

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

Кафедра «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для выполнения практических занятий
по дисциплине: «Технология соды»
для студентов IV курса специальности 5522400
«Химическая технология»

ФЕРГАНА 2010

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

Кафедра «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
для выполнения практических занятий
по дисциплине: «Технология соды»
для студентов IV курса специальности 5522400
«Химическая технология»

Утверждено методическим
советом института
« ____ » _____ 2010 года
протокол собрания
за номером _____ .

ФЕРГАНА 2010

Данное методическое пособие составлено для студентов IV курса специальности 5522400 «Химическая технология».

Методическое пособие предназначено для выполнения практических работ по дисциплине «Технология соды».

Для выполнения практических работ выделено 18 аудиторных часов и 36 часов для самостоятельной работы. В данном методическом пособии представлено 9 практических работ.

Методическое пособие рассмотрено и одобрено на методическом совете кафедры «Химическая технология».

(Протокол собрания совета № _____ за « ____ » _____ 2010 г.)

Методическое пособие рассмотрено на методическом совете факультета «Химическая технология» и рекомендовано на печать.

(Протокол собрания совета № _____ за « ____ » _____ 2010 г.)

Составители:

к.т.н., доц. Кодирова Д.Т.,
асс. Сутягин Р.А.,
асс. Ортикова С.С.

Рецензент:

к.т.н., доцент Усманов Б.С.

1 Тема: Расчёт концентрации CO_2 . Выражение концентрации при производстве соды.

Общие положения.

Концентрацию раствора на содовых производствах выражают в нормальных делениях (н.д.). Одно нормальное деление отвечает концентрации $1/20$ г-эquiv вещества в 1 дм^3 . Если на титрование 20 см^3 какой либо жидкости пошло 20 см^3 нормального раствора, то это означает, что испытуемая жидкость имеет концентрацию, равную 1 Н, т.е. 1 дм^3 этой жидкости содержит 1 г-эquiv вещества.

При расходе 40 см^3 нормального раствора на титрование 20 см^3 анализируемой жидкости, концентрация последней равна 2 Н, т.е. 1 дм^3 этой жидкости содержит 2 г-эquiv вещества.

Для пересчёта нормальных делений (н.д.) в величины г/дм^3 , нужно число н.д. умножить на г-эquiv данного вещества и полученное произведение разделить на 20.

Например:

20,5 н.д. NH_3 в растворе отвечает:

$$\frac{20,5 \times 17}{20} = 17,4 \text{ г/дм}^3 \text{ NH}_3.$$

Раствор концентрацией 40 н.д. Na_2CO_3 отвечает:

$$\frac{40 \times 53}{20} = 106 \text{ г/дм}^3 \text{ Na}_2\text{CO}_3.$$

Для пересчёта величины г/дм^3 в нормальные деления (н.д.), нужно число граммов данного вещества умножить на 20 и полученное произведение разделить на значение г-эquiv соответствующего вещества.

Например:

Концентрация раствора, содержащего $312 \text{ г/дм}^3 \text{ NaCl}$ отвечает

$$\frac{312 \times 20}{58,5} = 106,7 \text{ н.д.}$$

Необходимо учитывать, что концентрации соединения и его отдельных ионов, выраженные в нормальных делениях, имеют одно и тоже численное значение, а выраженные в величинах г/дм^3 – разные.

Таким образом, обозначив значение концентрации, выраженное в нормальных долях за X, значение концентрации, выраженные в

величинах г/дм³ за А, а обозначение г-экв вещества за М, получим две рабочие формулы для перевода значений концентрации:

$$\dot{A} = \frac{(\tilde{O} \times \dot{I})}{20}; \quad (1)$$

$$\tilde{O} = \frac{\dot{A} \times 20}{\dot{I}}; \quad (2)$$

Для облегчения пересчётов можно пользоваться для отдельных веществ соответствующим коэффициентом, который представляет собой частное от деления г-экв вещества на 20.

Умножив число н.д. на значение коэффициента, получают число г/дм³ и, наоборот, разделив число г/дм³ на соответствующее значение коэффициента, получают число н.д.

Значения коэффициентов г-экв/20 для веществ, используемых в производстве соды по аммиачному методу, даны в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Значения коэффициентов пересчёта концентрации.

Вещество	Значение коэффициентов		Вещество	Значение коэффициентов	
	г-экв	г-экв/20		г-экв	г-экв/20
NH ₃	17,032	0,8516	CaCl ₂	55,497	2,775
NaCl	58,454	2,923	NH ₄ OH	35,048	1,752
Na ₂ SO ₄	71,03	3,551	CaCO ₃	50,045	2,502
NH ₄ Cl	53,497	2,675	CO ₂	22,005	1,1
Ca(OH) ₂	37,048	1,852	(NH ₄) ₂ SO ₄	66,073	3,304
NaHCO ₃	84,015	4,201	(NH ₄) ₂ CO ₃	48,045	2,402
MgCl ₂	47,617	2,381	NH ₄ HCO ₃	79,058	3,953
NaOH	40,005	2	MgCO ₃	42,165	2,108

Практические задания.

Задание 1.

Концентрация CaO в известковом молоке равна 189 н.д..
 Определить в величинах г/дм³:

- 1) содержание CaO в молоке;
- 2) содержание Ca(OH)₂ в молоке;
- 3) концентрацию ионов Ca⁺²;
- 4) концентрацию ионов OH⁻;

Решение:

1) Определяем содержание CaO в известковом молоке:

$$CaO = \frac{189 \times (56/2)}{20} = 264,6 \text{ г/дм}^3;$$

2) Содержанию Ca(OH)₂ в известковом молоке соответствует:

$$Ca(OH)_2 = \frac{189 \times (74/2)}{20} = 349,7 \text{ г/дм}^3;$$

3) Концентрацию ионов Ca⁺² определяем следующим образом:

$$Ca^{+2} = \frac{189 \times (40/2)}{20} = 189 \text{ г/дм}^3;$$

4) Аналогично определяем концентрацию ионов OH⁻:

$$OH^- = \frac{189 \times 17}{20} = 160,7 \text{ г/дм}^3.$$

Задание 2.

Вычислить концентрацию CO₂ в печном газе, образующемся при обжиге известняка.

Расход углерода соответствует теоретическому, а диссоциация карбоната кальция происходит согласно реакции:



При диссоциации CaCO₃ образуется газ, на 100% состоящий из CO₂, а при сгорании углерода в теоретическом количестве воздуха образуется газ, содержащий 21% (об.) CO₂.

Решение:

При обжиге 1 кмоль CaCO₃, то есть 100 кг CaCO₃, получается 22,4 м³ CO₂. При этом израсходуется 178000 кДж тепла. Для получения такого же количества тепла необходимо сжечь углерода (при его теплотворной способности 33940 кДж/кг):

$$\frac{178000}{33940} = 5,25 \text{ кг}$$

При сжигании этого количества углерода образуется:

$$\frac{5,25 \times 22,4}{12} = 9,8 \text{ м}^3 \text{ CO}_2.$$

Соответственно, используется для горения, так же $9,8 \text{ м}^3 \text{ O}_2$. Этому количеству кислорода в воздухе соответствует объём азота, равный

$$\frac{9,8 \times 79}{21} = 36,9 \text{ м}^3$$

Общее количество газов, отсюда:

$$22,4 + 9,8 + 36,9 = 69,1 \text{ м}^3.$$

Концентрация CO_2 в газе:

$$\frac{(22,4 + 9,8)}{69,1} = 46,6 \text{ \%}.$$

Задание для самостоятельной разработки:

1. Концентрация CaO в известковом молоке равна 204 н.д.. Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах г/дм^3 .
2. Концентрация Ca(OH)_2 в известковом молоке равна 350 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
3. Концентрация CaO в известковом молоке равна 192 н.д.. Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах г/дм^3 .
4. Концентрация Ca(OH)_2 в известковом молоке равна 400 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
5. Концентрация ионов Ca^{+2} в известковом молоке равна 200 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
6. Концентрация ионов OH в известковом молоке равна 150 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
7. Концентрация ионов Ca^{+2} в известковом молоке равна 195 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
8. Концентрация ионов OH в известковом молоке равна 173 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.
9. Концентрация CaO в известковом молоке равна 214 н.д.. Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах г/дм^3 .
10. Концентрация Ca(OH)_2 в известковом молоке равна 368 г/дм^3 . Определить содержание CaO , Ca(OH)_2 , Ca^{+2} , OH , в молоке в величинах н.д.

2 Тема: Очистка рассола.

Общие положения.

Искусственные и естественные рассолы, применяемые для производства соды, содержат примеси (Ca^{+2} , Mg^{+2} , SO_4^{-2} и др.). Эти примеси в процессе аммонизации образуют осадки, выделяющиеся на стенках аппаратов и снижающие их производительность. Поэтому рассол предварительно очищают от ионов кальция и магния. Наиболее распространённым способом очистки рассола является содово-известковый. По этому способу к рассолу добавляют раствор соды и известковое молоко. Очередность подачи реагентов определяется содержанием магния в рассоле.

Например:

К рассолу, содержащему большие количества магния (например, 2,3 н.д. Mg^{+2} и 1,5 н.д. Ca^{+2}), вначале приливают известковое молоко, а затем соду.

Очистку рассола, содержащего, к примеру, 0,1 н.д. Mg^{+2} и 1,2 ÷ 1,7 н.д. Ca^{+2} , производят предварительно смешанными реактивами.

В процессе очистки магний осаждается из рассола в виде гидроокиси, а кальций – в виде карбоната. Полученная суспензия отстаивается. Из отстойника рассол поступает в резервуар очищенного рассола, а затем в отделение абсорбции.

Очищенный рассол имеет состав:

Ca^{+2} – не более 0,02 н.д.;

Mg^{+2} – не более 0,07 н.д.;

Na_2CO_3 – 0,25 ÷ 0,3 н.д.;

NaOH – 0,02 ÷ 0,08 н.д.;

Cl^- – 104 ÷ 106 н.д..

Практические задания.

Задание 1.

Определить расход соды и гидроокиси кальция для очистки 1 м³ рассола, содержащего 6,71 кг CaSO_4 , 0,63 кг MgCl_2 , 0,33 кг CaCl_2 .

Решение:

При известково-содовой очистке рассола протекают следующие реакции:





Расход Ca(OH)_2 , необходимый для осаждения гидроокиси магния (по первой реакции):

$$\frac{0,63 \times 74}{95,2} = 0,49 \text{ кг,}$$

здесь 74 и 95,2 – молекулярные массы соответственно и MgCl_2 .

При 10%-ном избытке расход Ca(OH)_2 : $0,49 \times 1,1 = 0,54$ кг.

Расход соды:

- для перевода в CaCO_3 хлорида кальция, полученного по первой реакции (считая по содержанию в рассоле хлорида магния):

$$\frac{0,63 \times 106}{95,2} = 0,7 \text{ кг,}$$

здесь 106 – молекулярная масса Na_2CO_3 ;

- для перевода в CaCO_3 хлорида кальция, содержащегося в исходном рассоле:

$$\frac{0,33 \times 106}{111} = 0,32 \text{ кг,}$$

здесь 111 – молекулярная масса CaCl_2 ;

- для перевода в CaCO_3 содержащегося в рассоле сульфата кальция:

$$\frac{6,71 \times 106}{136} = 5,23 \text{ кг,}$$

здесь 136 – молекулярная масса CaSO_4 ;

- для связывания избыточного Ca(OH)_2 , введённого для осаждения гидроокиси магния:

$$\frac{(0,54 - 0,49) \times 106}{74} = 0,07 \text{ кг.}$$

Общий расход соды: $0,7 + 0,32 + 5,23 + 0,07 = 6,32$ кг.

В пересчёте на стандартную 95%-ную соду расход её для очистки 1 м^3 рассола составит:

$$\frac{6,32 \times 100}{95} = 6,65 \text{ кг.}$$

Задание 2.

Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 18 м. Отстаивание происходит при $15 \div 17$ °С.

Решение:

Скорость осаждения шлама в зависимости от температуры представлена на рис. 2.1.

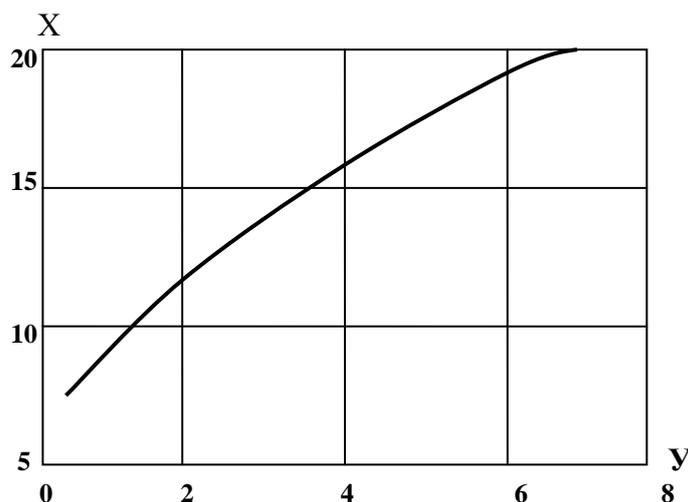


Рис. 2.1. Скорость осаждения шлама в зависимости от температуры.

Ось X – Температура, °С;
Ось Y - Скорость осаждения ($w \cdot 10^{-4}$), м/с.

Производительность отстойника ($\text{м}^3/\text{с}$) можно рассчитать по формуле:

$$V_0 = F \frac{wx_2}{x_2 - x_1},$$

где V_0 - производительность отстойника по очищенному рассолу (приблизительно равная производительности по сырому рассолу), $\text{м}^3/\text{с}$;

F - площадь отстойника, м^2 ;

x_1 и x_2 – концентрация твёрдых веществ в неочищенном рассоле и сгущенной суспензии;

w – скорость осаждения твёрдой фазы, м/с.

Значением x_1 можно пренебречь по причине его малости по сравнению с x_2 . в этом случае формула примет вид:

$$V_0 = Fw$$

Учитывая неравномерность распределения потоков жидкости по всей площади аппарата путём практического коэффициента 1,33, получаем формулу:

$$V = \frac{F_w}{1,33},$$

где V – производительность отстойника по очищенному рассолу (приблизительно равная производительности по сырому рассолу), м³/с.

