

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ОТРАСЛИ**
**на примере производства кальцинированной соды
по аммиачному способу**

Текст лекций

для студентов специальности 7.05020201, 8.05020201
«Автоматизированное управление технологическими процессами»

Утверждено
редакционно-издательским
советом НТУ «ХПИ»,
протокол № 2 от 24.12.2014 г.

Харьков
Підручник НТУ «ХПІ»
2015

УДК 66-933.6:661.333(075)
ББК 32.965:35.20я7
Б72

Рецензенты:

В. П. Шапоров, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой
химической техники и промышленной экологии НТУ «ХПИ»

О. Г. Руденко, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой
электронных вычислительных машин ХНУРЭ

Авторы:

А. А. Бобух, к.т.н., доцент; *А. М. Дзевочко*, к.т.н., доцент;
М. А. Подустов, д-р техн. наук

Викладаються теоретичні та практичні питання розробки функціональних схем автоматизованого управління технологічними процесами основних відділень виробництва кальцинованої соди за аміачним способом із застосуванням сучасних контрольно-вимірювальних приладів та засобів автоматизації, зокрема мікропроцесорних контролерів.

Для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами».

Бобух А. А.

Б72 Автоматизированное управление технологическими процессами отрасли на примере производства кальцинированной соды по аммиачному способу: текст лекций / А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов. – Х. : Изд-во «Підручник НТУ “ХП”», 2015. – 88 с. – На рус. яз.

ISBN 978-617-687-045-6

Излагаются теоретические и практические вопросы разработки функциональных схем автоматизированного управления технологическими процессами основных отделений производства кальцинированной соды по аммиачному способу с применением современных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, в том числе микропроцессорных контроллеров.

Для студентов специальности «Автоматизированное управление технологическими процессами».

Ил. 8. Табл. 1. Библиогр.: 20 наим.

УДК 66-933.6:661.333(075)
ББК 32.965:35.20я7

© А. А. Бобух, А. М. Дзевочко, М. А. Подустов, 2015
ISBN 978-617-687-045-6 © Изд-во «Підручник НТУ “ХП”», 2015

Введение

Разработанный более 140 лет назад бельгийским инженером Э. Сольве [1, 2, 6] непрерывный производственный процесс получения кальцинированной соды по аммиачному способу и удачное его аппаратное оформление практически не претерпели существенных изменений. Несмотря на то, что за эти годы предпринимались многочисленные попытки повышения удельной производительности аппаратуры, модернизации технологии и сокращения отходов, однако до конца XX столетия эти попытки практически не дали положительных результатов. Аммиачный способ получения кальцинированной соды продолжает оставаться основным, хотя в настоящее время в мире производство соды базируется ещё на трёх способах её получения: из природной соды (троны), из нефелинов и карбонизацией гидроксида натрия [6].

В то же время современные информационные технологии позволяют формально рассматривать основные принципы автоматизированного управления технологическими процессами производства кальцинированной соды по аммиачному способу с целью экономии энергетических ресурсов и охраны окружающей среды. Под автоматизацией понимают сферу науки и техники, которая на основе теории автоматического управления осуществляет разработку теоретических методов и технических средств, которые обеспечивают решение задач исследования, изготовления и эксплуатации отдельных объектов автоматизации. Технологическое оборудование, в котором возникает необходимость обеспечения определенного процесса или его коррекции путем выдачи управляющих воздействий, называют технологическими процессами. Управление такими процессами осуществляется путем поддержания управляемых параметров на заданном уровне или целеустремленное их изменение в соответствии с законами или критериями управления.

С точки зрения информационной технологии термин «автоматизация» включает следующие основные понятия:

- системы автоматического контроля параметров технологического процесса, выполняющие контроль текущих значений (например, температуры, давления, расхода и тому подобное), и технологической сигнализации при отклонении их от норм технологического регламента с представлением оптической или акустической сигнализации;
- системы автоматической защиты (обеспечивающие защиту технологического оборудования от угрозы аварии) и блокировки (не допус-

кающие выполнения ошибочных команд обслуживающего персонала);

- системы дистанционного (ручного) управления, обеспечивающие обслуживающему персоналу возможность управлять технологическими механизмами и оборудованием с помощью устройств автоматизации;

- системы автоматического управления, обеспечивающие желаемые изменения в ходе технологического процесса с помощью соответствующих устройств автоматизации без участия обслуживающего персонала по заданным законам управления;

- автоматизированные системы управления (АСУ), обеспечивающие изменения в ходе технологического процесса с помощью средств вычислительной (в частности, микропроцессорной) техники и математических моделей объекта управления по заданным законам и/или критериям управления.

Автоматизированное управление технологическими процессами (АУТП) отрасли на примере производства кальцинированной соды по аммиачному способу является более высоким уровнем АСУ.

Текст лекций рассчитан на 16 занятий, в каждом из которых рассматриваются конкретные вопросы разработки функциональных схем (ФС) АУТП отрасли на примере производства кальцинированной соды по аммиачному способу, которые указаны в начале каждой лекции.

Лекционный материал имеет необходимые иллюстрации, которые упрощают восприятие информации студентами. Для удобства студентов при подготовке к текущему модульному контролю, представлены вопросы для самоподготовки.

Условные сокращения

АБ – абсорбер.

АУТП – автоматизированное управление технологическими процессами.

ВФЛ – вакуум-фильтр барабанный.

ГИ – гаситель извести.

ДС – дистиллер фильтровой жидкости.

ДСЖ – дистиллер слабой жидкости.

ИОП – известково-обжигательная печь.

ИС-1 (ИС-2) – испаритель первый (второй) отделения дистилляции.

КЛ – карбонизационная колонна.

КЛПК – колонна предварительной карбонизации.

КХДС – конденсатор-холодильник колонны дистилляции.

КХДСЖ – конденсатор-холодильник колонны дистилляции слабой жидкости.

ПВФЛ – промыватель воздуха фильтров.

ПГАБ – промыватель газа отделения абсорбции.

ПГК – промыватель газа кальцинации.

ПГКЛ-1 – промыватель газа колонн первый (отделение карбонизации).

ПГКЛ-2 – промыватель газа колонн второй (отделение абсорбции).

ПК – паровой вращающийся кальцинатор.

РОУ – редуционная охлаждающая установка пара в ПК.

САР – сборник аммонизированного рассола.

СДЖ – сборник дегазованной жидкости.

СОР – сборник очищенного рассола.

ССЖ – сборник слабой жидкости.

ССР – сборник сырого рассола.

СФЖ – сборник фильтровой жидкости.

СМ – смеситель известковой суспензии и жидкости перед подачей в ДС.

ТДС – теплообменник дистилляции.

ФСАУТП – функциональная схема автоматизированного управления технологическими процессами.

Л е к ц и я 1
Производство кальцинированной соды
как объект автоматизированного управления
технологическими процессами отрасли

1. Технико-экономические оценки технологического процесса производства кальцинированной соды по аммиачному способу

2. Описание принципиальной схемы производства кальцинированной соды как объекта автоматизированного управления технологическими процессами отрасли

3. Краткие рекомендации по разработке функциональных схем автоматизированного управления технологическими процессами производства кальцинированной соды

Производство кальцинированной соды по аммиачному способу [1–6] включает следующие отделения (под «отделением» подразумевают группу аппаратов, связанных общностью происходящих в них процессов и соответствующих сборников для хранения сырья):

- получение карбонатного сырья: вскрыша, взрывные работы, добыча, дробление, сортировка сырья и транспортирование;
- переработка карбонатного сырья: обжиг, охлаждение и очистка диоксида углерода, гашение извести с получением известковой суспензии;
- очистка хлорида натрия (рассола): взаимодействие сырого рассола с реагентами в реакторах и отстой его для получения очищенного рассола;
- абсорбция: отмывка в промывателях газов (выделяющихся на других отделениях) от аммиака, насыщение раствора хлорида натрия (очищенного рассола) аммиаком и частично диоксидом углерода, охлаждение аммонизированного рассола;
- карбонизация: отмывка от аммиака газа, покидающего стадию карбонизации (сопровождается также улавливанием небольших количеств диоксида углерода), предварительная карбонизация, карбонизация с выделением гидрокарбоната натрия (гидрокарбонатной суспензии) в карбонизационных рабочих колоннах, компримирование (перед подачей в карбонизационные рабочие колонны) диоксида углерода, поступающего с отделений обжига карбонатного сырья и кальцинации;
- компримирование: сжатие газа, содержащего диоксид углерода; создание вакуума, необходимого для работы барабанных вакуум-фильтров и аппаратов абсорбции; подача воздуха для технологических нужд;

- **фильтрация:** разделение гидрокарбонатной суспензии на вакуум-фильтрах с получением фильтровой жидкости, влажного гидрокарбоната натрия и отсос воздуха вакуум-насосами;
- **кальцинация:** обезвоживание и разложение сырого гидрокарбоната натрия в содовых печах или паровых кальцинаторах, охлаждение и очистка диоксида углерода после них;
- **дистилляция:** предварительный подогрев и диссоциация содержащихся в фильтровой жидкости карбонатов и гидрокарбонатов аммония, смешение и взаимодействие нагретой жидкости с известковой суспензией и отгонка аммиака и диоксида углерода.

1. Техничко-экономические оценки технологического процесса производства кальцинированной соды по аммиачному способу

Основные технико-экономические показатели производства соды по аммиачному способу характеризуются следующими данными [6]:

1. На получение 1 т кальцинированной соды (Na_2CO_3) расходуется:

- **рассол, м³:**
 - сырой 5,13;
 - очищенный (310 г/л) 5,08;
 - в пересчете на 100 %-й NaCl, кг 1590;
- **известь (85 %-ая CaO), кг 734,4;**
 - в том числе на очистку от солей магния 4,4;
- **кальцинированная сода (Na_2CO_3) на очистку от солей Ca, кг 22;**
- **аммиачная вода (25,5 %-й аммиак (NH_3)), кг 10;**
- **гидросульфид натрия (NaHS), кг 3.**

В производстве соды кальцинированной на 1 т собственно продукта приходится около 9,1 м³ хлоридных стоков (суспензии дистилляции).

