатной изоляции толщиной 100 мм. В верхней части реактора находится люк, через который осуществляется аналитический контроль процесса (В), штуцера для термопары (Б) и уровнемера (Г).

Реактор имеет несколько штуцеров: два находятся непосредственно в реакторе для ввода сырья (А) и вывода продуктов (Е) и два – в рубашке – для ввода и вывода теплоносителя (Д1-2).

Основные характеристики стандартного реактора

Диаметр корпуса, d_1 , мм.....	1800
Высота корпуса, H , мм.....	2000
Толщина стенки корпуса S_1 , мм.....	16
Толщина стенки рубашки S_p , мм.....	12
Толщина стенки днища S_2 , мм.....	16
Плотность железа, ρ_1 , кг/м ³	7800
Наружный диаметр вала, D , мм.....	159
Внутренний диаметр вала, d , мм.....	125
Мощность вала, N , Вт.....	5000
Частота вращения вала, n , об/мин.....	190
Плотность изоляции, ρ_u , кг/м ³	200
Толщина слоя изоляции S_u , мм.....	100

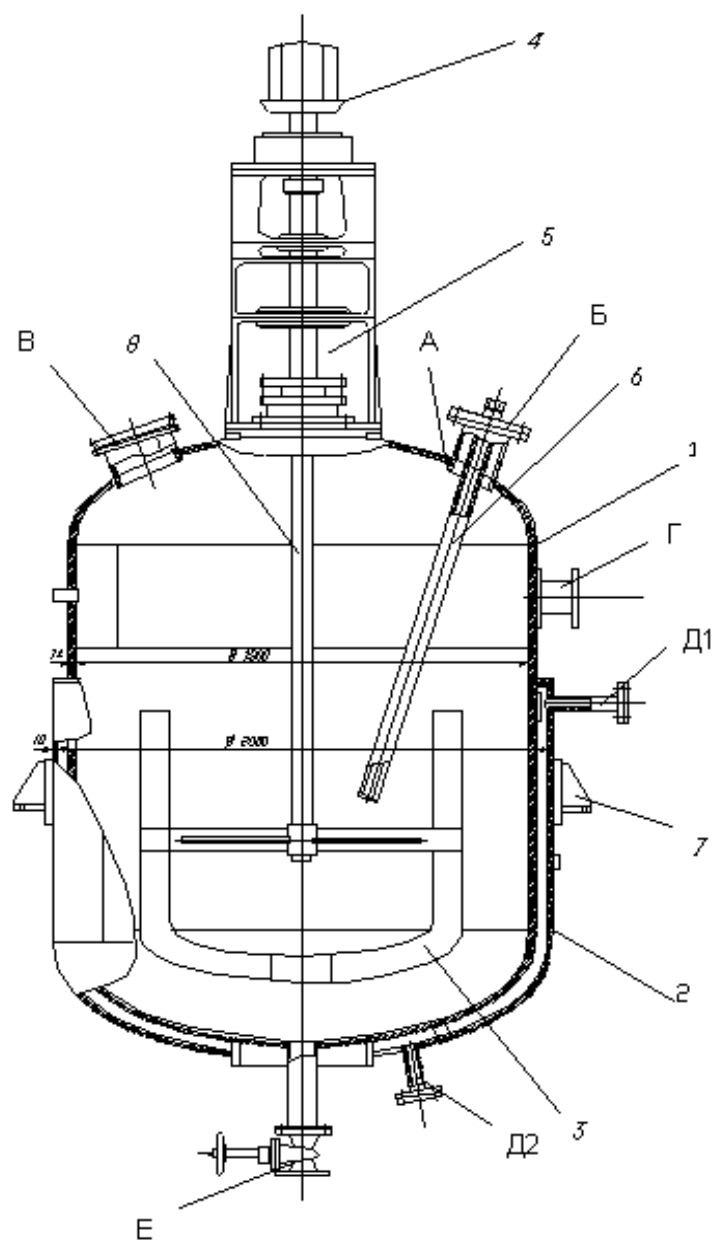


Рис. 7.1 Реактор-смеситель

1 – корпус, 2 – рубашка, 3 – мешалка, 4 – электродвигатель, 5 – редуктор, 6 – термопара, 7 – опоры, 8 – вал.