Выражая площадь отстойника через его диаметр D , получим расчётную формулу:

$$V = \frac{0,785D^2w}{1,33} = 0,59D^2w.$$

Из диаграммы на рис.2.1 находим, что скорость осаждения шлама при 15 ÷ 17 °С равна $(3,5 \div 4,7) \cdot 10^{-4}$ м/с. Принимая скорость осаждения шлама в отстойнике равной $3,5 \cdot 10^{-4}$ м/с (по нижнему пределу), рассчитываем его производительность:

$$V = 0,59 \times 18^2 \times 3,5 \times 10^{-4} = 0,0669 \text{ м}^3/\text{с}$$

или

$$V = 0,0669 \times 3600 = 241 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Задание для самостоятельной разработки:

1. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 15 м. Отстаивание происходит при 10 °С.
2. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 12 м. Отстаивание происходит при 14 °С.
3. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 10 м. Отстаивание происходит при 19 °С.
4. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 16 м. Отстаивание происходит при 17 °С.
5. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 11 м. Отстаивание происходит при 12 °С.
6. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 13 м. Отстаивание происходит при 11 °С.
7. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 14 м. Отстаивание происходит при 13 °С.
8. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 17 м. Отстаивание происходит при 16 °С.
9. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 19 м. Отстаивание происходит при 7 °С.
10. Определить производительность отстойника для очистки рассола диаметром 20 м. Отстаивание происходит при 5 °С.

Таблица 2.1

Варианты 1-го типового расчёта (по аналогу 2-ой темы, задания 1).			
Определить расход соды и гидрокиси кальция для очистки 1 м³ рассола, содержащего (в кг):			
Варианты	CaSO₄	MgCl₂	CaCl₂
I	6,72	0,62	0,34
II	6,8	0,7	0,3
III	6,73	0,64	0,35
IV	6,75	0,61	0,32
V	6,69	0,65	0,31
VI	6,78	0,71	0,41
VII	6,79	0,68	0,39
VIII	6,77	0,69	0,37
IX	6,76	0,67	0,36
X	6,74	0,66	0,38
XI	6,68	0,72	0,42
XII	6,7	0,6	0,4

3 Тема: Аммонизация рассола. Расчёт абсорбера первой ступени.

Общие положения.

На станции абсорбции предварительно очищенный рассол насыщают аммиаком (и частично окисью углерода), поступающим со станции дистилляции, а также выделяющимся при карбонизации аммонизированного рассола и при фильтрации бикарбоната.

Выделяющуюся при аммонизации теплоту отводят водой в холодильниках.

Принципиальная схема отделения абсорбции рассола представлена на рис. 3.1.

Абсорбция аммиака проходит в барботажных аппаратах – абсорберах (АБ-1 и АБ-2), в промывателях воздуха фильтров (ПВФЛ) и в промывателях газов колонн (ПГКЛ). Очищенный рассол из напорного бака распределяется на два потока.

Большая часть рассола (приблизительно 80%) поступает через промыватель воздуха фильтров (ПВФЛ) и второй промыватель газа колонн (ПГКЛ-2) в первый абсорбер (АБ-1). Оставшийся рассол (приблизительно 20%) поступает в промыватель газов абсорбции (ПГАБ), а затем в первый абсорбер.

Из первого абсорбера (АБ-1) рассол поступает в оросительный холодильник и далее во второй абсорбер (АБ-2). Вытекающий из второго абсорбера аммонизированный рассол охлаждается в оросительном холодильнике до 30 °С и поступает в сборник аммонизированного рассола (САР).

Аммиаком рассол насыщается главным образом в первом и втором абсорберах, куда поступает газ из конденсатора газа дистилляции (КДС). Газ предварительно охлаждается в холодильнике газов дистилляции (ХГДС) и поступает в нижнюю часть второго абсорбера. Из второго абсорбера газ поступает в первый абсорбер, промыватель газов абсорбции (ПГАБ), и откачивается вакуум-насосом в промыватель газа содовых печей (ПГСП). В промывателях воздуха фильтров (ПВФЛ) и газа колонн (ПГКЛ-2) газ, поступающий из отделения фильтрации и из первого промывателя газа карбонизационных колонн (ПГКЛ-1), очищается окончательно. После этих аппаратов газ выбрасывается в атмосферу.

В газах, поступающих в отделение аммонизации, наряду с аммиаком содержится некоторое количество CO_2 . Поэтому здесь происходит также частичная карбонизация рассола. Рассол, поступающий из сборника аммонизированного рассола (САР) в отделение карбонизации, обычно содержит: 100 ÷ 106 н.д. NH_3 , 30 ÷ 35 н.д. CO_3^{-2} и 88 ÷ 90 н.д. Cl^- .

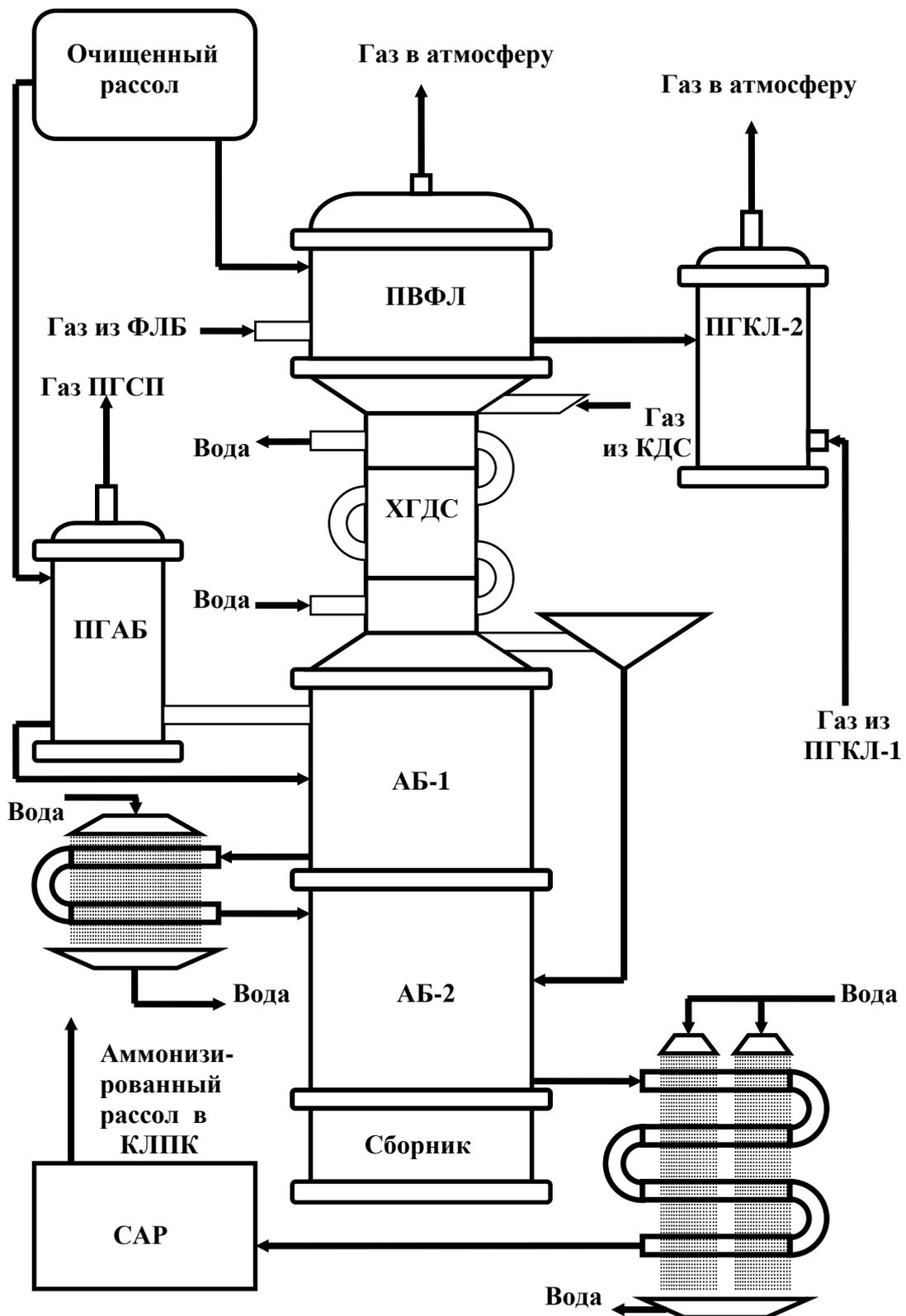


Рис. 3.1. Принципиальная схема отделения абсорбции.

АБ-1 и АБ-2 – абсорберы; ПГАБ – промыватель газов абсорбции; ПГКЛ – промыватель газа колонн; ПВФЛ – промыватель воздуха фильтров; ХГДС – холодильник газов дистилляции; САР – сборник аммонизированного рассола; КГДС – конденсатор дистилляции; ПГСП – промыватель газа содовых печей.

Практические задания.

Задание 1.

Составить материальный баланс абсорбера 1-ой ступени.

Исходные данные:

1. Состав поступающей жидкости: Cl^- - 102,5 н.д.; NH_3 - 19,2 н.д.; CO_2 - 7,9 н.д.; плотность рассола 1197 кг/м³.
2. Количество жидкости, орошающее АБ-1: 5,19 м³ на 1000 кг соды. В этом количестве жидкости содержится 36,2 кг Na_2SO_4 и 4,7 кг примесей.
3. Состав выходящей жидкости: Cl^- - 95,4 н.д.; NH_3 - 61,2 н.д.; CO_2 - 21,7 н.д.; плотность рассола 1179 кг/м³.
4. Количество и состав газовой смеси, поступающей из АБ-2 в АБ-1: NH_3 - 206,9 кг на 1000 кг соды; CO_2 - 122,3 кг на 1000 кг соды; H_2O - 41,98 кг на 1000 кг соды; воздуха - 10 кг на 1000 кг соды.
5. Расчёт ведём на 1000 кг соды.

Решение:

Пользуясь данными таблицы 1.1. на стр. 6, рассчитываем солевой состав жидкости, входящей в АБ-1:

а) NaCl :

$$102,5 \times 2,923 = 300 \text{ кг/м}^3 \text{ или} \\ 300 \times 5,19 = 1557 \text{ кг.}$$

б) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$:

$$7,9 \times 2,402 = 18,97 \text{ кг/м}^3 \text{ или} \\ 18,97 \times 5,19 = 98,4 \text{ кг.}$$

в) NH_4OH :

$$(19,2 - 7,9) \times 1,752 = 19,8 \text{ кг/м}^3 \text{ или} \\ 19,8 \times 5,19 = 102,8 \text{ кг.}$$

г) Na_2SO_4 : 36,2 кг.

д) примеси: 4,7 кг.

Всего: 1799,1 кг.

[Здесь 2,923; 2,402; 1,752 – коэффициенты перевода концентрации NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, NH_4OH из н.д. в кг/м³ (таблица 1.1. на стр. 6)].

Количество воды в поступающей жидкости:

$$5,19 \times 1197 - 1799,1 = 4413,32 \text{ кг;}$$

где 1197 кг/м³ – плотность рассола по условию.

Объём жидкости, выходящей из АБ-1:

$$V_{\text{АБ-1}} = \frac{[Cl_{\text{до}}^-]}{[Cl_{\text{АБ-1}}^-]} = 5,19 \frac{102,5}{95,4} = 5,58 \text{ м}^3.$$

Количество $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, выходящего с жидкостью из АБ-1:

$$27,1 \times 2,402 \times 5,58 = 363,7 \text{ кг};$$

[Здесь 2,402 – коэффициент перевода концентрации $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, из н.д. в $\text{кг}/\text{м}^3$ (таблица 1.1. на стр. 6)].

Образовалось $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ в АБ-1:

$$363,7 - 98,4 = 265,3 \text{ кг}.$$

Количество NH_4OH , выходящего с жидкостью из АБ-1:

$$(61,2 - 27,1) \times 1,752 \times 5,58 = 333,7 \text{ кг};$$

[Здесь 1,752 – коэффициент перевода концентрации NH_4OH , из н.д. в $\text{кг}/\text{м}^3$ (таблица 1.1. на стр. 6)].

Образовалось NH_4OH в АБ-1:

$$333,7 - 102,8 = 230,9 \text{ кг}.$$

Для образования 265,3 кг $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ необходимо:

а) NH_3 :

$$265,3 \frac{34}{96} = 94,1 \text{ кг};$$

б) CO_2 :

$$265,3 \frac{44}{96} = 121,5 \text{ кг};$$

в) H_2O :

$$265,3 \frac{18}{96} = 49,7 \text{ кг}.$$

Всего 265,3 кг.

[Здесь 96 – молекулярная масса $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$; 34, 44, 18 – количества NH_3 , CO_2 , H_2O (в кг), пошедших на образование 1 кмоль $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$].

Для образования 230,9 кг NH_4OH необходимо:

а) NH_3 :

$$230,9 \frac{17}{35} = 111,9 \text{ кг};$$

б) H_2O :

$$230,9 \frac{18}{35} = 119 \text{ кг};$$

Всего 230,9 кг.

[Здесь 17, 18, 35 - молекулярная масса NH_3 , H_2O , NH_4OH].

Всего на образование $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NH_4OH израсходовано:

а) NH_3 :

$$94,1 + 111,9 = 206 \text{ кг.}$$

б) CO_2 : 121,5 кг;

в) H_2O :

$$49,7 + 119 = 168,7 \text{ кг.}$$

Состав жидкости, выходящей из АБ-1:

а) NaCl : 1557 кг;

б) Na_2SO_4 : 36,2 кг;

в) примеси: 4,7 кг;

г) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$: 363,7 кг;

д) NH_4OH : 333,7 кг.

Всего 2295,3 кг.