Общий материальный индекс на 1 т продукции в пересчете на твердые соединения составляет 4,7 т.

2. Энергетические затраты (удельный расход на 1 т соды):

- **топливо (кокс), кг:**
 - на кальцинацию гидрокарбоната натрия 129;
 - на получение извести (CaO) 94;
- **пар, ГДж (Гкал) 5,35 (1,28);**
- **электроэнергия, МДж (кВт/ч) 220 (61);**
- **вода, м³ 150.**

3. Общая сумма затрат на 1 т соды кальцинированной (Na_2CO_3) по отделениям производства (%):

• абсорбция	10;	компрессоры	5,3;
• карбонизация	6,5;	кальцинация	18,9;
• дистилляция	50,3;	затаривание	7,2;
• фильтрация	1,8;	Σ	100.

4. Структура себестоимости кальцинированной соды характеризуется данными (%):

• сырьё и материалы	39,2;
• энергозатраты	32,9;
• расходы на эксплуатацию и содержание оборудования	17,8;
• прочие расходы (заводские и цеховые)	10,1

5. Основное сырьё в производстве соды кальцинированной:

- хлорид натрия (NaCl), примерный состав (% , масс.): NaCl 97,63; CaSO_4 1,7; MgSO_4 0,6; $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ 0,07;

- карбонат кальция (CaCO_3), примерный состав известняка и мела (% , масс.): CaCO_3 92–96, 83–88; MgCO_3 2–2,1, 0,6–1; SiO_2 0,5–3,5, 1,2–2,0; CaSO_4 0,3–0,5, 0,1–0,3; $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3$ 0,3–0,6, 0,2–0,4 соответственно;

- аммиачная вода: водный 25 %-й раствор аммиака (NH_3), в её составе не более 80 (г/л) диоксида углерода;

- гидросульфид натрия (NaHS): применяется для предотвращения коррозии аппаратуры, не более 10 кг/т соды.

6. В производстве кальцинированной соды применяется внесистемная единица измерения концентрации – «нормальное деление» (н.д.) [1, 2, 6]. Одно нормальное деление (н.д.) соответствует 1/20 экв. вещества в 1 л раствора. Кроме того, применяются понятия: прямой титр раствора, общий и связанный аммиак. Прямой титр (общая щелочность) раствора определяется титрованием пробы жидкости, содержащей карбонатные соли натрия и аммиака, а также аммиак в виде NH_4OH , нормальным раствором соляной или серной кислоты в присутствии индикатора (метилоранжа) до окрашивания пробы в розовый цвет, при этом результаты анализа выражаются в н.д. Аммиак, входящий в состав хлорида аммония и сульфата аммония (связанный аммиак), не определяется прямым титрованием. Общее количество аммиака в растворе, куда входят все аммиачные соединения, определяется формальдегидным методом, а связанный аммиак – по разности между общим содержанием аммиака и прямым титром, выражается также в н.д.

2. Описание принципиальной схемы производства кальцинированной соды как объекта автоматизированного управления технологическими процессами отрасли

Принципиальная схема производства соды по аммиачному способу [1, 2, 6] с детализацией до основных отделений приведена на рис.1.

Раствор хлорида натрия (сырой рассол (28.1)) из буровых скважин подают в отделение очистки рассола (1) и далее на очистку. Отделение очистки рассола (1) подробно рассмотрено в лекции 6, состоит из 12 аппаратов (1–12), сырой рассол от примесей очищают известково-содовым способом.

При обработке сырого рассола (28.1) известковой суспензией (33.3) (из гашения (7)) и содовым раствором (32.1) (из кальцинации (5.26)), осаждаются его примеси – кальциевые и магниевые соли – и в виде шлама (36) выводятся для переработки. Очищенный рассол (28.2) направляется на абсорбцию (2).

Отделение абсорбции (2) подробно рассмотрено в лекции 3, состоит из 7 аппаратов (1–7). Очищенный рассол (28.2) насыщается поступающими: парогазовой смесью (2;10;11) из дистилляции (6); парогазовой смесью (2;10.5) из карбонизации (3) и смесью воздуха и газа (3;11) из фильтрования (4), при необходимости добавляют аммиак (11). Приготовленный аммонизированный рассол (28.3) после охлаждения двумя потоками воды (1.3.1 и 1.3.3 входы, 1.3.2 и 1.3.4 выходы) направляется на карбонизацию (3).

Отделение карбонизации (3) подробно рассмотрено в лекции 4, состоит из серий аппаратов, каждая – по 8 аппаратов (на рис. 4 показано 5 из них (1–5)). Рассол (28.3) взаимодействует с диоксидом углерода (10.8), нагнетаемым компрессорами из отделений: обжига карбонатного сырья (7), этот газ разделяется на три части, одна из них (10.3) подается в колонну предварительной карбонизации (1); вторая – в виде газа второго ввода (10.2) подается в среднюю часть карбонизационной колонны (КЛ) (5); а третья (после смешения с диоксидом углерода (10.7) из кальцинации (5.22)) – в виде газа первого ввода (10.1) подается в нижнюю часть КЛ (5). При карбонизации (3) образуется гидрокарбонат натрия, выпадающий из раствора в осадок (гидрокарбонатная суспензия (30)). Для обеспечения температурного режима карбонизации (3) в аппараты подают воду двумя потоками (1.4.1 и 1.4.3 входы, 1.4.2 и 1.4.4 выходы). Из карбонизации (3) гидрокарбонатная суспензия (30) самотеком направляется на фильтрование (4).

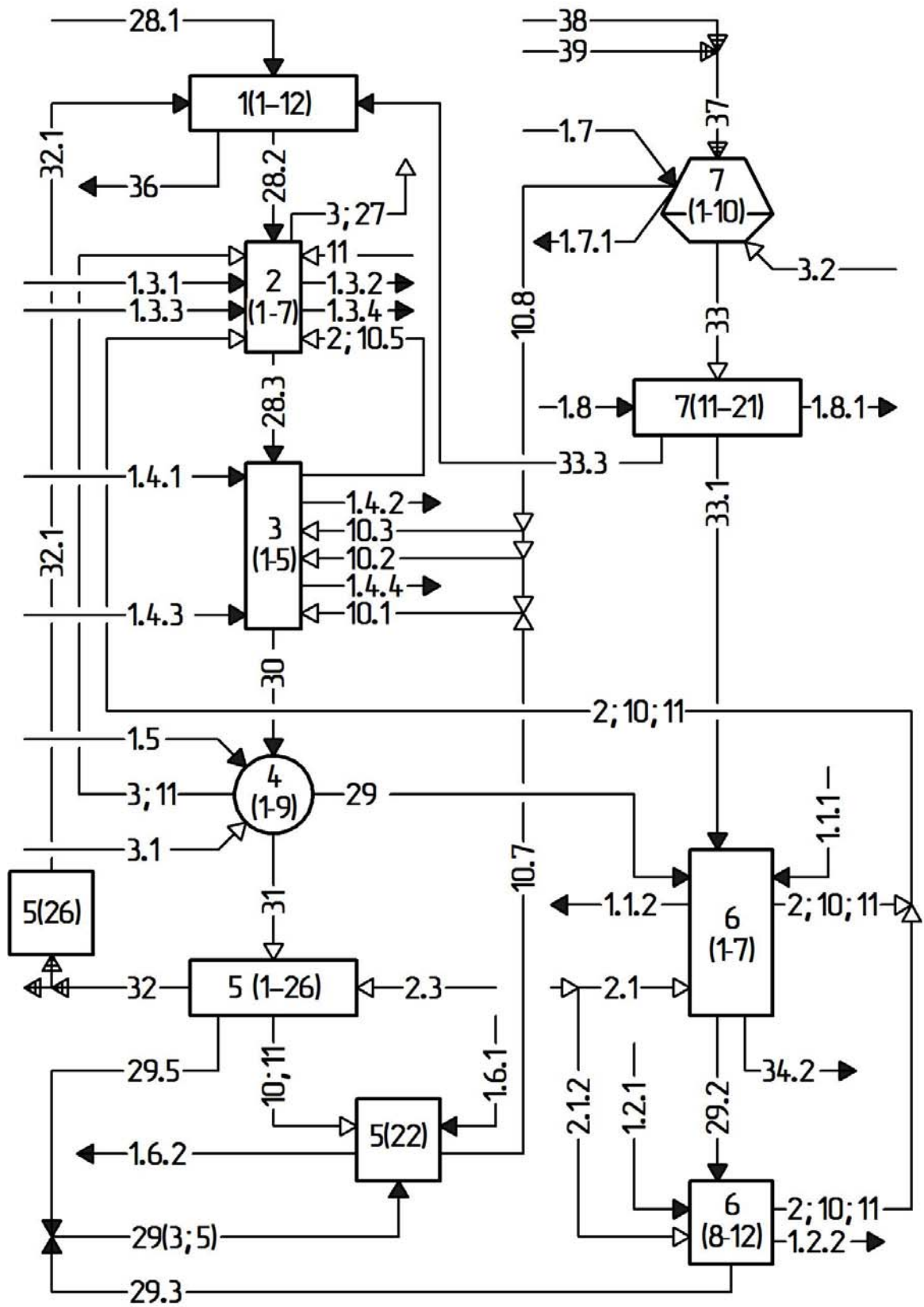


Рисунок 1 – Принципиальная схема производства кальцинированной соды по аммиачному способу с детализацией до отделения

Отделение фильтрования (4) подробно рассмотрено в лекции 5, состоит из 9 аппаратов (1–9). На барабанных вакуум-фильтрах (ВФЛ) (2) происходит отделение кристаллов гидрокарбоната натрия с помощью вакуум-насосов, промывка их водой (1.5), сушка кристаллов и продувка ткани сжатым воздухом (3.1). Фильтровая жидкость (маточная жидкость и промывная вода) (29) подается на дистилляцию (6), а влажный гидрокарбонат натрия (31) поступает на кальцинацию (5).