Целью расчета тепловых балансов реактора является определение расхода водяного пара, подаваемого в рубашку реактора для нагрева реакционной смеси до 120-125⁰С, определение расхода охлаждающей воды и

испаряющейся реакционной массы для поддержания заданной температуры реакции (125 – 130⁰С).

При расчете теплового баланса реактора следует учесть особенности технологического режима процесса (загрузка сырья тремя равными порциями) и **обратить особое внимание на соответствие размерностей используемых величин.**

Поскольку для веществ, используемых в синтезе, отсутствуют исчерпывающие справочные данные то необходимые физико-химические характеристики (теплота образования, теплоемкость, температура кипения, критическая температура) рассчитываются с помощью программы ChemOffice 2005, МОРАС, РМЗ.

В основе расчета лежат уравнения статической термодинамики, учитывающие разнообразные внутримолекулярные взаимодействия атомов, электронов, ядер, колебания связей, валентных углов, энергетические переходы. Для запуска программы расчета достаточно ввести структурную формулу вещества.

Расчет приведенных теплофизических характеристик (табл. 7.1- 7.2) выполнили студентка гр. ХТ-04-4 Лебедева А.В. и студент гр. ХТ-03-4 Шалик В.Л. при консультации доцента кафедры физической и коллоидной химии Любименко В. А.

Таблица 7.1 - Теплоты образования веществ при 125⁰С

Вещество	H ^{обр} (кДж/моль)
2-метил-5-этилпиридин	50,6
трибутиламин	66,85
децилбромид	-201,3
ундецилбромид	-216,5
додещилбромид	-235,2
2-метил-5-этилпиридиндецилбромид	-128,3
2-метил-5-этилпиридинундецилбромид	-168,9
2-метил-5-этилпиридиндодещилбромид	-177,8
трибутиламиндецилбромид	-106,3
трибутиламинундецилбромид	-117,5
трибутиламиндодещибромид	-125,3

7.1.1. Расчет количества водяного пара, необходимого для нагрева реакционной массы:

$$G_{\text{ВП}} \cdot C_p^{\text{ВП}} \cdot (t_{\text{ВХ}}^{\text{ВП}} - t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ВП}}) = G_{\text{рм}} \cdot C_p^{\text{рм}} \cdot (t_{\text{кон}}^{\text{рм}} - t_{\text{нач}}^{\text{рм}}) \quad , \text{ где}$$

$G_{\text{ВП}}$ - количество водяного пара;
 $t_{\text{ВХ}}^{\text{ВП}}$ - температура водяного пара на входе;
 $t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ВП}}$ - температура водяного пара на выходе;
 $C_p^{\text{ВП}}$ - теплоемкость водяного пара, $C_p^{\text{ВП}} = 1,8 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;
 $G_{\text{рм}}$ - количество реакционной массы;
 $C_p^{\text{рм}}$ - теплоемкость реакционной массы, рассчитывается с помощью программы ChemOffice 2005, МОРАС, РМЗ;
 $t_{\text{нач}}^{\text{рм}}$ - начальная температура реакционной массы;
 $t_{\text{кон}}^{\text{рм}}$ - конечная температура реакционной массы.

Общий расход водяного пара на нагрев каждой порции реакционной массы:

$$G_{\text{ВП}} = \frac{G_{\text{рм}} \cdot C_p^{\text{рм}} \cdot (t_{\text{кон}}^{\text{рм}} - t_{\text{нач}}^{\text{рм}})}{C_p^{\text{ВП}} \cdot (t_{\text{ВХ}}^{\text{ВП}} - t_{\text{ВЫХ}}^{\text{ВП}})} \quad , \text{ кг}$$

При этом следует иметь в виду, что первая порция реакционной массы (1/3 часть общей загрузки) нагревается от 20 до 125⁰С. Вторая порция имеет начальную температуру, отличающуюся от исходной температуры 20⁰С. Ее следует вычислить как температуру смешения реакционной массы с температурой 125⁰С (первая порция) и еще 1/3 общей загрузки реагентов с температурой 20⁰С.