Количество воды в жидкости, выходящей из АБ-1:

$$1179 \times 5,58 - 2295,3 = 4286,39 \text{ кг.}$$

Определим количество воды, уходящее с газом. В АБ-1 вода приходит с исходным раствором (4413,32 кг) и газом из АБ-2 (41,98 кг). Часть воды (4286,39 кг) подаётся вместе с раствором в АБ-2 и часть расходуется на образование $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NH_4OH (168,7 кг). Остальная вода уносится с газом, выходящим из АБ-1. Её количество равно:

$$(4413,32 + 41,98) - (4286,39 + 168,7) = 0,21 \text{ кг.}$$

В таблице 3.1 представлен материальный баланс газовой смеси в АБ-1 (в кг на 1000 кг соды).

Таблица 3.1.
Материальный баланс газовой смеси в АБ-1 (в кг на 1000 кг соды)

Компоненты	Приход	Расход на реакции	Уходит с газом
NH_3	206,9	206,0	0,9
CO_2	122,3	121,5	0,8
H_2O	41,98	168,7	0,21
Воздух	10	-	10

В таблице 3.2 приведён сводный материальный баланс абсорбера АБ-1.

Таблица 3.2.
Материальный баланс абсорбера первой ступени АБ-1 (в кг на 1000 кг соды)

Приход	кг	Расход	кг
<u>Жидкость из ПГКЛ-2 и ПГАБ</u>		<u>Жидкость в АБ-2</u>	
NaCl	1557	NaCl	1557
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	98,4	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	363,7
NH_4OH	102,8	NH_4OH	333,7
Na_2SO_4	36,2	Na_2SO_4	36,2
H_2O	4413,32	H_2O	4286,39
Примеси	4,7	Примеси	4,7
Всего	6212,42	Всего	6581,69
<u>Газ из АБ-2</u>		<u>Газ в ПГАБ</u>	
CO_2	122,3	CO_2	0,8
NH_3	206,9	NH_3	0,9
Воздух	10	Воздух	10
H_2O	41,98	H_2O	0,21
Всего	381,18	Всего	11,91
Итого	6593,6	Итого	6593,6

Задание для самостоятельной разработки:

1. Рассчитать солевой состав жидкости, входящей в АБ-1, если состав поступающей жидкости: Cl - 102 н.д.; NH_3 - 19 н.д.; CO_2 - 7 н.д.
2. Рассчитать солевой состав жидкости, выходящей в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 102 н.д.; NH_3 - 19 н.д.; CO_2 - 7 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 95,4 н.д.; NH_3 - 61,2 н.д.; CO_2 - 21,7 н.д.
3. Составить материальный баланс газовой смеси в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 102 н.д.; NH_3 - 19 н.д.; CO_2 - 7 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 95 н.д.; NH_3 - 61 н.д.; CO_2 - 21 н.д.
4. Рассчитать солевой состав жидкости, входящей в АБ-1, если состав поступающей жидкости: Cl - 100 н.д.; NH_3 - 21 н.д.; CO_2 - 7 н.д.
5. Рассчитать солевой состав жидкости, выходящей в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 100 н.д.; NH_3 - 21 н.д.; CO_2 - 7 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 95 н.д.; NH_3 - 61 н.д.; CO_2 - 21 н.д.
6. Составить материальный баланс газовой смеси в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 100 н.д.; NH_3 - 18 н.д.; CO_2 - 7 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 97 н.д.; NH_3 - 63 н.д.; CO_2 - 20 н.д.
7. Рассчитать солевой состав жидкости, входящей в АБ-1, если состав поступающей жидкости: Cl - 108 н.д.; NH_3 - 29 н.д.; CO_2 - 16 н.д.
8. Рассчитать солевой состав жидкости, выходящей в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 110 н.д.; NH_3 - 14 н.д.; CO_2 - 3 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 99 н.д.; NH_3 - 61,5 н.д.; CO_2 - 21,2 н.д.
9. Составить материальный баланс газовой смеси в АБ-1, если:
 - состав поступающей жидкости: Cl - 111 н.д.; NH_3 - 21 н.д.; CO_2 - 11 н.д.;
 - состав выходящей жидкости: Cl - 91 н.д.; NH_3 - 61 н.д.; CO_2 - 21 н.д.
10. Рассчитать солевой состав жидкости, входящей в АБ-1, если состав поступающей жидкости: Cl - 104 н.д.; NH_3 - 15 н.д.; CO_2 - 7 н.д.

Таблица 3.3

Варианты 1-ой самостоятельной работы (по аналогу 3-ей темы, задание 1)						
Составить материальный баланс абсорбера 1-ой ступени. Исходные данные:						
Варианты	Состав поступающей жидкости (в н.д.)			Состав исходящей жидкости (в н.д.)		
	СГ	NH₃	CO₂	СГ	NH₃	CO₂
I	102	19	7	94,9	61	26,2
II	102,7	19,3	7,4	95,6	61,3	26,6
III	102,6	19,4	7,5	95,5	61,4	26,7
IV	102,2	19,1	7,1	95,1	61,1	26,3
V	102,1	19,5	7,2	95	61,5	26,4
VI	102,3	19,6	7,3	95,2	61,6	26,5
VII	102,4	19,7	7,6	95,3	61,7	26,8
VIII	102,8	19,8	7,7	95,7	61,8	26,9
IX	102,9	19,9	7,8	95,8	61,9	27
X	103	20	8	95,9	62	27,2
XI	103,1	20,1	8,1	96	62,1	27,3
XII	101,9	18,9	6,9	94,9	60,9	26
Остальные данные принять, руководствуясь показательным материальным балансом.						

**4 Тема: Аммонизация рассола.
Расчёт абсорбера второй ступени.**

Практические задания.

Задание 1.

Составить материальный баланс абсорбера 2-ой ступени (АБ-2), исходя из условий материальный баланс абсорбера 1-ой ступени (АБ-1).

Исходные данные:

- 1. Состав жидкости, вытекающей из АБ-2: Cl^- - 88 н.д.; NH_3 – 98,3 н.д.; CO_2 – 39,8 н.д.; плотность рассола 1168 кг/м³.*
- 2. Состав газа, поступающего в АБ-2: NH_3 – 422,1 кг на 1000 кг соды; CO_2 – 220,8 кг на 1000 кг соды; H_2O – 212,98 кг на 1000 кг соды; воздуха – 10 кг на 1000 кг соды.*
- 3. Расчёт ведём на 1000 кг соды.*

Решение:

Состав жидкости, поступающей в АБ-2, был рассчитан в материальном балансе абсорбера 1-ой ступени (АБ-1).

Объём жидкости, выходящей из АБ-1:

$$V_{AA-2} = V_{AA-1} \frac{[Cl_{AA-1}^-]}{[Cl_{AA-2}^-]} = 5,58 \frac{95,4}{88} = 6,05 \text{ м}^3.$$

Количество $(NH_4)_2CO_3$, выходящего с жидкостью из АБ-2:

$$39,8 \times 2,402 \times 6,05 = 578,4 \text{ кг};$$

[Здесь 2,402 – коэффициент перевода концентрации $(NH_4)_2CO_3$, из н.д. в кг/м³ (таблица 1.1. на стр. 6)].

Образовалось $(NH_4)_2CO_3$ в АБ-2:

$$578,4 - 363,7 = 214,7 \text{ кг};$$

где 363,7 кг - количество $(NH_4)_2CO_3$, выходящего с жидкостью из АБ-1, (см. материальный баланс абсорбера 1-ой ступени на стр. 19).

Количество NH_4OH , выходящее с жидкостью из АБ-2:

$$(98,3 - 39,8) \times 1,752 \times 6,05 = 620 \text{ кг};$$

[Здесь 1,752 – коэффициент перевода концентрации NH_4OH , из н.д. в кг/м^3 (таблица 1.1. на стр. 6)].

Образовалось NH_4OH в АБ-2:

$$620 - 333,7 = 286,3 \text{ кг.}$$

где 333,7 кг - количество NH_4OH , выходящего с жидкостью из АБ-1, (см. материальный баланс абсорбера 1-ой ступени на стр. 19).

Для образования 214,7 кг $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ необходимо:

а) NH_3 :

$$214,7 \frac{34}{96} = 76,1 \text{ кг;}$$

б) CO_2 :

$$214,7 \frac{44}{96} = 98,5 \text{ кг;}$$

в) H_2O :

$$214,7 \frac{18}{96} = 40,1 \text{ кг.}$$

Всего 214,7 кг.

[Здесь 96 – молекулярная масса $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$; 34, 44, 18 – количества NH_3 , CO_2 , H_2O (в кг), пошедших на образование 1 кмоль $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$].

Для образования 286,3 кг NH_4OH необходимо:

а) NH_3 :

$$286,3 \frac{17}{35} = 131,9 \text{ кг;}$$

б) H_2O :

$$286,3 \frac{18}{35} = 147,2 \text{ кг;}$$

Всего 286,3 кг.

[Здесь 17, 18, 35 - молекулярная масса NH_3 , H_2O , NH_4OH].

Всего на образование $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NH_4OH израсходовано:

а) NH_3 :

$$76,1 + 139,1 = 215,2 \text{ кг.}$$

б) CO₂: 98,5 кг;

в) H₂O:

$$40,1 + 147,2 = 187,3 \text{ кг.}$$

Состав жидкости, выходящей из АБ-1:

а) NaCl: 1557 кг;

б) Na₂SO₄: 36,2 кг;

в) примеси: 4,7 кг;

г) (NH₄)₂CO₃: 578,4 кг;

д) NH₄OH: 620 кг.

Всего 2796,3 кг.

Количество воды;

а) в жидкости, выходящей из АБ-2:

$$1168 \times 6,05 - 2796,3 = 4270,1 \text{ кг;}$$

б) уходящей с газом в АБ-1:

$$4286,39 + 212,98 - 4270,1 - 187,3 = 41,97 \text{ кг.}$$

В таблице 4.1 представлен материальный баланс газовой смеси в АБ-2 (в кг на 1000 кг соды).

Таблица 4.1

Материальный баланс газовой смеси в АБ-2 (в кг на 1000 кг соды)

Компоненты	Приход	Расход на реакции	Уходит с газом
NH ₃	422,1	215,2	206,9
CO ₂	220,8	98,5	122,3
H ₂ O	212,98	187,3	41,97
Воздух	10	-	10

В таблице 4.2 приведён сводный материальный баланс абсорбера АБ-2.

Таблица 4.2.

Материальный баланс абсорбера второй ступени АБ-2 (в кг на 1000 кг соды)

Приход	кг	Расход	кг
<u>Жидкость из АБ-1</u>		<u>Жидкость в САР</u>	
NaCl	1557	NaCl	1557
(NH ₄) ₂ CO ₃	363,7	(NH ₄) ₂ CO ₃	578,4
NH ₄ OH	333,7	NH ₄ OH	620
Na ₂ SO ₄	36,2	Na ₂ SO ₄	36,2
H ₂ O	4286,39	H ₂ O	4270,1
Примеси	4,7	Примеси	4,7
Всего	6581,69	Всего	7066,4
<u>Газ из ХГДС</u>		<u>Газ в АБ-1</u>	
CO ₂	220,8	CO ₂	122,3
NH ₃	422,1	NH ₃	206,9
Воздух	10	Воздух	10
H ₂ O	212,98	H ₂ O	41,97
Всего	865,88	Всего	381,17
Итого	7447,57	Итого	7447,57

Задание 2.

Рассчитать температуру аммонизированного рассола, вытекающего из второго абсорбера АБ-2, в условиях предыдущего примера, если жидкость, поступающая АБ-2 из АБ-1, предварительно охлаждается в холодильнике до 30 °С.

Исходные данные:

1. Температура газа, поступающего в АБ-2, 50 °С.
2. Температура стенки аппарата 55 °С.
3. Температура наружного воздуха 15 °С.
4. Теплоёмкость жидкости, вытекающей из АБ-2, 3,27 кДж/(кг · К).
5. Диаметр абсорбера АБ-2 равен 2,8 м, высота – 7,4 м.
6. Производительность абсорбера по соде 17,6 т в 1 час.
7. Расчёт ведём на 1000 кг соды.

Решение:

I. Приход теплоты.

В абсорбер АБ-2 теплота поступает:

- с жидкостью из холодильника (Q_1);

- с газами (Q_2);
- за счёт химических реакций (Q_3).

Находим теплоту, приходящую с жидкостью:

$$Q_1 = m_1 \times c_1 \times t_1;$$

где $m_1 = 6581,69$ кг – количество раствора, поступающего в АБ-2 (по данным материального баланса АБ-2 на стр. 23); $c_1 = 3,27$ кДж/(кг · К) – теплоёмкость раствора; $t_1 = 30$ °С.

Получим:

$$Q_1 = 6581,69 \times 3,27 \times 30 \approx 645700 \text{ кДж.}^1$$

Определим теплоту, приходящую с газом:

$$Q_2 = Q_{NH_3} + Q_{CO_2} + Q_{H_2O} + Q_{\text{âîçä}} ;$$

здесь Q_{NH_3} , Q_{CO_2} , Q_{H_2O} , $Q_{\text{âîçä}}$ - теплота, приходящая с газами NH_3 , CO_2 , парами воды и воздухом, определяемая по формулам:

$$Q_{NH_3} = G_{NH_3} \times C_{NH_3} \times t;$$

$$Q_{CO_2} = G_{CO_2} \times C_{CO_2} \times t;$$

$$Q_{H_2O} = G_{H_2O} \times i_{H_2O};$$

$$Q_{\text{âîçä}} = G_{\text{âîçä}} \times C_{\text{âîçä}} \times t;$$

в которых:

G - массы приходящих газов ($G_{NH_3} = 422,1$ кг, $G_{CO_2} = 220,8$ кг, $G_{H_2O} = 212,98$ кг, $G_{\text{âîçä}} = 10$ кг, по данным материального баланса абсорбера АБ-2 на стр. 23);

C - соответствующие теплоёмкости данных газов при температуре $t = 50$ °С ($C_{NH_3} = 2,18$ кДж/(кг · град), $C_{CO_2} = 0,92$ кДж/(кг · град), $C_{\text{âîçä}} = 1$ кДж/(кг · град)).