Отделение кальцинации (5) подробно рассмотрено в лекции 7, состоит из 25 аппаратов (1–25). Во вращающемся паровом кальцинаторе (ПК) (1) влажный гидрокарбонат натрия (31) разлагается паром (2.3) с образованием кальцинированной соды (32) и диоксида углерода (10.7), а конденсат (29.5) из ПК (1) поступает в промыватель газа кальцинации (ПГК) (5.22). Сода (32) направляется на склад, кроме того, из неё готовят содовый раствор (32.1) для отделения очистки рассола (1). Диоксид углерода (10.7) после охлаждения и промывки в ПГК (5.22) компримируется и подается на карбонизацию (3).

Отделение дистилляции (6) подробно рассмотрено в лекции 2, состоит из 12 аппаратов (1–12), причем условно его разделяют на: основную дистилляцию (аппараты (1–7)) и – слабых жидкостей (аппараты (8–12)). Из фильтровой жидкости (29) отгоняют диоксид углерода, а затем аммиак, при помощи острого пара (2.1), для разложения хлорида аммония жидкость смешивают с известковой суспензией (33.1). Образовавшийся парогазовый поток (2;10;11), после охлаждения водой (1.1.1 на входе и 1.1.2 на выходе), поступает на абсорбцию (2), а суспензию дистилляции (34.2) сбрасывают в специальные отстойники. Потoki слабых жидкостей (29.2), образующиеся при охлаждении газов дистилляции и других отделений (на рис. 1 не показаны) поступают на дистилляцию слабых жидкостей (6), аппараты (8–12). Здесь парогазовая смесь (2;10;11) десорбируется паром (2.1.2), охлаждается водой (1.2.1 на входе и 1.2.2 на выходе) и соединяется с общим потоком (2;10;11), направляемым на абсорбцию (2). Жидкости (29.3), соединяясь с конденсатом (29.5) после кальцинации (5), поступают в ПГК (5.22) для промывки и вновь используются (на рис. 1 не показаны).

Отделения обжига карбоната кальция и гашения извести (7) подробно рассмотрены в лекции 8, они состоят из 21 аппарата ((1–10) первое и (11–21) второе отделения соответственно). Известковую суспензию (33.1), подаваемую на дистилляцию (6), получают гашением извести (33) нагретой водой (часть воды (1.8) на входе, (1.8.1) на выходе) в отделении гашения (7). Известь (33) поступает из отделения (7) обжига шихты (37)

(смесь известняка (38) и кокса (39)) при непрерывной подаче воздуха (3.2), а также воды ((1.7) на входе, (1.7.1) на выходе) для очистки и охлаждения диоксида углерода (10.8), который подается на карбонизацию (3).

Изложенное позволяет считать производство кальцинированной соды по аммиачному способу состоящим из сложных процессов и аппаратов химической технологии [7, 8] и рассматривать его как объект, для которого необходимо разрабатывать функциональные схемы автоматизированного управления технологическими процессами (ФСАУТП) основных отделений, способствующих повышению эффективности эксплуатации как указанных отделений, так и производства кальцинированной соды в целом, но сначала рассмотрим краткие рекомендации по разработке указанных схем.

3. Краткие рекомендации по разработке функциональных схем автоматизированного управления технологическими процессами производства кальцинированной соды

Для автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) основных отделений производства соды по аммиачному способу необходимо рассмотреть разработку функциональной схемы такого управления (ФСАУТП) адресным методом [9–12] по одинаковой методике, которая предусматривает:

- краткое описание технологического процесса отделения с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций;
- описание всех функций, необходимых для реализации АУТП;
- обоснование выбора современных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации (КИП и СА), в том числе микропроцессорного контроллера (МПК) для реализации описанных функций;
- описание названий АУТП конкретного отделения;
- выводы о целесообразности разработки АУТП.

Обоснование выбора современных КИП и СА, в том числе МПК, для реализации разработанных ФСАУТП.

Современной промышленностью серийно выпускается большое количество КИП и СА, в том числе МПК [9–15], различающихся своими возможностями и эксплуатационными характеристиками, а также – программных средств [16, 17]. Рассмотрим кратко технические характеристики одного из МПК, который целесообразно применять при разработке

АУТП основных отделений производства соды. Это МПК типа РЕМИКОНТ Р-2000 [12], который является компактным, многоканальным, многофункциональным, высокопроизводительным контроллером и эффективно реализует как относительно простые, так и сложные задачи управления, из которых приведем необходимые при разработке ФСАУТП:

- автоматический сбор информации с первичных (ПП) и/или передающих (ПрП), а также – первично-передающих (ПП/ПрП) преобразователей с унифицированными выходными сигналами разных типов (0–5мА, 0–20мА, 4–20 мА), а также дискретных сигналов («0»: 0–7 В; «1»: 18–30 В), и ее первичная обработка по алгоритмам: фильтрации сигналов, линеаризации характеристик преобразователей, преобразование сигналов в физические единицы измерения параметров, объединенных в алгоритм «автоматический контроль» соответствующих параметров;
- автоматический контроль параметров в случае выхода их за нормы технологического регламента по алгоритму «технологическая сигнализация»;
- расчет и выдача управляющих воздействий по заданным законам и/или критериям управления на исполнительные механизмы различных типов по аналогичному алгоритму;
- автоматический пуск/останов электродвигателей различного оборудования или изменения числа их оборотов;
- логическое и программно-логическое управление технологическими агрегатами;
- математическая обработка информации по различным алгоритмам, в том числе – счетчиков и таймеров;
- вывод информации о техническом состоянии МПК обслуживающему персоналу.

Выполнение указанных и других алгоритмов обеспечивается аппаратными, программными и языковыми средствами МПК.

В состав МПК РЕМИКОНТ Р-2000 входят: центральный микропроцессорный блок контроллера – процессор; устройства связи с объектом управления; блоки усилителей и переключателей сигналов; блоки расширения и преобразования интерфейса; блоки питания и межблочные соединители (ОШ). В памяти МПК РЕМИКОНТ Р-2000 хранится 256 алгоритмов. Разрядность данных, которые обрабатываются процессором: 8, 16, 32. Производительность процессора до 5 млн. операций в секунду.

Общее количество входных аналоговых унифицированных сигналов постоянного тока 4–20 мА – 170; выходных (управляющих воздействий) – 50; дискретных входов – 176, дискретных выходов (управляющих воздействий) – 176.

Конструктивно РЕМИКОНТ Р-2000 представляет собой многоплатный контроллер, который выполнен в стандарте 19" (стандарт МЭК 297, высота 4U). Центральный процессор выполнен на базе одноплатной микро-ЭВМ фирмы ACROSSER и имеет процессор 80386/40 МГц, ОЗУ – 2 МБайт, флэш-диск от 0,5 до 1,5 МБайт, диапазон рабочих температур 0–60 °С, средняя наработка на отказ составляет 200000 часов. На флэш-диске установлена MS DOS 6.22 и универсальный загрузчик программ, которые нужно выполнять. МПК РЕМИКОНТ Р-2000 работает в сети RS-485. Количество участников сети 256 (компьютеров и контроллеров), максимальная длина сети 1000 м.

Штатным пакетом для разработки и проверки прикладных программ для МПК РЕМИКОНТ Р-2000 является пакет прикладного программного обеспечения (ПО) ULTRA-LOGIK, который позволяет выполнять разработку прикладного ПО на языке функциональных блоков и проверку прикладного ПО в реальном времени. Для подключения МПК РЕМИКОНТ Р-2000 в систему SCADA в пакете ПО контроллера есть стандартные DDE и OPC серверы. Выпускается МПК РЕМИКОНТ Р-2000 ПО «Знамя», г. Полтава.

МПК по алгоритму «контроль» соответствующих параметров (температуры, давления, расхода и других) преобразовывает сигналы в значения этих параметров (температуры (°С), давления (МПа), расхода (м³/ч) и других) и выдает их на лицевую панель МПК. В случае выхода параметров за нормы технологического регламента, МПК по алгоритму «технологическая сигнализация», выполняет эту функцию и сигнализирует о случившемся световой и/или звуковой сигнализацией. При этом по алгоритму «расчет и выдача управляющих воздействий», МПК рассчитывает управляющие воздействия по заданным законам и/или критериям управления и выдает их на соответствующие исполнительные механизмы (ИМ).

Для автоматического контроля температуры: от –50 до 200 °С в качестве ПП/ПрП целесообразно применять термопреобразователи сопротивления медные типа КВАНТ ДТ.1 [12, 13]; от –200 до 600 °С – термопреобразователи сопротивления платиновые типа ТСПУ-0288 [10–14]; от –20 до 1300 °С – термоэлектрические платинородиевые-платиновые

преобразователи типа ТППУ-0288 [10–14], все эти ПП/ПрП с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА, пропорциональными измеряемым температурам, поступающими на соответствующие входы МПК.