Тепловой баланс смешения можно записать следующим образом:

$$g'_{RX} \cdot C_p^{RX} \cdot t_{нач}^{RX} + g'_{ам} \cdot C_p^{ам} \cdot t_{нач}^{ам} + g'_{рм} \cdot C_p^{рм} \cdot t_{кон}^{рм} = (g'_{RX} + g'_{ам} + g'_{рм}) C_p^{рм} \cdot t'_{рм}$$

где

g'_{RX} , $g'_{ам}$, $g'_{рм}$ – масса алкил галогенида (1/3 общей загрузки), масса амина (1/3 общей загрузки) и реакционная масса первой трети загрузки соответственно, кг;

$t_{нач}^{RX} = t_{нач}^{ам}$ – начальная температура загружаемых компонентов (алкилгалогенида и амина соответственно), °С;

$t_{кон}^{рм}$ – конечная температура реакционной массы, °С;

C_p^{RX} , $C_p^{ам}$, $C_p^{рм}$ – теплоемкость алкилгалогенида, амина и реакционной массы соответственно);

$t'_{рм}$ – температура смешения (начальная температура реакционной массы после введения второй порции загрузки).

Соответственно можно записать:

$$t'_{рм} = \frac{g'_{RX} \cdot C_p^{RX} \cdot t_{нач}^{RX} + g'_{ам} \cdot C_p^{ам} \cdot t_{нач}^{ам} + g'_{рм} \cdot C_p^{рм} \cdot t_{кон}^{рм}}{(g'_{RX} + g'_{ам} + g'_{рм}) C_p^{рм}}$$

Аналогично вычисляется температура смешения и расход водяного пара после загрузки последней трети реагентов.

7.1.2. Расчет времени нагрева реакционной массы

Для расчета времени нагрева τ водяным паром каждой порции загрузки следует воспользоваться уравнением теплового баланса с учетом теплопередачи:

$$Q = G_{рм} \cdot C_p^{рм} \cdot (t_{кон}^{рм} - t_{нач}^{рм}) = K \cdot F \cdot \Delta t_{ср.нагр.} \cdot \tau, \quad \text{где}$$

Q – количество тепла, переданное от водяного пара реакционной массе;

K – коэффициент теплопередачи, $K=30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

F – поверхность теплообмена в реакторе, м^2 ;

$\Delta t_{ср.нагр.}$ – средняя разность температур.

$t_{\text{кон}}^{\text{рм}}$ - конечная температура реакционной массы, $^{\circ}\text{C}$;
 $C_p^{\text{рм}}$ - теплоемкость реакционной массы;
 $t_{\text{нач}}^{\text{рм}} = t_{\text{рм}}'$ - температура смешения (начальная температура реакционной массы после введения новой порции загрузки).
 $G_{\text{рм}}$ - количество реакционной массы каждой порции, кг

Средняя разность температур для периодического процесса нагрева жидкости в сосуде вычисляется по соответствующим формулам [10, 11].

Время нагрева реакционной массы составит:

$$\tau = \frac{G_{\text{рм}} \cdot C_p^{\text{рм}} \cdot (t_{\text{кон}}^{\text{рм}} - t_{\text{нач}}^{\text{рм}})}{K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср.нагр.}}}, \text{ с}$$

7.1.3. Расчет количества воды, подаваемой для отвода тепла в рубашку реактора

Тепло, выделяющееся в процессе реакции, отводится за счет подачи охлаждающей воды в рубашку реактора и за счет испарения части реакционной массы, которая конденсируется в холодильнике-конденсаторе и возвращается в реактор.

Таким образом, общее уравнение теплового баланса:

$$Q_R = Q_{\text{ВОД}} + Q_{\text{ИСП}}, \text{ где}$$

Q_R - тепловой эффект реакции,

$Q_{\text{ВОД}}$ - тепло, отводимое водой в рубашке,

$Q_{\text{ИСП}}$ - тепло испарения реакционной смеси.

$$Q_R = g^{\text{соли}} \cdot H^{\text{обр.соли}} - (g^{\text{фрак}} \cdot H^{\text{обр.фрак}} + g^{\text{МЭП}} \cdot H^{\text{обр.МЭП}}), \text{ где}$$

$g^{\text{соли}}$ - количество образовавшихся продуктов, кг;

$g^{\text{фрак}}$ - количество прореагировавшей фракции (или индивидуальных) алкилгалогенидов C_{10-12} , кг;

$g^{\text{МЭП}}$ - количество прореагировавшего 2-метил-5-этилпиридина (или соответствующего алкиламина), кг.