$i_{H_2O} = 2589$ кДж/кг – энтальпия паров воды при температуре $t = 50$ °С.

Получим:

$$Q_{NH_3} = 422,1 \times 2,18 \times 50 = 46000 \text{ кДж};$$

$$Q_{CO_2} = 220,8 \times 0,92 \times 50 = 10156 \text{ кДж};$$

¹ В данном случае, для упрощения расчёта, в вычислениях допустимо округление целых чисел до 10, 100 или 1000, поскольку количество теплоты, вычисленное в кДж, рассчитывается приближённо.

$$Q_{H_2O} = 212,98 \times 2589 = 551405 \text{ кДж};$$

$$Q_{\text{âîçä}} = 10 \times 1 \times 50 = 500 \text{ кДж};$$

Отсюда:

$$Q_2 = 46000 + 10156 + 551405 + 500 = 608061 \text{ кДж}.$$

Рассчитываем теплоту, образованную за счёт химических реакций:

$$Q_3 = Q_{(NH_4)_2CO_3} + Q_{NH_4OH};$$

здесь:

$$Q_{(NH_4)_2CO_3} = \frac{144,5 \times 1000}{96} 214,7 = 322170 \text{ кДж};$$

$$Q_{NH_4OH} = \frac{35,2 \times 1000}{35} 286,3 = 287900 \text{ кДж};$$

получаем:

$$Q_3 = 322170 + 287900 = 610070 \text{ кДж}.$$

[Здесь 96 и 35 – молекулярные массы $(NH_4)_2CO_3$ и NH_4OH ; 214,7 кг и 286,3 кг – количества образовавшихся $(NH_4)_2CO_3$ и NH_4OH ; 144,5 кДж/кмоль и 35,2 кДж/кмоль – тепловые эффекты реакций].

Общий приход теплоты в АБ-2 на 1000 кг соды:

$$Q_{\text{ïðââ}} = 645700 + 608061 + 610070 = 1863831 \text{ кДж}.$$

II. Расход теплоты.

Из абсорбера АБ-2 теплота выносится:

- с газами, уходящими в АБ-1 (Q'_1);
- в виде теплотерь аппарата (Q'_2);
- жидкостью, уходящей в холодильник (Q'_3).

Количество теплоты, отводимой газами в АБ-1:

- двуокисью углерода $122,3 \times 0,92 \times 50 = 5626 \text{ кДж}$;
[122,3 кг – количество CO_2 , уходящее в АБ-1; 0,92 кДж/(кг×К) – теплоёмкость газа, 50 °С – температура газа].

- аммиаком $206,9 \times 2,18 \times 50 = 22552 \text{ кДж}$;

[206,9 кг – количество NH₃; 2,18 кДж/(кг×К) – теплоёмкость аммиака, 50 °С – температура газа].

- водяным паром $41,98 \times 2589 = 108686$ кДж;
 [2589 кДж/кг – энтальпия паров воды при температуре $t = 50$ °С].

Общее количество теплоты, уносимое газами в АБ-1, составит:

$$Q'_1 = 5626 + 22552 + 108686 = 136864 \text{ кДж.}$$

Теплопотери за счёт излучения стенкой аппарата определяются по следующей приближённой формуле:

$$Q'_2 = F[15,29(T_1^4 - T_2^4) \times 10^{-8} + 25,14(T_1 - T_2)];$$

где F – наружная поверхность аппарата, м²; T_1 – температура наружной стенки аппарата, К; T_2 – температура наружного воздуха, К.

Находим:

$$F = \pi dH = 3,14 \times 2,8 \times 7,4 = 65 \text{ м}^2;$$

Затем:

$$Q'_2 = 65 \times [15,29(328^4 - 288^4) \times 10^{-8} + 25,14(328 - 288)] = 112021 \text{ кДж/ч}$$

На 1000 кг соды теплопотери составляют $112021/17,6 = 6365$ кДж.
 [здесь 17,6 т в 1 час – производительность абсорбера по соде].

Количество теплоты, пошедшее на нагревание раствора:

$$Q'_3 = Q_{\text{прих}} - Q'_1 - Q'_2 = 1863831 - 136864 - 6365 = 1720602 \text{ кДж.}$$

В таблице 4.3 приведён тепловой баланс абсорбера АБ-2 в кДж на 1 тонну соды.

Таблица 4.3.
Тепловой баланс абсорбера АБ-2.

Приход	кДж/1000кг соды	Расход	кДж/1000кг соды
С жидкостью из АБ-2	645700	С газами в АБ-2	136864
С газами	608061	Теплопотери	6365
За счёт химических реакций	610070	С раствором в холодильнике	1720602
Всего	1863831	Всего	1863831

Задание для самостоятельной разработки:

1. Составить материальный баланс абсорбера 2-ой ступени, имея исходные данные:
 - Состав жидкости, вытекающей из АБ-2: Cl - 80 н.д.; NH_3 – 98,5 н.д.; CO_2 – 39,7 н.д.; плотность рассола 1168 кг/м³.
 - Состав газа, поступающего в АБ-2: NH_3 – 422,5 кг на 1000 кг соды; CO_2 – 220,2 кг на 1000 кг соды; H_2O – 212,6 кг на 1000 кг соды; воздуха – 10 кг на 1000 кг соды;
 - остальные данные принять равными соответствующим данным в показательных материальных балансах АБ-1 и АБ-2.
2. Рассчитать температуру аммонизированного рассола, вытекающего из второго абсорбера АБ-2, в условиях задания для самостоятельной разработки №1, если жидкость, поступающая АБ-2 из АБ-1, предварительно охлаждается в холодильнике до 30 °С.
3. Составить материальный баланс абсорбера 2-ой ступени, имея исходные данные:
 - Состав жидкости, вытекающей из АБ-2: Cl - 90 н.д.; NH_3 – 98 н.д.; CO_2 – 37 н.д.; плотность рассола 1168 кг/м³.
 - Состав газа, поступающего в АБ-2: NH_3 – 422,1 кг на 1000 кг соды; CO_2 – 220,8 кг на 1000 кг соды; H_2O – 212,98 кг на 1000 кг соды; воздуха – 10 кг на 1000 кг соды;
 - остальные данные принять равными соответствующим данным в показательных материальных балансах АБ-1 и АБ-2.
4. Рассчитать температуру аммонизированного рассола, вытекающего из второго абсорбера АБ-2, в условиях задания для самостоятельной разработки №3, если жидкость, поступающая АБ-2 из АБ-1, предварительно охлаждается в холодильнике до 10 °С.
5. Составить материальный баланс абсорбера 2-ой ступени, имея исходные данные:
 - Состав жидкости, вытекающей из АБ-2: Cl - 97 н.д.; NH_3 – 98 н.д.; CO_2 – 37,4 н.д.; плотность рассола 1168 кг/м³.
 - Состав газа, поступающего в АБ-2: NH_3 – 422,5 кг на 1000 кг соды; CO_2 – 220 кг на 1000 кг соды; H_2O – 212,98 кг на 1000 кг соды; воздуха – 10 кг на 1000 кг соды;
 - остальные данные принять равными соответствующим данным в показательных материальных балансах АБ-1 и АБ-2.
6. Рассчитать температуру аммонизированного рассола, вытекающего из второго абсорбера АБ-2, в условиях задания для самостоятельной разработки №5, если жидкость, поступающая АБ-2 из АБ-1, предварительно охлаждается в холодильнике до 40 °С.
7. Составить материальный баланс абсорбера 2-ой ступени, имея исходные данные:
 - Состав жидкости, вытекающей из АБ-2: Cl - 92 н.д.; NH_3 – 98 н.д.; CO_2 – 33,4 н.д.; плотность рассола 1168 кг/м³.
 - Состав газа, поступающего в АБ-2: NH_3 – 425,5 кг на 1000 кг соды; CO_2 – 226 кг на 1000 кг соды; H_2O – 212 кг на 1000 кг соды; воздуха – 10 кг на 1000 кг соды;
 - остальные данные принять равными соответствующим данным в показательных материальных балансах АБ-1 и АБ-2.
8. Рассчитать температуру аммонизированного рассола, вытекающего из второго абсорбера АБ-2, в условиях задания для самостоятельной разработки №7, если жидкость, поступающая АБ-2 из АБ-1, предварительно охлаждается в холодильнике до 20 °С.

5 Тема: Карбонизация аммонизированного рассола и фильтрация бикарбоната натрия. Расчёт процесса карбонизации.

Общие положения.

В процессе карбонизации аммонизированного рассола в процессе обработки его двуокисью углерода образуется бикарбонат натрия, выделяющийся в твёрдую фазу. Принципиальная схема отделения карбонизации показана на рисунке 5.1.

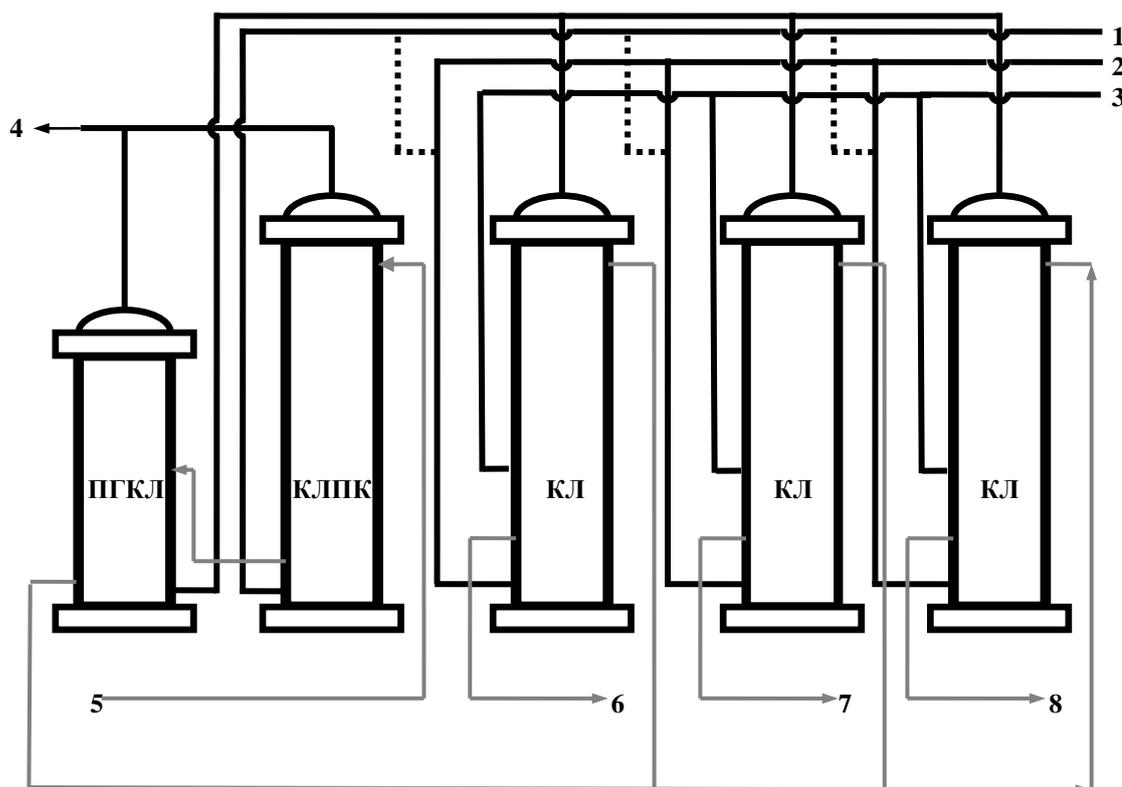


Рис. 5.1. Принципиальная схема отделения карбонизации (показан вариант работы первой колонны в качестве предкарбонизатора; пунктиром показаны переключения колонн на предкарбонизацию).

Условные обозначения аппаратов:

КЛ – карбонизационные колонны; КЛПК – колонна предварительной карбонизации; ПГКЛ – первый промыватель газа колонн.

Условные обозначения потоков:

1 – Вход газа известково-обжигательных печей; 2 – Вход газа из печей кальцинации; 3 – Вход газа известково-обжигательных печей; 4 – Газ в ПГКЛ-2; 5 – Аммонизированный рассол из САР; 6, 7, 8 – На фильтрацию.

Для карбонизации используют газ известково-обжигательных печей, содержащий 35 ÷ 40 % (об.) CO₂, и газ из сушилок, содержащий 80 ÷ 90 % (об.) CO₂.

Аммонизированный рассол из сборника аммонизированного рассола (САР) направляют в карбонизационную колонну предварительной карбонизации (КЛПК), первый промыватель газа колонн (ПГКЛ), а затем распределяют по рабочим колоннам.

Непрореагировавшую в колоннах двуокись углерода вместе с аммиаком, отдуваемым из рассола, улавливают в промывателе газа колонн (ПГКЛ-1). Кристаллический осадок бикарбоната отделяют от маточного раствора фильтрацией.

Степень использования натрия вычисляют по следующим формулам:

$$\text{при карбонизации} \quad U_{Na} = \frac{[NH_4Cl]}{[Cl^-]} \times 100, \% \quad (1)$$

где [NH₄Cl] и [Cl⁻] – концентрации хлорида аммония (связанного аммиака²) и иона хлора в маточной жидкости, н.д.;

$$\text{при фильтрации} \quad U_{Na} = \frac{[NH_3]_{\text{связ}}}{[Cl^-] + [SO_4^{2-}]} \times 100, \% \quad (2)$$

где [NH₃]_{связ}, [Cl⁻], [SO₄²⁻] – концентрация связанного аммиака, ионов хлора и сульфата в фильтровой жидкости, н.д.

Потери бикарбоната натрия при фильтрации вычисляют по степени использования натрия при карбонизации и при фильтрации:

$$\frac{U_{Na} - U'_{Na}}{U_{Na}} \times 100, \% \quad (3)$$

Степень использования аммиака определяют по формуле:

$$U_{Na} = \frac{[NH_3]_{\text{связ}}}{[NH_3]_{\text{св}}} \times 100, \% \quad (4)$$

² На содовых заводах общим титром (в н.д.) называют общее содержание аммиака в жидкости, а прямым титром – содержание свободного и полусвязанного аммиака, т.е. содержание в растворе NH₃, NH₄OH и углеаммонийных солей. Связанным аммиаком называют NH₃, находящийся в растворе в виде аммонийных солей соляных кислот – NH₄Cl, (NH₃)₂SO₄.