Для автоматического контроля давлений [12]: избыточного – от 40 кПа до 100 МПа, перепада (разности) – от 0,06 кПа до 16 МПа, абсолютного – от 2,5 кПа до 16 МПа, вакуумметрического – от 0,06 до 100 кПа, гидростатического – от 2,5 кПа до 250 кПа, «малых» значений избыточного и вакуумметрического – от $\pm 0,125$ кПа до ± 4 кПа в качестве ПрП целесообразно применять измерительные тензорезисторные преобразователи вышеназванных давлений с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА типа: КВАНТ ДИ.11, КВАНТ ДД.12, КВАНТ ДА.13, КВАНТ ДВ.14, КВАНТ ДГ.15, КВАНТ ДИВ.16 соответственно, сигналы от которых поступают на соответствующие входы МПК.

В качестве ПП необходимо применять для автоматического контроля: расхода жидкостных потоков диафрагму камерную с фланцевым способом отбора перепада давления на ней типа ДК-0,6 [10–14], уровня жидкости – отборное устройство гидростатического давления типа ОУДГ (принцип действия основан на измерении столба жидкости и атмосферного давления, а перепад этих давлений, пропорциональный уровню) [11, 12], сигналы от указанных ПП поступают на ПрП – измерительные тензорезисторные преобразователи перепада давлений с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА типа: для расхода КВАНТ ДД.12 и для уровня КВАНТ ДГ.15, сигналы от которых поступают на соответствующие входы МПК. (Изготовитель приборов серии КВАНТ НПФ «Агат-1», г. Харьков).

Для автоматического контроля расхода сыпучих материалов на участках их свободного падения целесообразно применять расходомер массовый типа MaxxFlow с температурой контролируемого вещества до 80 °С и расходомер массовый типа SolidFlow с температурой контролируемого вещества до 200 °С. Эти расходомеры сыпучих материалов работают по принципу микроволновых (радиочастотных) преобразователей расхода. Внутри преобразователей отсутствуют выступающие части или углубления, что предотвращает образование заторов. Оба расходомера для контроля расхода до 20 т/ч, являются ПП/ПрП с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА, пропорциональными

измеряемым расходам, поступающими на соответствующие входы МПК. Изготовитель приборов компания SWR (Германия); электронный адрес: www.swr-engineering.com .

Для автоматического контроля величины рН жидкости в качестве ПП целесообразно применять автоматический рН-метр типа рН-261 [13], сигналы от которого поступают на ПрП – нормирующие преобразователи с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА, пропорциональными измеряемой величине рН типа Ш-703, сигналы от них поступают на соответствующие входы МПК.

Для автоматического контроля концентрации диоксида углерода с температурой от –40 до 50 °С целесообразно применять автоматический газоанализатор типа ОКА, это ПП/ПрП с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4–20 мА, пропорциональными измеряемой концентрации диоксида углерода, поступающими на соответствующие входы МПК. (Изготовитель приборов ИКЦ КИП Комплект, Уфа).

Для осуществления пуска/останова электродвигателей и изменения числа их оборотов в качестве ИМ применяются электромагнитные пускатели типа ПМЕ в комплекте, а для изменения расхода материальных потоков в качестве ИМ применяются однооборотные электродвигатели типа МЭО-1 с тормозом, механически соединенные с регулирующими органами [14, 15].

Условное изображение на рисунках всех фрагментов ФСАУТП функций, которые реализованы МПК, показано окружностями (диаметр 2 мм), а обозначение параметров автоматических: контроля – буквой «К», технологической сигнализации – буквой «С», расчета и выдачи управляющих воздействий на соответствующие ИМ – буквой «У».

Л е к ц и я 2

Автоматизированное управление технологическими процессами дистилляции

1. Физико-химические основы регенерации аммиака и диоксида углерода из фильтровой жидкости

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения дистилляции

Процесс регенерации аммиака (NH_3) и диоксида углерода (CO_2), содержащихся в фильтровой жидкости (маточная жидкость и промывная вода на ВФЛ из отделения фильтрования) в виде растворенных солей хлорида (NaCl) и гидрокарбоната (NaHCO_3) натрия, а также карбоната ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) и гидрокарбоната (NH_4HCO_3) аммония, называют дистилляцией [1–4, 6]. Поэтому основным назначением отделения дистилляции производства соды является практически полная отгонка аммиака и диоксида углерода из фильтровой жидкости и формирование непрерывного материального потока парогазовой смеси, направляемой на абсорбцию со следующими показателями:

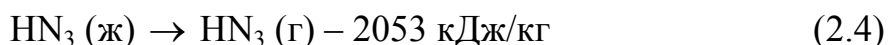
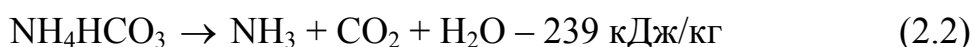
- содержание, % (масс):
 - аммиака (NH_3) 51–53;
 - диоксида углерода (CO_2) 26–28;
- температура, °С 58–60.

В отделении дистилляции кроме фильтровой жидкости (около 80 % нагрузки отделения) перерабатываются также все жидкости, образующиеся в результате промывки газов и аппаратов, которые называют слабыми.

1. Физико-химические основы регенерации аммиака и диоксида углерода из фильтровой жидкости

В отделении дистилляции протекают реакции разложения карбонатных солей аммония за счет нагревания растворов и реакции разложения связанного аммиака при взаимодействии его с известковой суспензией. Образующийся диоксид углерода и аммиак удаляют отгонкой из растворов при нагревании. Процесс дистилляции аммиака и диоксида углерода из фильтровой жидкости осуществляется в колонне, состоящей из конденсатора-холодильника газа дистилляции (КХДС), теплообменника дистилляции (ТДС) и дистиллера (ДС). Жидкости дистилляции нагревают паром.

Фильтровая жидкость из отделения фильтрования при температуре 25–30 °С подается в КХДС, где нагревается и при температуре 35–40 °С начинается разложение гидрокарбоната аммония и выделение диоксида углерода. При нагревании этой жидкости до 65–70 °С начинает диссоциировать карбонат аммония. Жидкость после КХДС при температуре 70–78 °С поступает в ТДС, где температура жидкостного потока повышается до 90 °С, разложение карбоната аммония резко ускоряется. При подогреве жидкости до температуры кипения, почти весь диоксид углерода десорбируется. В КХДС и ТДС протекают следующие реакции [6]:



Жидкость из ТДС направляется в смеситель (реактор с мешалкой), сюда же при температуре 90 °С поступает известковая суспензия. (из отделения гашения извести), содержащая 200–220 н.д. (СаО). Пар, подаваемый в нижнюю часть ДС, проходит противотоком указанные выше аппараты, а парогазовая смесь после ДС поступает в СМ. В результате чего в СМ осуществляется процесс регенерации аммиака из хлорида аммония:



Образующийся при этом свободный аммиак выделяется в парогазовую смесь и поступает в ТДС и далее – в КХДС, а суспензия – в ДС.

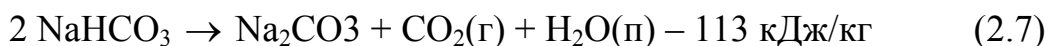
Из всех побочных реакций, протекающих в СМ и ДС, нежелательной является образование гипса, который отлагается на внутренней поверхности аппаратов и трубопроводов:



Наличие инкрустаций (гипсовой корки) в ДС зависит как от условий образования сульфата кальция (CaSO_4), так и от аппаратного оформления процесса дистилляции. В диапазоне температур, наблюдаемых в ДС, сульфат кальция образует две кристаллические модификации: ниже 93 °С – двухводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), выше 93 °С – полуводный ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Режим работы при температуре выше 93 °С называют

«горячим», ниже 93 °С – «холодным». Распространение получил «горячий» режим работы ДС, при котором значительно меньшая скорость роста инкрустаций (гипсовой корки).

Кроме фильтровой жидкости в отделение дистилляции поступает некоторое количество слабой жидкости, содержащей в растворенном виде гидрокарбонат (NaHCO₃) и карбонат (Na₂CO₃) натрия. При подогреве гидрокарбонат натрия (NaHCO₃) диссоциирует с выделением газообразного CO₂:



Карбонат натрия (Na₂CO₃) реагирует с хлоридом аммония (NH₄Cl):



Процессы, проходящие в аппаратуре дистилляции и дистилляции слабых жидкостей, взаимосвязаны, поэтому они рассматриваются в составе единого технологического процесса отделения дистилляции.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения дистилляции

Краткое описание технологического процесса отделения дистилляции с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделения дистилляции производства соды разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 2).

Отделение дистилляции состоит: из конденсатора-холодильника газа дистилляции (КХДС) (1), теплообменника дистилляции (ТДС) (2), дистиллера (ДС) (3), смесителя (реактора с мешалкой) (СМ) (4), первого испарителя (ИС-1) (5), второго испарителя (ИС-2) (6) и пароструйного эжектора (7).

Фильтровая жидкость (29) поступает в КХДС (1) – вертикальный аппарат прямоугольного сечения 2,9×2,2 м (по фланцам) высотой 15,7 м, состоящий из конденсаторной и холодильной частей. Конденсаторная часть состоит из четырёх отдельных корпусов (царг), холодильная – из двух. В каждом корпусе установлены по три секции. Переток жидкости из верхних секций в нижние осуществляется при помощи внешних штуцеров. Парогазовая смесь поступает через штуцер и переходит из конденсаторной части в холодильную через патрубки. Фильтровая жидкость (29) поступает в конденсаторную верхнюю часть каждой царги, выходит из её нижней части и переходит в следующую царгу.