Тепло, отводимое рубашкой, рассчитывается по уравнению поверхности теплообмена

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}}, \text{ где}$$

F – поверхность теплообмена, м²;

Δt_{cp} – средняя разность температур охлаждающего потока, °С.

$$Q_{\text{ВОД}} = F \cdot K \cdot \Delta t_{cp}$$

Поверхность теплообмена рассчитывается:

$$F = S_1 + S_2, \text{ где}$$

S_1, S_2 – площадь поверхности цилиндрической части рубашки и днища реактора соответственно

$$F = 2\pi r h + \frac{\pi \cdot d^2}{4} = , \text{ м}^2$$

r – радиус реактора, м;

d – диаметр днища, м;

h – высота реактора, м;

K – коэффициент теплопередачи, $K=70 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

$\Delta t_{cp} = (t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}) / 2$, где

$t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}}$ – температура воды на входе и выходе в реактор соответственно, °С.

7.1.4. Расчет количества испаряющейся из реактора реакционной массы

Тепло, идущее на испарение реакционной массы:

$$Q_{\text{ИСП}} = Q_P - Q_{\text{ВОД}}, \text{ кДж}$$

Удельная теплота испарения реакционной массы (H) при температуре реакции рассчитывается по уравнению Клаузиуса-Клапейрона:

$$H = \ln p \cdot R \cdot T, \text{ где}$$

p – давление насыщенных паров, кПа;

R – газовая постоянная, $R=8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$;

T – температура, °К.

Для расчета давления насыщенных паров (p) можно воспользоваться уравнением Антуана:

$$\lg p = A - \frac{B}{T} + C_1 \cdot T + C_2 \cdot T^2$$

$$A = 0,607 \cdot k \cdot \left(4 \cdot \frac{T_{кр}}{T_{кип}} - \left(\frac{T_{кип}}{T_{кр}}\right)^2\right) - 1,448 \cdot k \cdot \left(\frac{T_{кр}}{T_{кип}} - \frac{T_{кип}}{T_{кр}}\right) + 2,88$$

$$B = 0,98 \cdot k \cdot T_{кр}$$

$$C_1 = -1,448 \cdot k / T_{кр}$$

$$C_2 = 0,607 \cdot k / T_{кр}^2$$

Таблица 7.2 – Некоторые физические характеристики аминов и алкилбромидов.

Вещество	$T_{кр,К}$	$T_{кип,К}$	$T_{кип,С}$	$C_{р,уд},$ кДж/кг* $^{\circ}С$
2-метил-5-этилпиридин	668,98	453	180	1,5
трибутиламин	661,03	497	224	1,61
децилбромид	683,3	503	230	0,545
ундецилбромид	697,9	521	248	0,530
додецилбромид	711,7	538	265	0,501

Количество испаряющейся реакционной массы находят из уравнения:

$$Q_{исп} = g_{исп.фрак} \cdot H_{исп.фрак}^{400} + g_{исп.МЭП} \cdot H_{исп.МЭП}^{400}$$

Т.к. температуры кипения реагирующих веществ близки, то можно принять:

$$g_{исп.фрак} = g_{исп.МЭП}, \quad \text{где}$$

$g_{исп.фрак}$ – количество испаряющейся фракции (или индивидуальных) алкилгалогенидов, кг;

$g_{исп.МЭП}$ – количество испаряющегося 2-метил-5-этипиридина (или алкиламина), кг.

Тогда:

$$g_{исп.}^{р.м.} = \frac{Q_{исп}}{H_{исп.фрак}^{400} + H_{исп.МЭП}^{400}}, \text{ кг}$$

Количество испаряющейся реакционной массы обычно не превышает 10% загрузки реактора.