Практические задания.

Задание 1.

Определить степень использования натрия при карбонизации, если концентрация хлорида аммония в маточной жидкости 187 г/дм^3 , а концентрация иона хлора $177,5 \text{ г/дм}^3$.

Решение:

Используя поправочные коэффициенты для перевода единиц концентрации из г/дм^3 в н.д., приведённые в табл. 1.1. на стр. 6, получаем концентрации:

$$\text{NH}_4\text{Cl} \quad \frac{187}{2,675} = 70 \text{ н.д.};$$

$$\text{Cl}^- \quad \frac{177,5 \times 58,5}{2,923 \times 35,5} = 100 \text{ н.д.};$$

здесь $2,675$ и $2,923$ – коэффициенты перевода концентрации NH_4Cl и NaCl из г/дм^3 в н.д.; $35,5$ и $58,4$ – молекулярные массы Cl^- и NaCl .

$$\text{Отсюда: } U_{\text{Na}} = \frac{70}{100} \times 100 = 70 \text{ \%}.$$

Задание 2.

Определить количество рассола (в м^3), необходимое для получения 1000 кг стандартной $99,2 \text{ \%}$ соды, если концентрация хлорида натрия в рассоле 106 н.д. , а степень использования натрия 67 \% .

Решение:

Из 1 м^3 рассола получают соды:

$$106 \times \frac{67}{100} \times 2,65 = 188,2 \text{ кг};$$

здесь $2,65 \text{ кг}$ – масса соды, содержащейся в 1 м^3 раствора с концентрацией 1 н.д.

На получение 1000 кг стандартной $99,2 \text{ \%}$ -ной соды необходимо рассола:

$$\frac{99,2 \times 1000}{100 \times 188,2} = 5,27 \text{ м}^3.$$

Задание 3.

Определить расход рассола, известняка (100 % CaCO₃) и аммиака (100 % NH₃) для получения 1000 кг соды (99,2 % Na₂CO₃), если содержание NaCl в рассоле 306,1 г/дм³, а степень превращения NaCl в соду составляет 74%.

Решение:

Согласно уравнениям



на образование 1 кмоль Na₂CO₃ расходуется 2 кмоль NaCl, 1 кмоль CaCO₃ и 2 кмоль NH₃. Стехиометрический расход NaCl:

$$\frac{1000 \times 2 \times 58,5}{106} = 1104 \text{ кг.}$$

С учётом степени превращения (74 %) и содержания Na₂CO₃ в готовом продукте (99,2 %) для получения 1000 кг соды потребуется NaCl:

$$\frac{1104 \times 99,2}{74} = 1480 \text{ кг.}$$

Объём рассола, содержащего 306,1 г/дм³ NaCl на 1000 кг соды, равен:

$$\frac{1480}{306,1} = 4,84 \text{ м}^3.$$

С учётом неполноты реакции, загрязнённости сырья, а также заводских потерь, примем, что практический расход NaCl на 1000 кг соды составляет 1550 кг (или 0,5 м³ рассола).

Теоретический расход CaCO₃ составит:

$$\frac{1000 \times 100}{106} = 943 \text{ кг.}$$

Практический расход известняка с учётом содержания в нём примесей и неполноты диссоциации примем 1100 ÷ 1250 кг.

Теоретический расход аммиака (без учёта регенерации его) вычисляем по уравнению:

$$\frac{1000 \times 2 \times 17}{106} = 321 \text{ кг.}$$

Практический расход аммиака определяется лишь потерями и составляет $\approx 1,3$ кг на 1000 кг соды.

Задание для самостоятельной разработки:

1. Определить степень использования натрия при карбонизации, если концентрация хлорида аммония в маточной жидкости 190 г/дм^3 , а концентрация иона хлора 180 г/дм^3 .
2. Определить количество рассола (в м^3), необходимое для получения 1000 кг стандартной 99,2 % соды, если концентрация хлорида натрия в рассоле 100 н.д., а степень использования натрия 73 %.
3. Определить расход рассола, известняка (100 % CaCO_3) и аммиака (100 % NH_3) для получения 1000 кг соды (99,2 % Na_2CO_3), если содержание NaCl в рассоле 305 г/дм^3 , а степень превращения NaCl в соду составляет 75%.
4. Определить степень использования натрия при карбонизации, если концентрация хлорида аммония в маточной жидкости 150 г/дм^3 , а концентрация иона хлора 160 г/дм^3 .
5. Определить количество рассола (в м^3), необходимое для получения 1000 кг стандартной 99,2 % соды, если концентрация хлорида натрия в рассоле 111 н.д., а степень использования натрия 70%.
6. Определить расход рассола, известняка (100 % CaCO_3) и аммиака (100 % NH_3) для получения 1000 кг соды (99,2 % Na_2CO_3), если содержание NaCl в рассоле $304,7 \text{ г/дм}^3$, а степень превращения NaCl в соду составляет 78 %.
7. Определить степень использования натрия при карбонизации, если концентрация хлорида аммония в маточной жидкости 167 г/дм^3 , а концентрация иона хлора 192 г/дм^3 .
8. Определить количество рассола (в м^3), необходимое для получения 1000 кг стандартной 99,2 % соды, если концентрация хлорида натрия в рассоле 105 н.д., а степень использования натрия 79,0 %.
9. Определить расход рассола, известняка (100 % CaCO_3) и аммиака (100 % NH_3) для получения 1000 кг соды (99,2 % Na_2CO_3), если содержание NaCl в рассоле $309,4 \text{ г/дм}^3$, а степень превращения NaCl в соду составляет 79 %.
10. Определить количество рассола (в м^3), необходимое для получения 1000 кг стандартной 99,2 % соды, если концентрация хлорида натрия в рассоле 107 н.д., а степень использования натрия 77 %.

Таблица 5.1

Варианты 2-го типового расчёта (по аналогу 5-ой темы, задания 3).		
Определить расход рассола, известняка (100 % CaCO_3) и аммиака (100 % NH_3) для получения 1000 кг соды (99,2 % Na_2CO_3), если: содержание NaCl в рассоле n г/дм³, а степень превращения NaCl в соду составляет m %.		
Варианты	n - содержание NaCl в рассоле, г/дм³	m - степень превращения NaCl в соду, %
I	305	71
II	305,1	73
III	305,9	74
IV	305,8	72
V	306,2	76
VI	305,3	77
VII	305,7	79
VIII	306,3	78
IX	306	73
X	305,7	72
XI	306,4	78
XII	305,5	79

6 Тема: Расчёт количества рассола при производстве кальцинированной соды

Общие положения.

Сырой бикарбонат натрия, полученный после отделения от маточного рассола (фильтровой жидкости), прокаливают во вращающихся сушильных печах.

В результате этого образуется конечный продукт – кальцинированная сода. Выделяющуюся при этом двуокись углерода охлаждают для конденсации водяного пара и после очистки от содовой пыли направляют в колонны карбонизации аммонизированного рассола.

Образующийся при охлаждении газа раствор (слабая жидкость) содержит некоторое количество соды и аммиака. Из него выделяют аммиак на станции дистилляции и оставшийся разбавленный содовый раствор используют для промывки бикарбоната натрия, гашения извести или в процессе получения едкого натра.

Практические задания.

Задание 1.

Рассчитать необходимое количество рассола для содового завода производительностью 210000 т/год (600 т/сутки) 99,2 %-ной кальцинированной соды, если рассол, плотность которого $1,21 \text{ т/м}^3$, содержит $312 \text{ г/дм}^3 \text{ NaCl}$, а часть соды идёт на приготовление 50000 т/год едкого натра при расходе $1,335 \text{ т Na}_2\text{CO}_3$ на 1 тонну каустической соды.

Содовый раствор для каустификации готовят в декарбонаторе путём обработки паром бикарбоната, согласно реакции:



Расчёт ведём на суточную производительность 100 %-ого Na_2CO_3 .

Решение:

Количество кальцинированной соды (100 %-ого Na_2CO_3), необходимое для производства каустической соды:

$$\frac{50000 \times 1,335}{350 \times 24} = 7,95 \text{ т/ч.}$$

Где 350 – число рабочих дней в году.

Производительность завода в пересчёте на Na_2CO_3 :

$$\frac{600}{24} \times 0,992 = 24,8 \text{ т/ч.}, \text{ или } 24,8 \times 24 = 595,2 \text{ т/сут.}$$

Количество Na_2CO_3 в кальцинированной соде, выпускаемой в виде продукта:

$$24,8 - 7,95 = 16,85 \text{ т/ч.}, \text{ или } 16,85 \times 24 = 404,4 \text{ т/сут.}$$

Определим суточные потери соды (100 %-ого Na_2CO_3) по операциям.

Потери при укупорке принимаем равными 0,25 %. Так как укупоривается только кальцинированная сода, выпускаемая в виде готового продукта, то потери при укупорке равны:

$$\frac{404,4 \times 0,25}{100 - 0,25} = 1,01 \text{ т/сут.}$$

В пересчёте на 1000 кг условной продукции это составляет:

$$\frac{(1,01 \times 1000)}{600} = 1,68 \text{ кг.}$$

Расход соды на очистку рассола принимаем равными x т/сут.

Расход Na_2CO_3 в отделении очистки рассола на 1000 кг соды составляет:

$$\frac{x}{600} \times 1000 = 1,667x \text{ кг.}$$

Потери соды со слабыми жидкостями, получаемыми при улавливании пыли из газа сушилок, принимаем равными 1,5 %; они составят

$$\frac{(404,4 + 1,01 + x) \times 1,5}{100 - 1,5} = 6,17 + 0,0152x \text{ кг.}$$

Или на 1000 кг соды:

$$\frac{(6,17 + 0,0152x) \times 1000}{600} = 10,28 + 0,025x \text{ кг.}$$

(Это количество соды не теряется безвозвратно, так как унесённая из сушилок сода улавливается в коллекторе и скруббере, а в дальнейшем

используется в виде слабых жидкостей в производстве каустической соды).

Далее определим потери соды в сушилках и декарбонизаторе в результате реакции:



По практическим данным, содержание NH_4Cl в сыром бикарбонате в пересчёте на 1000 кг соды составляет 4,15 кг.

Так как 1 кмоль NaHCO_3 эквивалентен 0,5 кмоль Na_2CO_3 , то потери Na_2CO_3 на 1000 кг соды будут:

$$\frac{106 \times 4,15}{2 \times 53,5} = 4,11 \text{ кг.}$$

или в сутки:

$$\frac{4,11 \times 600}{1000} = 2,47 \text{ т/сут.}$$

Потери соды на фильтрах в виде бикарбоната, по практическим данным, составляют 2,25 %; т.е. они равны:

$$\frac{(595,2 + 1,01 + \chi + 2,47) \times 2,25}{100 - 2,25} = 13,78 + 0,023\chi \text{ т/сут.}$$

или на 1000 кг соды:

$$\frac{(13,78 + 0,023\chi) \times 1000}{600} = 22,97 + 0,0383\chi \text{ кг/сут.}$$

Для получения 1000 кг условного продукта (кальцинированной и каустической соды в пересчёте на кальцинированную соду) необходимо выработать Na_2CO_3 :

$$1000 \times 0,992 = 992 \text{ кг.}$$

а с учётом потерь при укупорке (1,68 кг), расхода соды на очистку рассола (1,667x кг), потерь при сушке и декарбонизации (4,11 кг) и потерь при фильтрации бикарбоната (22,97 + 0,0383x кг) нужно выработать Na_2CO_3 :

$$992 + 1,68 + 1,667x + 4,11 + 22,97 + 0,0383x = 1020,76 + 1,705x \text{ кг.}$$

(Потери со слабыми жидкостями не учитываются, так как они возвращаются в процесс).

Расход NaCl на выработку 1000 кг соды с учётом степени превращений, равной 72 %, составит:

$$\frac{(1020,76 + 1,705x) \times 2 \times 58,5}{106 \times 0,72} = 1565 + 2,614x \text{ кг.}$$

Расход рассола, содержащего 312 г/дм³ NaCl:

$$\frac{1565 + 2,614x}{312} = 5,02 + 0,00838x \text{ м}^3.$$

С учётом потерь рассола (со шламом) при его очистке в количестве 0,2 м³ на 1000 кг соды, общий расход рассола составляет:

$$5,02 + 0,00838x + 0,2 = 5,22 + 0,00838x \text{ м}^3.$$

Так как по опытным данным, на очистку 1 м³ рассола необходимо затратить 6,846 кг Na₂CO₃, то расход Na₂CO₃ для очистки рассола на 1000 кг соды равен:

$$(5,22 + 0,00838x) \times 6,846 \text{ кг.}$$

Поскольку расход Na₂CO₃ на очистку (на 1000 кг соды) был определён равным 1,667x, то, приравнивая эти величины, получим суточный расход Na₂CO₃ на очистку:

$$(5,22 + 0,00838x) \times 6,846 = 1,667x$$

$$35,736 + 0,0574x = 1,667x$$

$$35,736 = 1,6096x$$

$$x = 22,2$$

Используя найденное значение x , определим все потери и расход рассола.

Расход Na₂CO₃ в отделении очистки рассола равен:

$$1,667 \times 22,2 = 37 \text{ кг на 1000 кг соды.}$$

Количество содовой пыли, уходящей из сушилок, улавливаемой и используемой в производстве каустической соды («потеря» соды со слабыми жидкостями), в сутки составит:

$$6,17 + 0,0152 \times 22,2 = 6,51 \text{ т/сут.}$$

или на 1000 кг соды:

$$\frac{(6,51 \times 1000)}{600} = 10,85 \text{ кг Na}_2\text{CO}_3.$$

Потери при фильтрации:

$$13,78 + 0,023 \times 22,2 = 14,29 \text{ т/сут.}$$

или на 1000 кг соды:

$$\frac{(14,29 \times 1000)}{600} = 23,82 \text{ кг.}$$

Таким образом, потери (в пересчёте на Na_2CO_3) составят (на 1000 кг соды):

1. Потери при укупорке - 1,68 кг или 1,01 т/сут;
2. Расход на очистку - 37 кг или 22,2 т/сут;
3. Расход со слабыми жидкостями - 10,85 кг или 6,51 т/сут;
4. Потери на реакции в сушилках и при декарбонизации - 4,11 кг или 2,47 т/сут;
5. Потери при фильтрации - 23,82 кг или 14,29 т/сут.