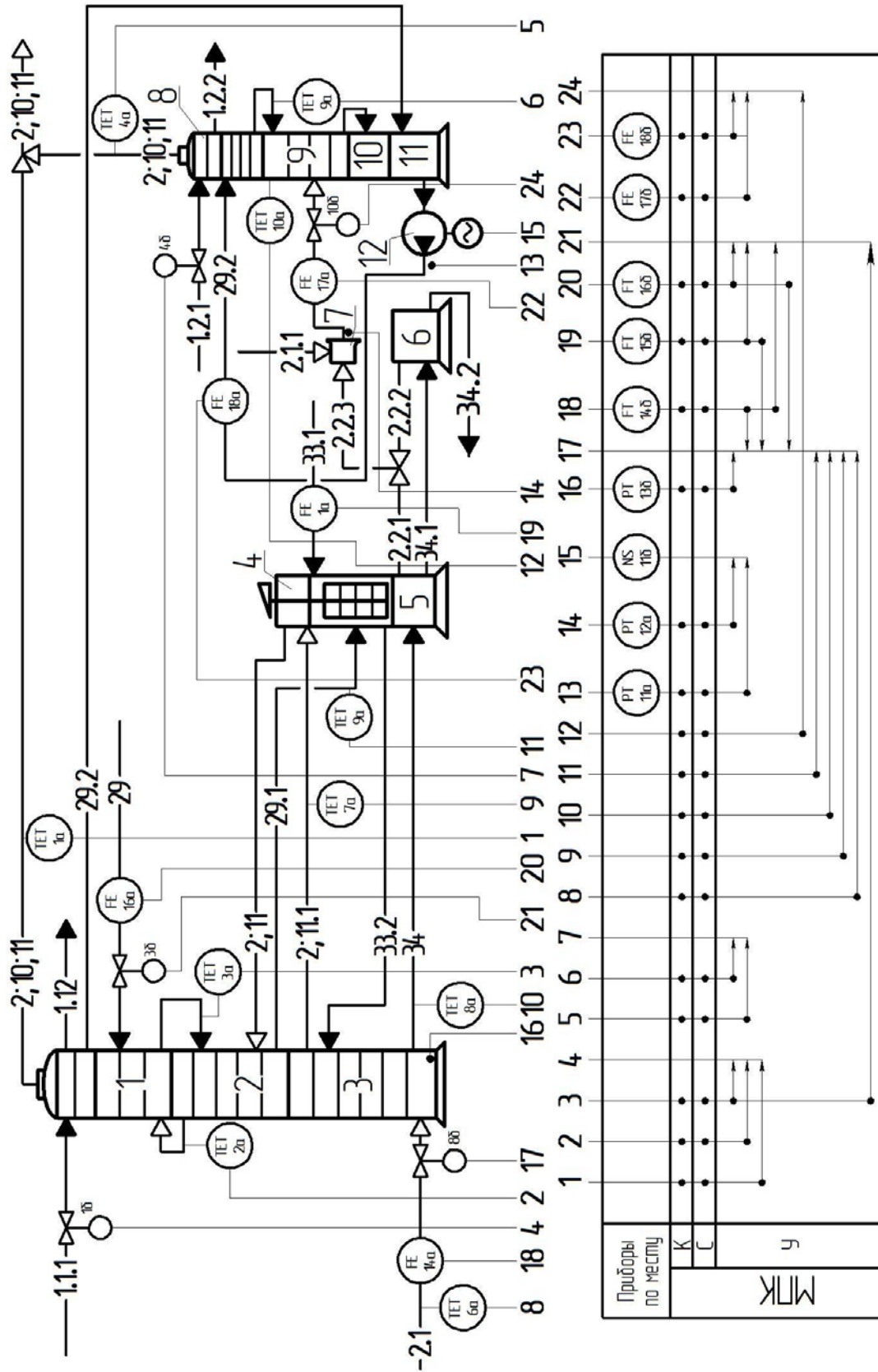


Рисунок 2 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения дистилляции

Диоксид углерода (10), выделяющийся из жидкости, по специальным коммуникациям отводится из верхней части каждой царги и по стяжным трубам направляется в общий коллектор парогазовой смеси (2;10;11), направляемой на абсорбцию.

Жидкость после КХДС (1), нагретая до 70–78 °С, поступает в верхнюю царгу ТДС (2) – вертикальный аппарат высотой 15 м и диаметром 3,2 м, состоит из 14 чугунных царг, между которыми установлены контактные элементы. В ТДС (2) происходит разложение карбонатов аммония, содержащихся в жидкости, а образующийся диоксид углерода (10) практически полностью отгоняется. Из ТДС (2) поток жидкости (29.1), нагретый до 95–98 °С, направляется в СМ (4) – вертикальный стальной резервуар (реактор) диаметром 3,2 м и высотой 10,7 м, снабженный рамной мешалкой. Верхняя, не заполненная жидкостью, часть СМ (4) служит сепаратором брызг, поступающих с парогазовой смесью из ДС (3). Сюда же при 90 °С поступает известковая суспензия (33.1). Пребывание суспензии (33.1) в СМ (4) в течение 40–60 минут обеспечивает кристаллизацию гипса и позволяет увеличить пробег ДС (3) между чистками.

Из нижней части СМ (4) суспензия (33.2) поступает в верхнюю часть ДС (3) – вертикальный аппарат с внутренним диаметром 3,0 м и высотой 21,7 м, состоит из 22 чугунных царг. Пар (2.1) в ДС (3) поступает через колокол, к которому крепится специальный отбойник для защиты отверстий вывода суспензии (34) от прямого попадания пара. Парогазовые смеси (2;11.1 и 2;11) в аппаратах дистилляции движутся противотоком по отношению к жидкости, при этом парогазовая смесь (2;11.1), содержащая аммиак, из верхней царги ДС (3) поступает в сепарационное пространство СМ (4), из которого направляется в нижнюю царгу ТДС (2), и далее – в КХДС (1).

Суспензия (33.2) из СМ (4) поступает в ДС (3) и движется в нем сверху постепенно теряя аммиак (11) в результате контактирования с поднимающейся вверх парогазовой смесью. Окончательная регенерация аммиака (11) осуществляется паром (2.1) в ДС (3), из которого суспензия дистилляции (34) при температуре 108–115 °С поступает в ИС-1 (5), а из него – суспензия (34.1) – в ИС-2 (6). После ИС-2 суспензия дистилляции (34.2) направляется на песכולовку, где её разбавляют холодной водой и перекачивают в отстойник, так называемое «белое море» (на рис. 2 не показаны).

Пар после ИС-1 (2.2.1) и ИС-2 (2.2.2) (за счет самоиспарения жидкости при снижении давления), как вторичный пар (2.2.3), поступает в

пароструйный эжектор (7), на который подается пар (2.1.1) для создания давления, а после него пар (2.1.2) поступает в колонну дистилляции слабой жидкости (8–12). Эта колонна состоит из: конденсатора-холодильника дистилляции слабых жидкостей (КХДСЖ) (8), дистиллера слабой жидкости (ДСЖ) (9), сборника дегазованной жидкости (СДЖ) (10), сборника слабой жидкости (ССЖ) (11), а также насоса (12) с электродвигателем для перекачки этой жидкости.

Слабая жидкость (29.2), выделяющаяся в холодильной части КХДС (1), собирается в ССЖ (11). Из этого сборника насосом (12) с электродвигателем она подается в конденсаторную часть КХДСЖ (8) – вертикальный аппарат прямоугольного сечения $2,37 \times 3,03$ м и высотой 6,9 м, состоит из 3 царг. В холодильную часть КХДСЖ (8) подается вода (1.2.1) (на выходе 1.2.2). По конструкции и принципу действия КХДСЖ (8) аналогичен КХДС (1). Отличается он лишь тем, что слабая жидкость холодильной и конденсаторной частей аппарата, смешиваясь при температуре $73-77$ °С, поступают в верхнюю царгу ДСЖ (9).

ДСЖ (9) – вертикальный аппарат с внутренним диаметром 2 м и высотой 15,7 м, состоит из 15 царг, в нем происходит дистилляция аммиака (11) и диоксида углерода (10) из слабой жидкости паром (2.1.2), подаваемым пароструйным эжектором (7). Парогазовая смесь (2;10;11), прошедшая ДСЖ (9), а затем КХДСЖ (8), при $58-60$ °С направляется на абсорбцию (соединяясь с такой же смесью из КХДС (1)), дегазованная жидкость после ДСЖ (9) собирается в СДЖ (10), откуда её направляют в ПГК (на рис. не показан).

Поскольку процесс регенерации аммиака и диоксида углерода осуществляется при регламентных значениях температур жидкости, пара и парогазовых смесей, а основной составляющей себестоимости (50,3 %) кальцинированной соды является расход пара, поэтому в первую очередь рассматривается разработка фрагмента ФСАУТП для отделения дистилляции.

С учетом вышеизложенного для обеспечения регламентных значений температуры парогазовой смеси (2;10;11), поступающей на абсорбцию, необходимо реализовать автоматический контроль температуры указанной смеси после КХДС (1) и КХДСЖ (8) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода воды (1.1.1) в холодильную часть КХДС (1) с коррекцией по температурам: газа из ТДС (2) в КХДС (1) и жидкости из КХДС (1) в

ТДС (2), а также – изменением расхода воды (1.2.1) в холодильную часть КХДСЖ (8) с коррекцией по температуре жидкости из КХДСЖ (8) в ДСЖ (9).

Для обеспечения минимизации расхода пара (2.1) в ДС (3) необходимо реализовать автоматический контроль расхода пара (2.1) в ДС с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление расходом этого пара с коррекцией по: температурам – пара (2.1), парогазовой смеси (2;11.1) из ДС (3) в СМ (4), и жидкости (29.1) из ТДС (2) в СМ (4), суспензии дистилляции (34) из ДС (3) в ИС-1 (5); давлению – в нижней царге ДС (3) и расходам – известкой суспензии (33.1) в СМ (4) и фильтровой жидкости (29) в КХДС (1).

Для обеспечения стабильной работы насоса (12) подачи слабой жидкости (29.2) в КХДСЖ (8) необходимо реализовать автоматический контроль давления в напорном патрубке этого насоса с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим давлением изменением числа оборотов электродвигателя указанного насоса с коррекцией по давлению в напорном патрубке пароструйного эжектора (7).