7.2. Расчет холодильника-конденсатора

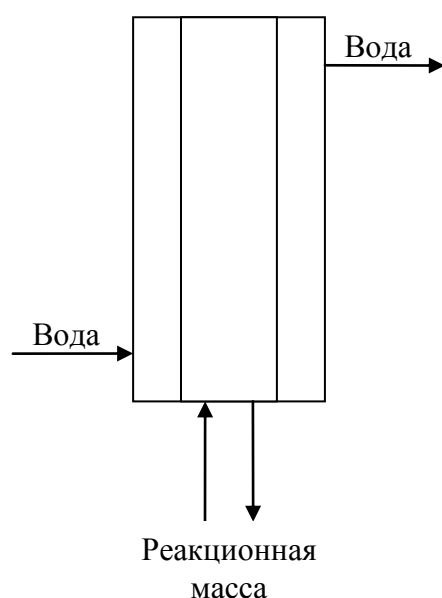


Рис. 7.2 Холодильник-конденсатор

Аппарат предназначен для конденсации паров испаряющейся реакционной массы за счет охлаждения водой. Приняв, что среднее время реакции (τ_p) равно 1-1,5 часа, можно рассчитать количество испаряющейся реакционной массы, поступающей в единицу времени в холодильник-конденсатор. Горячий поток представляет собой смесь паров 2-метил-5-этилпиридина (алкиламина) и фракции (или индивидуальных) алкилгалогенидов C_{10-12} с температурой $t_p = 125 \div 130^{\circ}\text{C}$ ($t_{\text{кон}}^{\text{р.м.}} = t_p$, п.7.1.1), а

холодный поток – вода, с температурой входа $t_{вх} = 15-20^{\circ}\text{C}$ и температурой выхода $t_{вых} = 40-50^{\circ}\text{C}$.

Тепловая нагрузка аппарата (количество тепла, выделяемое горячим потоком при его конденсации в холодильнике-конденсаторе):

$$Q_{\text{конд}} = q_{\text{конд}} * g, \text{ Вт, где}$$

$q_{\text{конд}}$ – удельная теплота конденсации (испарения) компонентов реакционной смеси, Дж/кг

g – общее количество испаряющейся реакционной смеси, кг/с

$$(g = g_{\text{исп.фрак}} + g_{\text{исп.МЭП}}, \text{ п. 7.1.4})$$

Расход воды определяется по формуле

$$G_{\text{воды}} = Q_{\text{конд}} / C_p (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \text{ кг/с}$$

Средняя температура хладагента

$$t_{\text{ср}} = (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}) / 2$$

Для данной температуры по справочным данным [6] находим соответствующие теплофизические характеристики охлаждающей воды, в частности C_p .

Рассчитав средне-логарифмическую разность температур ($\Delta t_{\text{ср}}$), следует подобрать коэффициент теплопередачи K_T [1,5] и рассчитать ориентировочно необходимую поверхность теплообмена, учтя неизбежные потери тепла ($\eta = 0,95 \div 0,98$) в окружающую среду:

$$F = \eta * Q_{\text{конд}} / K_T * \Delta t_{\text{ср}}, \text{ м}^2$$

Уточненный расчет поверхности теплообмена и подбор необходимого теплообменного аппарата следует провести в соответствии с рекомендациями [1].

Приложение 1.

Титульный лист курсового проекта (работы)

Российский государственный Университет нефти и газа
им. И.М. Губкина

Факультет химической технологии и экологии
Кафедра технологии химических веществ для нефтяной и газовой
промышленности

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)

на тему:

«-----
-----»

Выполнил:
Студент гр. ХТ-....-.....
Фамилия И.О.
Подпись _____

Проверил:
Должность, Фамилия И.О.
Оценка _____
Рейтинг _____
Подпись _____
Дата _____ -

Москва – 20... г.