Всего потерь (без расхода со слабыми жидкостями) – 77,46 кг или 46,48 т/сут.

Расход рассола на 1000 кг соды:

$$5,22 + 0,00838 \times 22,2 = 5,4 \text{ м}^3.$$

Таблица 6.1

Варианты 3-го типового расчёта (по аналогу 6-ой темы, задания 1).	
Рассчитать необходимое количество рассола для содового завода производительностью G т/год 99,2 %-ной кальцинированной соды	
Варианты	G
I	200000
II	205000
III	230000
IV	225000
V	240000
VI	220000
VII	190000
VIII	215000
IX	235000
X	245000
XI	195000
XII	250000
Остальные данные принять, руководствуясь показательным расчётом.	

7 Тема: Расчёт процесса дистилляции.

Общие положения.

В процессе дистилляции регенерируют аммиак из жидкостей содового производства и возвращают его на аммонизацию рассола. Дистилляции подвергают фильтровую жидкость, содержащую связанный (в виде NH_4Cl и небольшого количества $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) и полусвязанный (в виде NH_4OH и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) аммиак, а также слабые жидкости, получаемые, например, при промывке газов сушильных печей и содержащие в основном свободный и полусвязанный аммиак.

Процесс ведут в подогревателях для разложения соединений полусвязанного аммиака, в смесителе для регенерации связанного аммиака известковым молоком и в дистиллере – для отгонки паром растворённого аммиака.

В процессе дистилляции фильтровая жидкость поступает в конденсатор дистилляции (КДС), где подогревается газом, поступающим из теплообменника дистилляции (ТДС). Выделяющиеся при этом NH_3 и CO_2 отделяют в сепараторе и присоединяют к общему потоку газа, выходящему из КДС. Жидкость из конденсатора дистилляции поступает в теплообменник дистилляции. Сюда же подают аммиачную воду для восполнения потерь аммиака в производстве. Снизу в теплообменник дистилляции поступает газ из дистиллера (ДС), который для отделения от брызг раствора предварительно пропускают через верхнюю часть смесителя (СМ). В теплообменнике дистилляции происходит окончательное разложение углеаммонийных солей.

Из теплообменника дистилляции жидкость поступает в смеситель, где её обрабатывают известковым молоком, и далее в дистиллер для окончательной отгонки аммиака. В нижнюю бочку дистиллера поступает отработанный пар турбин из паровых машин. Из дистиллера жидкость поступает в испаритель (ИСД), а затем в отброс на «белое море». Пар из испарителя поступает в дистиллер слабой жидкости (ДСЖ).

Слабую жидкость, конденсат из холодильника газа дистилляции (ХГДС) и конденсат из КДС подают в конденсатор дистилляции слабой жидкости (КДСЖ). В межтрубное пространство конденсатора слабой жидкости поступает газ из дистиллера слабой жидкости (ДСЖ). Охлаждённый газ из конденсатора дистиллера слабой жидкости направляют в газовый холодильник (ХГДСЖ), и далее в первый абсорбер (АБ-1).

Жидкость, подогретая в конденсаторе слабой жидкости, проходит через дистиллер слабой жидкости и поступает в холодильник (ХДСЖ).

Охлаждённая жидкость направляется в промыватель газа содовых печей (ПГСП) и на промывку бикарбоната.

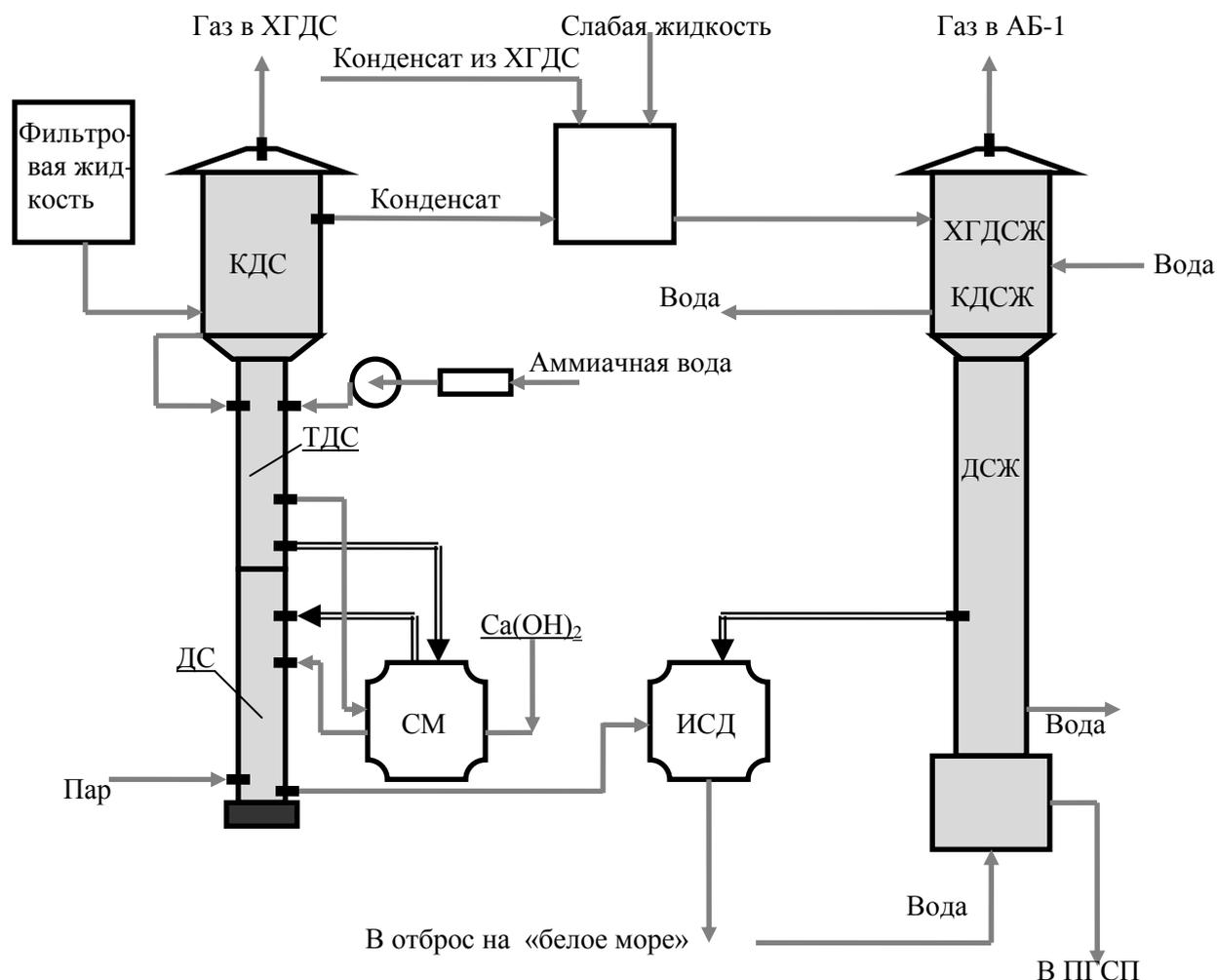


Рис.7.1. Принципиальная схема отделения дистилляции.

КДС - конденсатор дистилляции; ТДС – теплообменник дистилляции; ДС – дистиллер; СМ – смеситель; ИСД – испаритель дистилляции; ХГДС – холодильник газа дистилляции; АБ-1 – первый абсорбер; ХГДСЖ – холодильник газа дистилляции слабой жидкости; ДСЖ – дистиллер слабой жидкости; ХДСЖ – холодильник дистиллера слабой жидкости; КДСЖ – конденсатор дистиллера слабой жидкости.

Практические задания.

Задание 1.

Определить расход пара на дистилляцию аммиака из жидкости в расчёте на 1000 кг соды.

Условия работы дистиллера:

1. Объём жидкости, поступающей из ТДС – 7 м^3 ;
2. Объём известкового молока – $2,5 \text{ м}^3$;
3. Содержание в поступающей жидкости:
 - а) NH_3 в виде NH_4HCO_3 – 150 кг ;
 - б) NH_3 в виде NH_4OH – 350 кг ;
 - в) CO_2 – 39 г/дм^3 ;
4. Давление используемого пара – $172,2 \text{ кПа}$ (при $115 \text{ }^\circ\text{C}$);
5. Теплота конденсации пара при $115 \text{ }^\circ\text{C}$ – 2220 кДж/кг ;
6. Теплопотери за счёт излучения – 10% от общего расхода теплоты;
7. Температура жидкости, поступающей в ТДС – $45 \text{ }^\circ\text{C}$;
8. Температура известкового молока, поступающего в смеситель – $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Удельную теплоёмкость жидкости примем равной $3,41 \text{ кДж}/(\text{кг} \times \text{К})$.

Решение.

Расход пара вычисляем по количеству теплоты, необходимой:

а) для разложения NH_4HCO_3 :

$$Q_1 = \frac{150 \times 1000}{17} \times 46,1 = 406760 \text{ кДж};$$

(здесь $46,1 \text{ кДж/моль}$ – теплота разложения NH_4HCO_3).

б) для отгонки аммиака:

$$Q_2 = \frac{(150 + 350) \times 1000}{17} \times 35,3 = 1038230 \text{ кДж};$$

(здесь $35,3 \text{ кДж/моль}$ – теплота растворения аммиака).

в) для отгонки двуокиси углерода:

$$Q_3 = \frac{39 \times 7 \times 1000}{44} \times 24,6 = 152600 \text{ кДж};$$

(здесь $24,6 \text{ кДж/моль}$ – теплота растворения двуокиси углерода).

г) для нагревания жидкости:

$$Q_4 = 7 \times 3410 \times (115 - 45) + 2,5 \times 3410 \times (115 - 45) = 1670900 + 596750 = 2267650 \text{ кДж.}$$

Общее количество необходимой теплоты (без теплопотерь)

$$Q'_{расх} = 406760 + 1038230 + 152600 + 2267650 = 3865240 \text{ кДж.}$$

Учитывая 10 %-ные теплопотери, т.е. 386524 кДж, получим общий расход теплоты на дистилляцию:

$$Q_{расх} = 3865240 + 386524 = 4251764 \text{ кДж.}$$

Требуемое количество пара:

$$\frac{4251764}{2220} = 1915 \text{ кг.}$$

На подогрев жидкости расходуется теплоты:

а) от полезного расхода теплоты:

$$\frac{2267650}{3865240} \times 100 = 58,7 \text{ \%};$$

б) от общего расхода теплоты (с учётом теплопотерь):

$$\frac{2267650}{4251764} \times 100 = 53,3 \text{ \%}.$$

Задание 2.

Составить материальный баланс дистиллера, если жидкость, поступающая в него из смесителя, содержит:

- NaCl – 4,51 %;
- NH₃ – 4,08 %;
- CaCl₂ – 10,9 %;
- CaSO₄ – 0,09 %;
- Ca(OH)₂ – 0,05 %;
- H₂O – 80,34 %.

Исходные данные:

1. Плотность раствора 1104 кг/м³;
2. Количество раствора, поступающего в дистиллер на 1000 кг соды – 8,84 м³;

3. Вместе с жидкостью из смесителя поступают взвешенные частицы:
- а) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 1,18 % от массы жидкости,
 - б) CaCO_3 – 1,525 % от массы жидкости;
4. В нижнюю часть дистиллера подают водяной пар в количестве 159,5 кг на 1 тонну раствора;
5. Жидкость, выходящая из дистиллера, уносит NH_3 в количестве 1 кг на 1000 кг соды;
6. Содержание аммиака в газе, выходящем из дистиллера – 29,4 % (масс.).

Расчёт ведём на 1000 кг соды.

Решение.

Количество рассола, поступающего в дистиллер из смесителя:

$$8,84 \times 1104 = 9759 \text{ кг.}$$

Содержание в растворе солей:

- а) NaCl $9759 \times 0,0451 = 440$ кг;
- б) CaCl_2 $9759 \times 0,109 = 1065$ кг;
- в) CaSO_4 $9759 \times 0,0009 = 9$ кг;
- г) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $9759 \times 0,0005 = 5$ кг;
- д) NH_3 $9759 \times 0,0408 = 398$ кг.

Всего1917 кг.

Количество воды в растворе:

$$9759 - 1917 = 7842 \text{ кг.}$$

Количество осадка, поступающего с раствором:

- а) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ $9759 \times 0,0118 = 115$ кг;
- б) CaCO_3 $9759 \times 0,01525 = 149$ кг.

Всего264 кг.

Количество пара, поступающего в дистиллер:

$$159,5 \times \frac{9759}{1000} = 1557 \text{ кг.}$$

Количество аммиака, выходящего из дистиллера:

$$398 - 1 = 397 \text{ кг.}$$

С аммиаком уходит пара:

$$397 \times \frac{100 - 29,4}{29,4} = 951 \text{ кг.}$$

Эта жидкость содержит воды:

$$7842 + (1557 - 951) = 8448 \text{ кг,}$$

и растворённых в ней веществ:

NaCl.....440 кг; CaCl₂..... 1065 кг; CaSO₄.....9 кг;
Ca(OH)₂5 кг; NH₃.....1 кг.

Таблица 7.1

Материальный баланс дистиллера на 1000 кг соды.