Для обеспечения регламентного расхода фильтровой жидкости (29) в КХДС (1) необходимо реализовать автоматический контроль этого расхода с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление расходом этой жидкости с коррекцией по: температуре – жидкости из КХДС (1) в ТДС (2) и расходам – пара (2.1) в ДС (3) и известковой суспензии (33.1) в СМ (4).

Для обеспечения заданного соотношения расходов пара в ДСЖ (9) и слабой жидкости в КХДСЖ (8) необходимо реализовать автоматический контроль этих параметров с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление их соотношением изменением расхода пара с коррекцией по температуре парогазовой смеси в верхней части ДСЖ (9).

Реализацию разработанного АУТП как отделения дистилляции, так и других основных отделений производства соды, целесообразно выполнять при наличии соответствующих математических моделей [18–20].

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения дистилляции

Для фрагмента ФСАУТП необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль температуры парогазовой смеси из КХДС (1), поступающей на абсорбцию, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и вы-

дача управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода воды в холодильную часть КХДС (1) с коррекцией по температурам: газа из ТДС (2) в КХДС (1) и жидкости из КХДС (1) в ТДС (2);

- автоматический контроль температуры парогазовой смеси из КХДСЖ (8), поступающей на абсорбцию, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода воды в холодильную часть КХДСЖ (8) с коррекцией по температуре жидкости из него в ДСЖ (9);

- автоматический контроль расхода пара в ДС (3), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление расходом пара с коррекцией по: температурам пара в ДС, парогазовой смеси из ДС (3) в СМ (4), жидкости из ТДС (2) в СМ (4), суспензии дистилляции из ДС (3) в ИС-1 (5); давлению в нижней царге ДС (3); расходам известковой суспензии в СМ (4) и фильтровой жидкости в КХДС (1);

- автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса (12) подачи слабой жидкости в КХДСЖ (8), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этим давлением изменением числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по давлению в напорном патрубке пароструйного эжектора (7);

- автоматический контроль расхода фильтровой жидкости, поступающей в КХДС (1), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этим расходом с коррекцией по: температуре жидкости из КХДС (1) в ТДС (2); расходам пара в ДС (3) и известковой суспензии в СМ (4);

- автоматический контроль расходов пара в ДСЖ (9) и слабой жидкости в КХДСЖ (8), технологическая сигнализация в случае выхода их на нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление их соотношением изменением расхода пара с коррекцией по температуре парогазовой смеси в верхней части ДСЖ (9).

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3).

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделения дистилляции

Названия АУТП (здесь и далее) включают основные элементы, их позиции, типы КИП и СА (в том числе МПК) в порядке, как указаны функции.

1. АУТП – регламентным значением температуры парогазовой смеси из КХДС обеспечивается изменением расхода воды в холодильную часть КХДС с коррекцией по температурам газа из ТДС в КХДС и жидкости из КХДС в ТДС:

ПП/ПрП – поз. 1-а; 2-а; 3-а – КВАНТ ДТ.1;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 1-б – МЭО-1.

2. АУТП – регламентным значением температуры парогазовой смеси из КХДСЖ обеспечивается изменением расхода воды в холодильную часть КХДСЖ с коррекцией по температуре жидкости из него в ДСЖ:

ПП/ПрП – поз. 4-а; 5-а – КВАНТ ДТ.1;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 4-б – МЭО-1.

3. АУТП – минимизацией расхода пара в ДС обеспечивается изменением расхода этого пара с коррекцией по: температурам пара в ДС, парогазовой смеси из ДС в СМ, жидкости из ТДС в СМ и суспензии дистилляции из ДС в ИС-1; давлению в нижней царге ДС; расходам пара в ДС, известковой суспензии в СМ и фильтровой жидкости в КХДС:

ПП/ПрП – поз. 6-а; 7-а; 8-а; 9-а – КВАНТ ДТ.1;

ПрП – поз. 13-а – КВАНТ ДИ.1;

ПП – поз 14-а; 15-а; 16-а – ДК-0,6;

ПрП – поз. 14-б; 15-б; 16-б – КВАНТ ДД.12;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 8-б – МЭО-1.

4. АУТП – стабильной работой насоса подачи слабой жидкости в КХДСЖ обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по давлениям в напорных патрубках указанного насоса и пароструйного эжектора:

ПрП – поз. 11-а; 12-а – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 11-б – ПМЕ в комплекте.

5. АУТП – регламентным значением расхода фильтровой жидкости в КХДС обеспечивается изменением этого расхода с коррекцией по: тем-

пературе жидкости из КХДС в ТДС и расходам пара в ДС и известковой суспензии в СМ:

ПП/ПрП – поз. 3-а – КВАНТ ДТ.1;
ПП – поз 14-а; 15-а; 16-а – ДК-0,6;
ПрП – поз. 14-б; 15-б; 16-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз 3-б – МЭО-1.

6. АУТП – заданным соотношением расходов пара в ДСЖ и слабой жидкости в КХДСЖ обеспечивается изменением расхода пара с коррекцией по температуре парогазовой смеси в верхней части указанного дистиллера:

ПП/ПрП – поз. 10-а – КВАНТ ДТ.1;
ПП – поз. 17-а; 18-а – ДК-0,6;
ПрП – поз. 17-б; 18-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 10-б – МЭО-1.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения дистилляции производства кальцинированной соды по аммиачному способу позволяет уменьшить расход на 1 т соды: пара на 0,009 Гкал, извести на 0,08 кг, электроэнергии на 0,04 кВт/ч., а также способствует улучшению экологической обстановки в районе предприятия в результате практически полной регенерации аммиака и диоксида углерода из слабых жидкостей.

Л е к ц и я 3

Автоматизированное управление технологическими процессами абсорбции

1. *Физико-химические основы процесса абсорбции*
2. *Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения абсорбции*

Основное назначение отделения абсорбции состоит в получении регламентного количества аммонизированного рассола (28.3) в виде непрерывного материального потока [1, 2, 6], подаваемого на карбонизацию со следующими показателями:

- содержание, н.д.:
 - прямой титр аммиака 100–106,
 - хлорид-ионов не менее 89,
- температура, °С 28–32.

При этом одновременно отделение абсорбции должно обеспечить поглощение аммиака (11) из выхлопных газов производства соды с доведением концентрации аммиака в них до санитарных норм.

1. Физико-химические основы процесса абсорбции

Для насыщения очищенного рассола применяют парогазовую смесь (2;10;11), поступающую из дистилляции и содержащую пары воды, аммиак и диоксид углерода. Уменьшение количества паров воды позволяет увеличить концентрацию аммиака и хлорида натрия в рассоле, поэтому для отделения дистилляции и предусмотрена АУТП – регламентным значением температуры парогазовой смеси (2;10;11), поступающей на абсорбцию. Эта температура должна быть не ниже 58 °С, так как дальнейшее её снижение вызывает в трубопроводах и аппаратах кристаллизацию карбонатов аммония NH_4HCO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

Парогазовая смесь (2;10;11) из дистилляции обычно содержит 52 % (масс.) аммиака (NH_3) (11), 25 % (масс.) диоксида углерода (CO_2) (10), остальное пары воды (2) и имеет температуру 60 °С. Аммиак хорошо растворяется в воде и рассоле. Диоксид углерода, присутствующий в растворах, связывает аммиак в углеаммонийные соли карбамата аммония по реакции:



Образование карбамата аммония создает благоприятные условия для поглощения аммиака и диоксида углерода, так как при этом снижается равновесное давление NH_3 и CO_2 над раствором. В то же время поглощение NH_3 рассолом сопровождается выделением тепла, что приводит к разогреву раствора и росту равновесного давления NH_3 над раствором и снижению движущей силы абсорбции, поскольку давление NH_3 в поступающей парогазовой смеси сравнительно постоянно. Отсюда вытекает необходимость охлаждения рассола при его абсорбции. Повышение температуры рассола, с одной стороны, увеличивает равновесное давление NH_3 над раствором и снижает скорость и полноту поглощения NH_3 , а, с другой стороны, увеличивает скорость химических реакций, которыми сопровождается поглощением CO_2 . Скорость химических реакций (при температуре потока жидкости менее 55°C) определяет процесс поглощения CO_2 аммонизированным рассолом, поэтому верхнюю часть абсорбера обычно не охлаждают и поддерживают температуру в аппарате настолько высокой, насколько это позволяют скорость и полнота поглощения аммиака. Поскольку абсорбция диоксида углерода идет значительно медленнее, чем – аммиака, поэтому аппаратура отделения должна обеспечить поглощение заданного количества аммиака и максимально возможного количества диоксида углерода. А это кроме температурного режима определяется наличием аммиака в рассоле по всей высоте абсорбера.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения абсорбции

Краткое описание технологического процесса отделения абсорбции с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделения абсорбции производства соды разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 3).

Очищенный рассол (28.2) из напорного бака (из отделения очистки рассола его подают в напорный бак – на рис. 3 не показаны) самотеком поступает в абсорбционную колонну в составе: промывателя воздуха фильтров (ПВФЛ) (1), промывателя газа абсорбции (ПГАБ) (2), второго промывателя газа колонн (ПГКЛ-2) (3), абсорбера (АБ) (4) и емкости для жидкостей (5).

ПВФЛ (1) – вертикальный колпачковый аппарат с барботажными контактными элементами и противотоком жидкости и воздушной смеси высотой 6,3 м и диаметром 2,8 м.