Исходные данные для расчета

Наименование	Размерность	Условные обозначения	Варианты						
			I	II	III	IV	V	VI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1. Производительность установки по товарному продукту	т/год	$G_{инг}^{тов}$	8000	8500	7400	8800	9000	9500	
2. Алкилгалогенид (RX)	-	G_{RX}	$X=Cl$ $X=Br$	$C_{10}H_{21}X$	$C_{11}H_{23}X$	$C_{12}H_{25}X$	Фр. C_{10-12} ($C_{10}:C_{11}:C_{12} = 1:2:3$)	Фр. C_{10-12} ($C_{10}:C_{11}:C_{12} = 1:1:1$)	Фр. C_{10-12} ($C_{10}:C_{11}:C_{12} = 2:1:2$)
3. Триалкиламин (алкилпиридин) (AM)	-	$G_{ам}$	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	ТБА ^{**}) ТПА ^{***}) МЭП [*])	
4. Содержание активного вещества (ЧАС) в готовом продукте	% масс.	$X_{час}$	56	28	50	30	56	50	
5. Растворитель	-	$G_{р-ль}$	CH_3OH	CH_3OH : ****) нефрас =1:4	CH_3OH	CH_3OH : ****) нефрас = 1:4	CH_3OH	CH_3OH	
6. Конверсия алкилгалогенида	% масс.	K_{RX}	98	95	97	96,5	97,5	98	
7. Конверсия триалкиламида (алкилпиридина)	% масс.	$K_{ам}$	100	100	100	100	100	100	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8. Содержание воды в исходных реагентах	% масс	$Y_{H_2O}^{RX},$ $Y_{H_2O}^{AM}$	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4
9. Потери готового продукта	% масс	$Z_{пот}$	3	3	2,5	3,5	3,8	2,8
10. Расходные коэффициенты сырья	-	$B_{RX},$ B_{AM}	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
11. Давление	МПа	P	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
12. Температура реакции	°C	t_p	130-135	130	135	130	135	130

*) МЭП – 2-метил-5-этилпиридин,

**) ТБА - трибутиламин,

***) ТПА - трипропиламин

****) нефрас - нефтяной растворитель (Нефрас АР 120/200; Нефрас АР 150/330) [16]

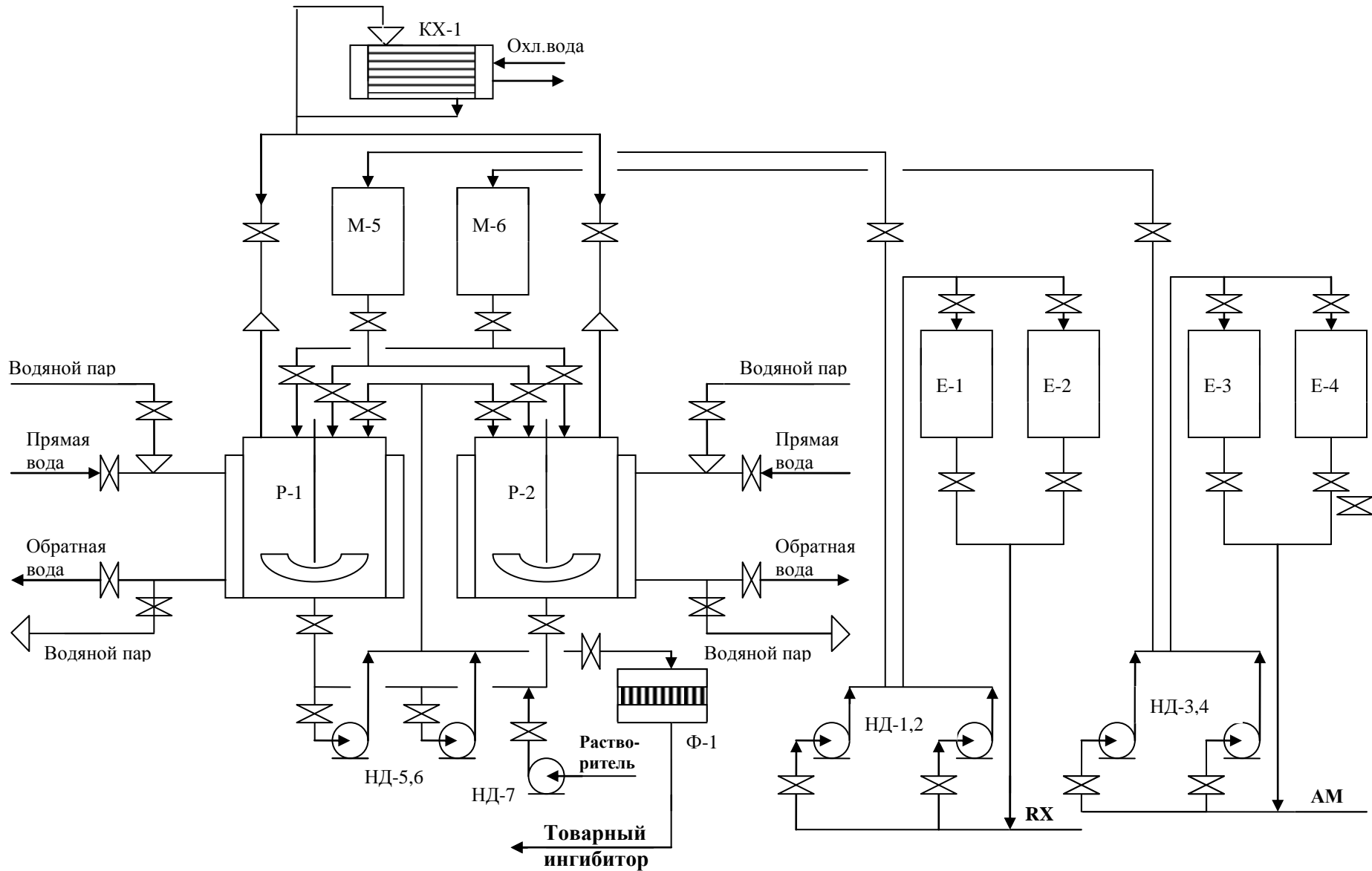
Теплоноситель в реакторе – водяной пар ($t_{вх}^{ВП} = 150 - 180^{\circ}C$; $t_{вых}^{ВП} = 130 - 150^{\circ}C$);