Приход	кг	Расход	кг
<u>Жидкость из смесителя</u>		<u>Жидкость в испаритель</u>	
NaCl	440	NaCl	440
CaCl ₂	1065	CaCl ₂	1065
CaSO ₄	9	CaSO ₄	9
Ca(OH) ₂	5	Ca(OH) ₂	5
NH ₃	398	NH ₃	1
H ₂ O	7842	H ₂ O	8448
Всего	9759	Всего	9968
<u>Осадок в жидкости смесителя</u>		<u>Осадок в жидкости из дистиллера</u>	
Ca(OH) ₂	115	Ca(OH) ₂	115
CaCO ₃	149	CaCO ₃	149
Всего	264	Всего	264
Пар	1557	<u>Газ в теплообменник</u>	
		NH ₃	397
		H ₂ O	951
		Всего	1348
Итого	11580	Итого	11580

Задание для самостоятельной разработки:

1. Составить материальный баланс дистиллера, если жидкость, поступающая в него из смесителя, содержит:
 $\text{NaCl} - 4\%$; $\text{NH}_3 - 4\%$; $\text{CaCl}_2 - 10\%$; $\text{CaSO}_4 - 0,1\%$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 0,1\%$; $\text{H}_2\text{O} - 80,34\%$. Исходные данные: Плотность раствора 1104 кг/м^3 ; Количество раствора, поступающего в дистиллер на 1000 кг соды – $8,84 \text{ м}^3$; Вместе с жидкостью из смесителя поступают взвешенные частицы: а) $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 1,1\%$ от массы жидкости, б) $\text{CaCO}_3 - 1,6\%$ от массы жидкости; В нижнюю часть дистиллера подают водяной пар в количестве $159,5 \text{ кг}$ на 1 тонну раствора; Жидкость, выходящая из дистиллера, уносит NH_3 в количестве 1 кг на 1000 кг соды; Содержание аммиака в газе, выходящем из дистиллера – $29,4\%$ (масс.).
2. Составить материальный баланс дистиллера, если жидкость, поступающая в него из смесителя, содержит: $\text{NaCl} - 5\%$; $\text{NH}_3 - 6\%$; $\text{CaCl}_2 - 11\%$; $\text{CaSO}_4 - 0,12\%$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 0,121\%$; $\text{H}_2\text{O} - 80,34\%$. Исходные данные: Плотность раствора 1104 кг/м^3 ; Количество раствора, поступающего в дистиллер на 1000 кг соды – $8,84 \text{ м}^3$; Вместе с жидкостью из смесителя поступают взвешенные частицы: а) $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 1,121\%$ от массы жидкости, б) $\text{CaCO}_3 - 1,635\%$ от массы жидкости; В нижнюю часть дистиллера подают водяной пар в количестве $159,5 \text{ кг}$ на 1 тонну раствора; Жидкость, выходящая из дистиллера, уносит NH_3 в количестве 1 кг на 1000 кг соды; Содержание аммиака в газе, выходящем из дистиллера – $29,4\%$ (масс.).
3. Составить материальный баланс дистиллера, если жидкость, поступающая в него из смесителя, содержит: $\text{NaCl} - 5\%$; $\text{NH}_3 - 6\%$; $\text{CaCl}_2 - 11\%$; $\text{CaSO}_4 - 0,21\%$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 0,1\%$; $\text{H}_2\text{O} - 80,34\%$. Исходные данные: Плотность раствора 1104 кг/м^3 ; Количество раствора, поступающего в дистиллер на 1000 кг соды – $8,84 \text{ м}^3$; Вместе с жидкостью из смесителя поступают взвешенные частицы: а) $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 1,3\%$ от массы жидкости, б) $\text{CaCO}_3 - 1,78\%$ от массы жидкости; В нижнюю часть дистиллера подают водяной пар в количестве $159,5 \text{ кг}$ на 1 тонну раствора; Жидкость, выходящая из дистиллера, уносит NH_3 в количестве 1 кг на 1000 кг соды; Содержание аммиака в газе, выходящем из дистиллера – $29,4\%$ (масс.).
4. Составить материальный баланс дистиллера, если жидкость, поступающая в него из смесителя, содержит: $\text{NaCl} - 6\%$; $\text{NH}_3 - 9\%$; $\text{CaCl}_2 - 18\%$; $\text{CaSO}_4 - 0,61\%$; $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 0,1\%$; $\text{H}_2\text{O} - 80,34\%$. Исходные данные: Плотность раствора 1104 кг/м^3 ; Количество раствора, поступающего в дистиллер на 1000 кг соды – $8,84 \text{ м}^3$; Вместе с жидкостью из смесителя поступают взвешенные частицы: а) $\text{Ca}(\text{OH})_2 - 1,9\%$ от массы жидкости, б) $\text{CaCO}_3 - 1,78\%$ от массы жидкости; В нижнюю часть дистиллера подают водяной пар в количестве $159,5 \text{ кг}$ на 1 тонну раствора; Жидкость, выходящая из дистиллера, уносит NH_3 в количестве 1 кг на 1000 кг соды; Содержание аммиака в газе, выходящем из дистиллера – $29,4\%$ (масс.).

Таблица 7.2

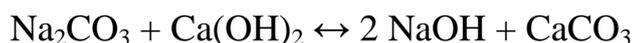
Варианты 2-ой самостоятельной работы (по аналогу 7-ой темы, задание 1)		
Определить расход пара на дистилляцию аммиака из жидкости в расчёте на 1000 кг соды.		
Варианты	Объём жидкости, поступающей из ТДС, м³	Объём известкового молока, м³
I	8	3
II	7	2,5
III	7,5	3,5
IV	8,5	2
V	7	4
VI	7	2
VII	7,5	2
VIII	8	3,5
IX	9	3
X	9	2,5
XI	10	4
XII	10	3,5
Остальные данные принять, руководствуясь показательным материальным балансом.		

8 Тема: Расчёт каустификатора - гасителя.

Общие положения.

При производстве едкого натра известковым способом содовый раствор, получаемый обычно декарбонизацией суспензии бикарбоната натрия обрабатывают известью или известковым молоком.

При взаимодействии карбоната натрия с гидроксидом кальция образуются гидроксид натрия и углекислый кальций:



Этот процесс обратим. Условия равновесия определяются соотношением между растворимостями гидроксида и карбоната кальция. Степень каустификации возрастает с уменьшением концентрации соды в исходном растворе и с понижением температуры.

Однако на практике процесс проводят при $80 \div 100$ °С для увеличения скорости взаимодействия реагентов и получения крупнокристаллического осадка карбоната кальция. Обычно применяют $10 \div 15$ %-ный раствор Na_2CO_3 . При этом достигают превращения Na_2CO_3 в NaOH на $90 \div 95$ % и получают щелок, содержащий $100 \div 120$ г/дм³ NaOH .

Основные стадии данного способа:

- приготовление содового раствора из жидкости декарбонатора, промывных вод и раствора солей выпарки;
- обработка содового раствора известью в гасителе – каустификаторе с последующим перемешиванием суспензии в каустификаторах;
- отделение шлама;
- обработка полученным шламом части жидкости декарбонатора;
- промывка шлама;
- упарка раствора NaOH в вакуумных выпарных аппаратах;
- фильтрация упаренного щелока;
- упарка щелочи до концентрации ≈ 610 г/дм³;
- дальнейшая упарка раствора;
- окончательная упарка и плавка каустической соды;
- осветление и слив (разлив в барабаны) расплавленного едкого натра.

Практические задания.

Задание 1.

Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 60 н.д. Na_2CO_3 , 20 н.д. NaOH , известь, содержащая 85 % активной окиси кальция.

Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 850 кг CaO и 150 кг CaCO₃.

Исходные данные:

1. На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести;
2. Избыток против теоретического количества – 5 %;
3. Плотность содового раствора 1150 кг/м³;
4. Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %;
5. С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO₃ и 6 кг Na₂CO₃;
6. Влажность отбросов 20 %;
7. при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂CO₃ 4,8 %.

Решение.

Расход извести A (в кг/м³) на каустификацию 1 м³ содового раствора подсчитываем по формуле:

$$A = \frac{1,4(C_1 \frac{K}{100} - C_2) \times (100 - L)}{C_{изв.}},$$

где C_1 - общая щелочность содового раствора в пересчёте на Na₂CO₃, н.д.; C_2 - содержание NaOH в содовом растворе, н.д.; K - теоретическая степень каустификации, %; L - избыток CaO_{акт.}; $C_{изв.}$ - содержание CaO в извести, %.

Для нахождения теоретической степени каустификации K определим процентное содержание Na₂CO₃ в содовом растворе:

$$\frac{60 \times 2,65}{1150} \times 100 = 13,85 \%,$$

где 2,65 – коэффициент пересчёта концентрации раствора из н.д. в г/дм³ или в кг/м³, (таблица 1.1. на стр. 6); 1150 – плотность раствора, кг/м³.

По рис. 8.1 находим, что теоретическая степень каустификации раствора такой концентрации равна приблизительно 93 %.

Отсюда:

$$A = \frac{1,4(80 \frac{93}{100} - 20) \times (100 + 5)}{85} = 94,1 \text{ кг/м}^3.$$

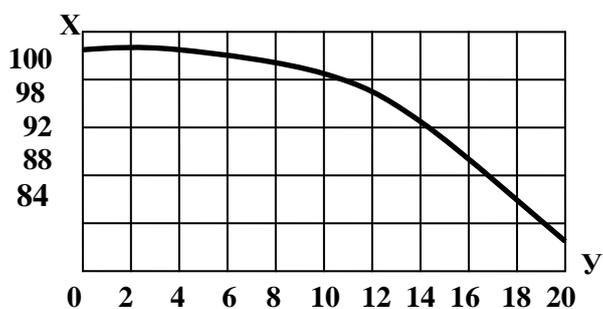


Рис. 8.1. Зависимость теоретической степени каустификации от содержания Na₂CO₃ в исходном растворе.

Ось X – Степень каустификации, %;

Ось Y – Концентрация Na₂CO₃, %.

Расход содового раствора на 1000 кг каустической соды составит:

$$\frac{1000}{94,1} = 10,6 \text{ м}^3/\text{т};$$

или $10,6 \times 1,15 = 12,2 \text{ т}.$

Раствор содержит:

Na₂CO₃..... $10,6 \times 60 \times 2,65 = 1685 \text{ кг};$

NaOH..... $10,6 \times 20 \times 2,0 = 424 \text{ кг};$

H₂O..... $12200 - 1685 - 424 = 10091 \text{ кг}.$

здесь 2,65 и 2,0 – коэффициенты для пересчёта концентрации Na₂CO₃ и NaOH из н.д. в г/дм³ или в кг/м³ (таблица 1.1. на стр. 6).

Общее содержание щелочи в содовом растворе:

$$1685 + 424 \frac{106}{2 \times 40} = 2247 \text{ кг},$$

где 106 и 40 – молекулярные массы Na₂CO₃ и NaOH.

Расход воды на гашение CaO:

$$850 \frac{18}{56} = 273 \text{ кг}.$$

При этом образуется $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

$$850 \frac{74}{56} = 1123 \text{ кг.}$$

В растворе после гасителя-каустификатора при степени каустификации 75 % содержится:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 0,25 \times 2247 = 562 \text{ кг;}$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 0,75 \times 2247 \frac{80}{106} = 1273 \text{ кг.}$$

В результате каустификации образовалось NaOH:

$$1273 - 424 = 849 \text{ кг.}$$

На образование 849 кг NaOH пошла:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 849 \frac{106}{2 \times 40} = 1123 \text{ кг;}$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 849 \frac{74}{2 \times 40} = 786 \text{ кг.}$$

При этом образовалось CaCO_3 :

$$849 \frac{100}{2 \times 40} = 1060,2 \text{ кг.}$$

Количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, теряемое с отбросами:

$$60 \times 0,85 \frac{74}{56} = 67,4 \text{ кг,}$$

где 74 и 56 – молекулярные массы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaO.

Вместе с отбросами отводится:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 0,25 \times 6 = 1,5 \text{ кг;}$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 0,76 \times 6 \frac{2 \times 40}{100} = 3,4 \text{ кг};$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots \frac{20 \times (67,4 + 101 + 3,4 + 1,5)}{80} = 43,3 \text{ кг}.$$

С промывными водами отводится щелочи:

- в пересчёте на Na_2CO_3 $312,1 \frac{4,8}{100} = 15 \text{ кг};$

- в том числе:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 0,25 \times 15 = 3,8 \text{ кг};$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 0,75 \times 15 \frac{2 \times 40}{106} = 8,5 \text{ кг}.$$

Количество воды, в которой растворены эти щелочи:

$$312,1 - 8,5 - 3,8 = 299,9 \text{ кг}.$$

Количество реагентов, отводимое с суспензией в первой каустификатор, составит:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 1685 - 1123 - 1,5 - 3,8 = 556,7 \text{ кг};$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 1273 - 3,4 - 8,5 = 1261, \text{ кг};$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \dots\dots\dots 1123 - 67,4 - 786 = 269,6 \text{ кг};$$

$$\text{CaCO}_3 \dots\dots\dots 150 + 1060,2 + 101 = 1109,2 \text{ кг};$$

$$\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots 10091 - 273 - 43,3 = 9774,7 \text{ кг}.$$

Сводный материальный баланс гасителя-каустификатора на 1000 кг соды приведён в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Материальный баланс гасителя-каустификатора на 1000 кг соды.