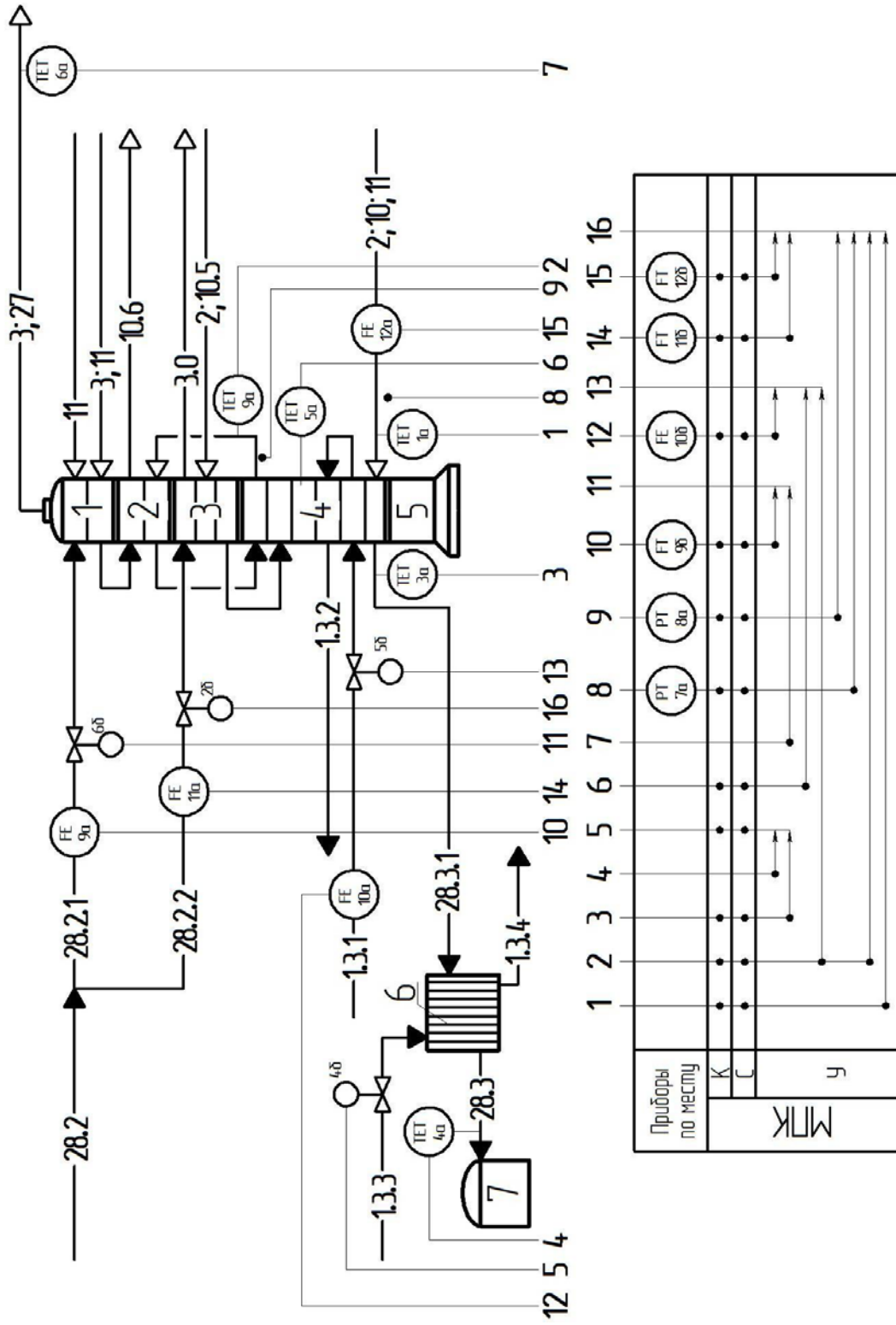


Рисунок 3 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения абсорбции

В ПВФЛ (1) поступает очищенный рассол (28.2.2) (около 20 % подаваемого очищенного рассола) и происходит улавливание аммиака из смеси воздуха и аммиака (3;11) отделения фильтрования, которая просасывается вакуум-насосами, расположенными в цехе компрессии (на рис. 3 не показаны), и в атмосферу выбрасывается практически чистый воздух (3;27). При необходимости в ПВФЛ (1) подают аммиак (11).

Жидкость из ПВФЛ (1) перетекает по сифонам, образующих гидравлические затворы, в ПГАБ (2), высотой 6 м и диаметром 2,8 м. По конструкции он одинаков с ПВФЛ (1). Через ПГАБ (2) вакуум-насосами просасываются газовые смеси, поступающие из АБ (4), при этом аммиак (11) абсорбируется, а диоксид углерода (10.6) подаётся в ПГК (вакуум-насосы и ПГК на рис. 3 не показаны). Жидкость на выходе ПГАБ (2) имеет прямой титр ~ 8 н.д.

ПГКЛ-2 (3) – вертикальный колпачковый аппарат с барботажными контактными элементами и противотоком жидкости и газа высотой 7,1 м и диаметром 2,8 м. В него поступает очищенный рассол (28.2.1) (около 80 % подаваемого очищенного рассола) и происходит поглощение диоксида углерода из парогазовой смеси (2;10.5), поступающей под давлением из отделения карбонизации, и через сепаратор (на рис. 3 не показан) практически чистый воздух (3.0) выбрасывается в атмосферу. Прямой титр жидкости на выходе ПГКЛ-2 (3) 15–21 н.д., а содержание хлорид-ионов 102–104 н.д.

Жидкости из ПГАБ (2) и ПГКЛ-2 (3) поступают в АБ (4) – вертикальный противоточный аппарат, оснащенный распределительным устройством, противоточными решетчатыми и трубно-решетчатыми, а также перераспределительными тарелками, высотой 19,8 м и диаметром 2,8 м. Он состоит из 20 царг, в которых установлены противоточные трубно-решетчатые и противоточные решетчатые тарелки. Верхняя часть АБ (4) снабжена четырьмя противоточными решетчатыми тарелками и одной распределительной тарелкой, предназначенной для равномерного распределения поступающей сверху жидкости по всему сечению аппарата. Слабо аммонизированный рассол нагревается до температуры, близкой к 60 °С, что позволяет в нижней части АБ (4) отводить тепло более эффективно. Поэтому нижняя часть АБ (4) оборудована 12 восьмью ходовыми противоточными трубно-решетчатыми тарелками, тремя перераспределительными решетчатыми противоточными тарелками, предназначенными для перераспределения потока стекающей жидкости. Теплообменные секции установлены горизонтально в боковых фланцевых разъемах царг

перпендикулярно продольной оси аппарата. Жидкости, поступившие в АБ (4), насыщаются аммиаком и диоксидом углерода из парогазовой смеси (2;10;11) отделения дистилляции, поэтому нагреваются до температуры свыше 68 °С, газы же после него подаются в нижнюю часть ПГАБ (2). В нижнюю часть АБ (4) по трубкам поступает вода (1.3.1) для отвода выделяющегося тепла (на выходе из него 1.3.2), в результате температура аммонизированного рассола (28.3.1) на выходе АБ (4) снижается до 60–65 °С. Дальнейшее охлаждение этого рассола происходит охлаждающей водой (1.3.3) в пластинчатом холодильнике (6) (на выходе 1.3.4), после которого аммонизированный рассол (28.3) с температурой 28–32 °С, прямым титром 100–106 н.д. и содержанием хлорид-ионов не менее 89 н.д. направляется в сборник аммонизированного рассола (САР) (7). Следует отметить, что рассмотренные аппараты, за исключением ПГКЛ-2 (3), работают в условиях вакуума. При этом исключаются прорывы аммиака (11) через неплотности аппаратов и трубопроводов в рабочее помещение.

С учетом вышеизложенного для обеспечения регламентных значений соответствующих параметров, в частности, расхода очищенного рассола (28.2.2) в ПГКЛ-2 (3), необходимо реализовать автоматический контроль расхода этого рассола с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим расходом с коррекцией по: температурам парогазовой смеси (2;10;11) на входе в АБ (4) и такой же смеси на выходе из него; давлениям указанных смесей и расходу парогазовой смеси (2;10;11).

Для обеспечения регламентного значения температуры аммонизированного рассола (28.3) после пластинчатого холодильника (6), необходимо реализовать автоматический контроль её с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода охлаждающей воды (1.3.3) на пластинчатых холодильнике (6) с коррекцией по температуре аммонизированного рассола (28.3.1) на выходе из АБ (4).

Для обеспечения требуемого значения расхода очищенного рассола (28.2.1) в ПВФЛ (1), необходимо реализовать автоматический контроль этого расхода с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим расходом с коррекцией температуры воздуха (3.0) из ПВФЛ (1).

Для обеспечения требуемого снижения температуры аммонизированного рассола (28.3.1) на выходе из АБ (4), необходимо предусмотреть автоматический контроль расхода воды (1.3.1) в нижнюю часть АБ (4) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим рас-

ходом с коррекцией по температурам парогазовой смеси из АБ (4) в ПГАБ (2) и аммонизированного рассола внизу АБ (4).

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения абсорбции

Для фрагмента ФСАТП описанного технологического процесса необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль расхода очищенного рассола в ПГКЛ-2, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение этого расхода с коррекцией по: температурам и давлениям парогазовой смеси на входе и выходе АБ (4); расходу парогазовой смеси на входе в АБ (4);

- автоматический контроль температуры аммонизированного рассола на выходе пластинчатого холодильника, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода охлаждающей воды на этот холодильник с коррекцией по температуре аммонизированного рассола на выходе из АБ (4);

- автоматический контроль расхода очищенного рассола в ПВФЛ (1), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение этого расхода с коррекцией по температуре воздуха из ПВФЛ (1);

- автоматический контроль расхода воды в нижнюю часть АБ (4), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение этого расхода с коррекцией по температурам парогазовой смеси из АБ (4) в ПГАБ (2) и жидкости вверху АБ (4).