Хладоагент в реакторе – вода ($t_{вх}^{вод} = 15 - 20^{\circ}C$; $t_{вых}^{вод} = 18 - 22^{\circ}C$)

Продолжительность реакционного цикла – $\tau = 6 \div 8$ часов.

Количество рабочих дней в году – 320 – 350.

Объем реактора $V_p^{ед} = 4; 6,3; 8,2 \text{ м}^3$



Принципиальная технологическая схема периодического процесса синтеза ингибиторов коррозии – бактерицидов на основе четвертичных аммонийных и пиридиниевых солей

P-1,2 – реакторы; E-1,2,3,4 – приемно-расходные емкости; M-5,6 – мерные емкости; KX-1 –холодильник-конденсатор; Ф-1 – фильтр; НД-1,2,3,4,5,6,7 – дозирочные насосы.

Литература

1. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию / под ред. Ю.И. Дытнерского – М.: Химия, 1991. – 271 с.
2. Казанская А.С., Скобло В.А. Справочные таблицы по курсу «Химическая термодинамика»-М.: МИНХ и ГП им. И.М.Губкина,1971.– 67 с.
3. Белов П. С., Крылов И. Ф., Тонконогов Б. П. Методические указания по оформлению графической части курсовых и дипломных проектов – М.: МИНГ, 1987. – 64 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей - М.: ООО «Страс», 2006. – 720 с.
5. Вихман Г. Л., Круглов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов - М.: Машиностроение, 1978. – 327 с.
6. Вукалович М.П., Ривкин С.Л., Александров А.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 408 с.
7. Справочник химика /под ред. Б.П. Никольского. т.2. – М.: Химия, 1964, 1168 с.
8. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества. Синтез, свойства, анализ, применение.- С.-П.: изд-во «Профессия», 2007. – 239 с.
9. Рахманкулов Д.Л., Зенцов и др. Ингибиторы коррозии. Т3. Основы производства отечественных ингибиторов коррозии – М.: Изд-во «Интер», 2005.- 346 с.
10. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
11. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1981. – 560 с.

12. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.
13. Игнатенков В.И., Бесков В.С. Примеры и задачи по общей химической технологии: Учебное пособие. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 198 с.
14. Проектирование и расчет аппаратов основного органического и нефтехимического синтеза / Под ред. Н.Н.Лебедева: Учебное пособие. – М.: Химия, 1995. – 256 с.
15. Решетников С.М. Ингибиторы кислотной коррозии металлов. – Л.: Химия, 1986. – 144 с.
16. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник / И.Г.Анисимов, К.М.Бадыштова, С.А.Бнатов и др.; Под ред. В.М.Школьников. – М.: Изд. центр «Техинформ», 1999. – 596 с.