Приход	кг	Расход	кг
<u>С содовым раствором</u>		<u>С суспензией в каустификатор</u>	
Na ₂ CO ₃	1685	Na ₂ CO ₃	556,7
NaOH	424	NaOH	1261,1
H ₂ O	10091	Ca(OH) ₂	269,6
		CaCO ₃	1109,2
		H ₂ O	9774,7
Всего	12000	Всего	12971,3
<u>С известью</u>		<u>С отбросами</u>	
CaO	850	Na ₂ CO ₃	1,5
CaCO ₃	150	NaOH	3,4
		CaCO ₃	101
		Ca(OH) ₂	67,4
		H ₂ O	43,3
Всего	1000	Всего	216,6
<u>С водой на промывку отбросов</u>		<u>С промывными водами</u>	
H ₂ O	300	Na ₂ CO ₃	3,8
		NaOH	8,5
		H ₂ O	299,9
		Всего	312,1
Итого	13500	Итого	13500

Задание для самостоятельной разработки:

1. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 65 н.д. Na₂CO₃, 25 н.д. NaOH, известь, содержащая 80 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 870 кг CaO и 120 кг CaCO₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO₃ и 6 кг Na₂CO₃; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂CO₃ 4,8 %.
2. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 75 н.д. Na₂CO₃, 35 н.д. NaOH,

- известь, содержащая 89 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 790 кг СаО и 120 кг СаСО₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг СаСО₃ и 6 кг Na₂СО₃; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂СО₃ 4,8 %.
3. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 70 н.д. Na₂СО₃, 26 н.д. NaОН, известь, содержащая 90 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 900 кг СаО и 120 кг СаСО₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг СаСО₃ и 6 кг Na₂СО₃; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂СО₃ 4,8 %.
 4. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 80 н.д. Na₂СО₃, 30 н.д. NaОН, известь, содержащая 70 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 880 кг СаО и 120 кг СаСО₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг СаСО₃ и 6 кг Na₂СО₃; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂СО₃ 4,8 %.
 5. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 25 н.д. Na₂СО₃, 50 н.д. NaОН, известь, содержащая 80 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 670 кг СаО и 420 кг СаСО₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг СаСО₃ и 6 кг Na₂СО₃; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na₂СО₃ 4,8 %.
 6. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 95 н.д. Na₂СО₃, 45 н.д. NaОН, известь, содержащая 80 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 870 кг СаО и 120 кг СаСО₃. Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами

- теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO_3 и 6 кг Na_2CO_3 ; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na_2CO_3 4,8 %.
7. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 55 н.д. Na_2CO_3 , 15 н.д. NaOH , известь, содержащая 70 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 800 кг CaO и 300 кг CaCO_3 . Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO_3 и 6 кг Na_2CO_3 ; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na_2CO_3 4,8 %.
8. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 68 н.д. Na_2CO_3 , 29 н.д. NaOH , известь, содержащая 90 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 970 кг CaO и 100 кг CaCO_3 . Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO_3 и 6 кг Na_2CO_3 ; χ) 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na_2CO_3 4,8 %.
9. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 62 н.д. Na_2CO_3 , 26 н.д. NaOH , известь, содержащая 70 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 900 кг CaO и 120 кг CaCO_3 . Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной Каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO_3 и 6 кг Na_2CO_3 ; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na_2CO_3 4,8 %.
10. Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий 75 н.д. Na_2CO_3 , 35 н.д. NaOH , известь, содержащая 90 % активной окиси кальция. Для упрощения расчёта принять, что в состав 1000 кг извести входит только 890 кг CaO и 130 кг CaCO_3 . Исходные данные: На 1000 кг 92 %-ной Каустической соды расходуется 1000 кг извести; Избыток против теоретического количества – 5 %; Плотность содового раствора 1150 кг/м³; Степень каустификации раствора в гасителе каустификаторе 75 %; С отбросами теряется 60 кг 85 %-ной извести, 101 кг CaCO_3 и 6 кг Na_2CO_3 ; Влажность отбросов 20 %; при промывке отбросов получается 312,1 кг раствора с общей щелочностью в пересчёте на Na_2CO_3 4,8 %.

Таблица 8.2

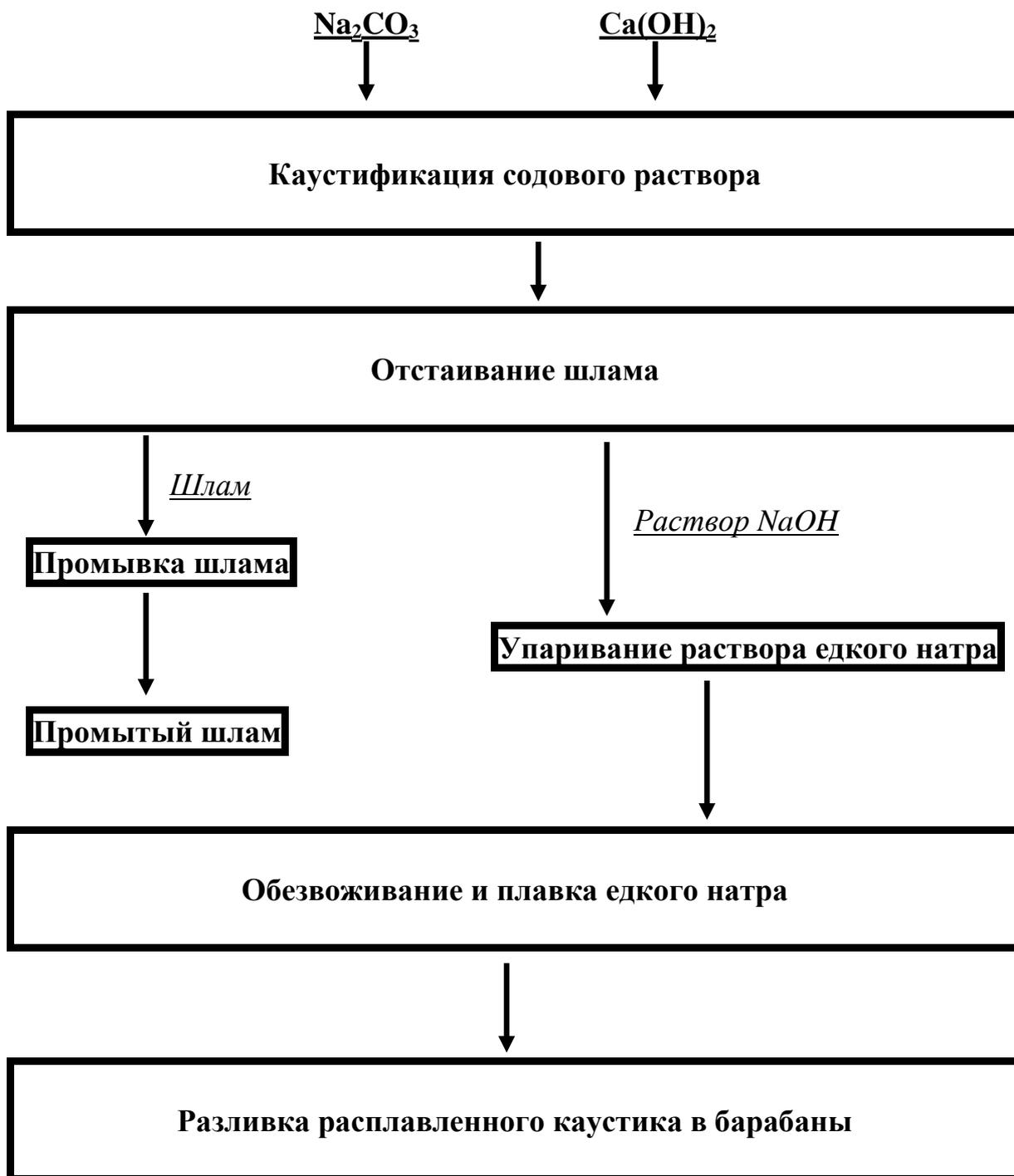
Варианты 3-ой самостоятельной работы (по аналогу 8-ой темы, задание 1)		
Составить материальный баланс гасителя - каустификатора, если в него подаётся содовый раствор, содержащий:		
Варианты	Na₂CO₃, н.д.	NaOH, н.д.
I	61	21
II	59	19
III	62	22
IV	58	18
V	63	23
VI	57	17
VII	64	24
VIII	56	16
IX	65	25
X	55	15
XI	58	14
XII	69	23

Остальные данные принять, руководствуясь показательным материальным балансом.

9 Тема: Расчёт каустификатора.

Общие положения.

Схема 9.1. Принципиальная схема производства каустической соды известковым способом.



Практические задания.

Задание 1.

Исходя из материального баланса гасителя-каустификатора, составить материальный баланс каустификатора, если из гасителя - каустификатора в него поступает суспензия со степенью каустификации раствора, равной 75 %. Степень каустификации раствора после каустификатора составляет 85 %.

Решение.

Общее содержание щелочи (в пересчёте на Na_2CO_3) в суспензии, вытекающей из каустификаторов первой каустификации, равно:

$$556,7 + 1261,1 \frac{106}{2 \times 40} = 2226,7 \text{ кг.}$$

При степени каустификации 85 % суспензия содержит:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 0,15 \times 2226,7 = 334 \text{ кг;}$$

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 0,85 \times 2226,7 \frac{2 \times 40}{106} = 1429,2 \text{ кг.}$$

В результате каустификации образовалось:

$$\text{NaOH} \dots\dots\dots 1429,2 - 1261,1 = 168,1 \text{ кг;}$$

$$\text{CaCO}_3 \dots\dots\dots 168,1 \frac{100}{2 \times 40} = 210,9 \text{ кг;}$$

здесь 100 – молекулярная масса CaCO_3 .

Общее количество CaCO_3 в суспензии:

$$1109,2 + 210,9 = 1320,1 \text{ кг.}$$

При этом прореагировало:

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \dots\dots\dots 168,1 \frac{106}{2 \times 40} = 224 \text{ кг;}$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \dots\dots\dots 168,1 \frac{74}{2 \times 40} = 156,3 \text{ кг.}$$

В суспензии осталось $\text{Ca}(\text{OH})_2$

$$269,6 - 156,3 = 113,3 \text{ кг.}$$

Таблица 9.1.

Материальный баланс каустификатора первой каустификации.

Приход	кг	Расход	кг
<u>С суспензией из гасителя-каустификатора</u>		<u>Суспензия в отстойник</u>	
$\text{Na}_2 \text{CO}_3$	556,7	$\text{Na}_2 \text{CO}_3$	334
NaOH	1261,1	NaOH	1429,2
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	269,6	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	113,3
CaCO_3	1109,2	CaCO_3	1320,1
H_2O	9774,7	H_2O	9774,7
Всего	12971,3	Всего	12971,3

Задание 1.

Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 9 м, содержании NaOH в щелоке 14 %, плотности щелока 1160 кг/м³?

Решение.

Скорости осаждения шлама (ω) в зависимости от температуры обжига извести приведены в табл. 9.2:

Таблица 9.2.

Скорости осаждения шлама (ω) в зависимости от температуры обжига извести

t, °C	900	1000	1200
$\omega \times 10^{-5}$, м/с	3,1	3,7	4,3

Пренебрегая неравномерностью распределения суспензии по площади отстойника, можно заключить:

$$V = F \times \omega \times 24 \times 3600 \quad (1)$$

где V – производительность отстойника, $\text{м}^3/\text{сут}$; F – площадь отстойника, м^2 .

Площадь отстойника равна:

$$F = 0,785 \times 9^2 = 63,7 \text{ м}^2.$$

Подставляя это значение в приведённую выше формулу (1), находим суточную производительность отстойника по раствору для разных температур обжига известняка:

$$V_{900} = 63,7 \times 3,1 \times 10^{-5} \times 24 \times 3600 = 170,6 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$V_{1000} = 63,7 \times 3,7 \times 10^{-5} \times 24 \times 3600 = 203,6 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$V_{1200} = 63,7 \times 4,3 \times 10^{-5} \times 24 \times 3600 = 236,6 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Суточная производительность отстойника (A) в пересчёте на 100 %-ный NaOH составит:

$$A_{900} = 170,6 \times 0,14 \times 1160 = 27700 \text{ кг/сут};$$

$$A_{1000} = 203,6 \times 0,14 \times 1160 = 33060 \text{ кг/сут};$$

$$A_{1200} = 236,6 \times 0,14 \times 1160 = 38400 \text{ кг/сут}.$$

Вывод: суточная производительность отстойника шлама первой каустификации повышается с повышением температуры обжига известняка.

Задание для самостоятельной разработки:

1. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 10 м, содержании NaOH в щелоче 15 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
2. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 11 м, содержании NaOH в щелоче 13 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
3. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 12 м, содержании NaOH в щелоче 16 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
4. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 11 м, содержании NaOH в щелоче 25 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
5. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 14 м, содержании NaOH в щелоче 19 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
6. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 16 м, содержании NaOH в щелоче 10 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
7. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 15 м, содержании NaOH в щелоче 15 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
8. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 9 м, содержании NaOH в щелоче 12 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
9. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 15 м, содержании NaOH в щелоче 30 %, плотности щелока 1160 кг/м³?
10. Как зависит суточная производительность отстойника шлама первой каустификации от температуры обжига известняка, при диаметре отстойника 10 м, содержании NaOH в щелоче 10 %, плотности щелока 1160 кг/м³?

Варианты 4-го типового расчёта (по аналогу 9-ой темы, задания 1).

Исходя из материального баланса гасителя-каустификатора (3-ей самостоятельной работы), составить материальный баланс каустификатора, если из гасителя - каустификатора в него поступает суспензия со степенью каустификации раствора, равной 75 %. Степень каустификации раствора после каустификатора составляет 85 %.

Остальные данные принять, руководствуясь показательным расчётом.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

- 1. Позин М.Е.**
Расчёты по технологии неорганических веществ.
Л.: «Химия» - 1977, 496 стр.
- 2. Крашенинников С.А.**
Технология соды.
М.: «Химия» - 1988, 304 стр.

СОДЕРЖАНИЕ :

1 Тема: Расчёт концентрации CO₂. Выражение концентрации при производстве соды.	5 стр.
2 Тема: Очистка рассола (1 типовой расчёт).....	10 стр.
3 Тема: Аммонизация рассола. Расчёт абсорбера первой ступени (1 самостоятельная работа)..	14 стр.
4 Тема: Аммонизация рассола. Расчёт абсорбера второй ступени.....	22 стр.
5 Тема: Карбонизация аммонизированного рассола и фильтрация бикарбоната натрия. Расчёт процесса карбонизации (2 типовой расчёт).....	30 стр.
6 Тема: Расчёт количества рассола при производстве кальцинированной соды (3 типовой расчёт).....	36 стр.
7 Тема: Расчёт процесса дистилляции (2 самостоятельная работа).....	43 стр.
8 Тема: Расчёт каустификатора – гасителя (3 самостоятельная работа).....	51 стр.
9 Тема: Расчёт каустификатора (4 типовой расчёт).....	60 стр.
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	66 стр.