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделения абсорбции

1. АУТП – регламентным значением расхода очищенного рассола в ПГКЛ-2 обеспечивается изменение этого расхода с коррекцией по: температурам и давлениям парогазовой смеси на входе и выходе АБ и расходу парогазовой смеси на входе в АБ:

ПП/ПрП – поз. 1-а; 2-а – КВАНТ ДТ.1;
ПрП – поз. 7-а; 8-а – КВАНТ ДИ.11;
ПП – поз. 11-а; 12-а – ДК-0,6;
ПрП – поз. 11-б; 12-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 2-б – МЭО-1.

2. АУТП – регламентным значением температуры аммонизированного рассола на выходе пластинчатого холодильника обеспечивается изменением расхода охлаждающей воды на него с коррекцией по температуре аммонизированного рассола на выходе из АБ:

ПП/ПрП – поз. 4-а; 3-а – КВАНТ ДТ.1;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 4-б – МЭО-1.

3. АУТП – требуемым значением расхода очищенного рассола в ПВФЛ обеспечивается изменением расхода этого рассола с коррекцией по температуре воздуха из ПВФЛ:

ПП/ПрП – поз. 6-а – КВАНТ ДТ.1;
ПП – поз. 9-а – ДК-0,6;
ПрП поз. 9-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 6-б – МЭО-1.

4. АУТП – требуемым снижением температуры аммонизированного рассола на выходе из АБ обеспечивается изменением расхода воды в нижнюю его часть с коррекцией по температурам парогазовой смеси из АБ в ПГАБ и аммонизированного рассола внизу из АБ:

ПП/ПрП – поз. 2-а; 5-а – КВАНТ ДТ.1;
ПП – поз. 10-а – ДК-0,6;
ПрП – поз. 10-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 5-б – МЭО-1.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения абсорбции способствует уменьшению расхода на 1 т соды аммонизированного рассола на 0,03 м³, а также обеспечивает передачу в отделение карбонизации аммонизированного рассола с температурой 28–32 °С и содержанием прямого титра аммиака 100–106 н.д., а хлорид-ионов не менее 95 н.д.

Л е к ц и я 4

Автоматизированное управление технологическими процессами карбонизации

1. *Физико-химические основы процесса карбонизации*
2. *Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения карбонизации*

Процесс карбонизации (насыщение аммонизированного рассола диоксидом углерода), в результате которого образуется гидрокарбонат натрия, является основным процессом производства соды [1, 2, 6]. При карбонизации получают заданное количество содержащей гидрокарбонат натрия суспензии в виде непрерывного материального потока, передаваемого в отделение фильтрования с такими показателями для осветленной части суспензии:

- содержание, н.д.:
 - общего аммиака 92–97;
 - хлорид-ионов, не менее 95;
 - прямой титр суспензии 23–27;
- температура, °С 26–32.

1. Физико-химические основы процесса карбонизации

Процесс, протекающий в карбонизационной колонне, очень сложный. Получив на выходе из аппарата суспензию, соответствующую вышеприведенным данным, нельзя однозначно определить её качество. Более того, нельзя однозначно сказать, какая из колонн работает лучше. Качество суспензии определяется качеством содержащегося в ней гидрокарбоната натрия. Оценку работы карбонизационной колонны дают по безразмерному техническому критерию оптимальности, учитывающему расход гидрокарбонатной суспензии из колонны, концентрацию связанного аммиака в осветленной части суспензии и содержание остаточной влаги в гидрокарбонате натрия. Следовательно, чем выше производительность по гидрокарбонату натрия и меньше остаточная влага в продукте, тем лучше работает карбонизационная колонна, то есть необходимо стремиться увеличить абсолютное значение критерия оптимальности.

В результате процесса карбонизации из раствора в осадок выпадает гидрокарбонат натрия, образующийся по реакции:



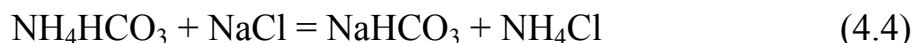
Эта реакция характеризует конечный результат взаимодействия хлорида натрия и гидрокарбоната аммония. В действительности процесс карбонизации протекает гораздо сложнее, его механизм окончательно не выяснен, а поэтому его ведут ступенчато. На первой ступени карбонизации большая часть диоксида углерода связывается в карбамат аммония:



который затем гидролизуется:



с образованием пересыщенного по HCO_3^- раствора. В зависимости от условий карбонизации пересыщение может достигать 10–15 н.д. HCO_3^- . Затем из пересыщенного раствора кристаллизуется гидрокарбонат натрия, образующийся по реакции:



Кристаллизация гидрокарбоната натрия подчиняется общим закономерностям и зависит прежде всего от температуры, пересыщения и скорости пересыщения раствора. Следует отметить, что приведенная выше схема образования NaHCO_3 условна и отражает реальный процесс лишь в упрощенном виде. Процесс насыщения аммонизированного рассола диоксидом углерода является экзотермическим (выделяется около 1260 МДж на 1 т соды). Выделяющееся тепло реакции в конечной ступени процесса необходимо отводить, чтобы обеспечить необходимые степени карбонизации раствора и утилизации (использования) натрия. Скорость кристаллизации гидрокарбоната натрия при постоянной температуре зависит от содержания связанного аммиака в равновесном и метастабильном растворах с учетом константы скорости кристаллизации. Разность в содержании связанного аммиака в равновесном и метастабильном растворах равна пересыщению раствора по гидрокарбонату натрия в данный момент. Степень карбонизации раствора зависит от содержания диоксида углерода в газе карбонизации. Чем выше среднее содержание диоксида углерода, тем выше производительность карбонизационной колонны и, значит, тем меньше объем газа, проходящего через этот аппарат, что, в свою очередь, снижает выдувание аммиака и уменьшает расход энергии на транспортирование газа.

Показателем, характеризующим переход натрия из хлорида натрия в осажденный гидрокарбонат натрия, служит степень утилизации натрия, которая представляет собой отношение количества натрия, содержащегося в осажденном гидрокарбонате натрия, к количеству натрия в хлориде натрия, поступающему с аммонизированным рассолом в карбоколонну.

Согласно реакции (4.1) при выпадении кристаллов гидрокарбоната натрия образуется эквивалентное количество хлорида аммония (связанного аммиака). Поэтому количество осажденного натрия определяют по содержанию хлорида аммония в осветленной части бикарбонатной суспензии, выходящей из колонны. Общее количество натрия, поступающее на карбонизацию с хлоридом натрия, определяют по концентрации хлора в осветленной части суспензии, так как эта концентрация эквивалентна концентрации натрия. Таким образом, степень утилизации натрия зависит от условий проведения процесса карбонизации (концентрации связанного аммиака и ионов хлора в осветленной части суспензии и содержанию исходных веществ в аммонизированном рассоле) и обычно не превышает 75 %.

Температурный режим карбонизационной колонны значительно влияет на процесс образования кристаллов гидрокарбоната натрия. Для получения крупных кристаллов гидрокарбоната натрия правильной формы, которые не забивают фильтрующую поверхность вакуум-фильтров и малорастворимы в процессе фильтрования, необходимо поддерживать сравнительно высокую температуру (60–72 °С) в зоне образования и в начальный период роста кристаллов. Часть карбонизационной колонны, где степень карбонизации достигает величины 110–120 %, при которой в растворе начинают образовываться кристаллы гидрокарбоната натрия, в производстве соды называют зоной «завязки» кристаллов. В процессе дальнейшего роста кристаллов температура уже не оказывает существенного влияния на их размер. Поэтому с целью повышения степени утилизации натрия суспензию в процессе дальнейшей карбонизации равномерно охлаждают до 26–32 °С. Для этого в нижней части колонны располагают холодильные царги.

Процесс кристаллизации начинается с образования зародышей в виде мелких кристалликов гидрокарбоната натрия, из которых при поддержании нормального технологического режима образуются кристаллы в форме коротких цилиндров («бочки»). При ухудшении процесса кристаллизации образуются кристаллы, имеющие форму длинных цилиндров, склонные к образованию сростков в виде «снопов». В этом случае выделяется большое количество мелочи в виде игольчатых кристаллов,

которые при фильтровании уплотняются и удерживают в образовавшихся мелких ячейках много влаги, что приводит к увеличению содержания остаточной влаги в гидрокарбонате натрия и ухудшению его гранулометрического состава.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения карбонизации

Краткое описание технологического процесса отделения карбонизации с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделения карбонизации производства соды разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 4).

Отделение карбонизации комплектуется сериями из восьми аппаратов, причем производительность каждой серии равна производительности абсорбционной колонны. Наибольшее распространение получили серии, состоящие из пяти карбонизационных колонн (КЛ), первого промывателя газа колонн (ПГКЛ-1), холодильника жидкости и насосов перекачки жидкости из ПГКЛ-1 в указанный холодильник. Из пяти КЛ – три по 48 часов выполняют функции рабочих (рабочие КЛ), одна – по 16 часов – колонны предварительной карбонизации (КЛПК), а одна – в резерве или ремонте. На рис. 4 показаны: КЛПК (1); холодильник жидкости (2) диаметром 3 м и высотой 5,3 м; ПГКЛ-1 (3) диаметром 2,8 м и высотой 20,55 м; насос подачи жидкости (4) с электродвигателем; рабочая КЛ (5) – включающая две зоны: абсорбционную из 19 царг диаметром 3 м и холодильную из 8 царг диаметром 2,78 м; общая высота КЛ 28 м. Периодически каждую из рабочих КЛ (5) ставят на промывку, тогда она выполняет функции КЛПК (1).

Аммонизированный рассол (28.2) (частично насыщенный в отделении абсорбции диоксидом углерода) из САР насосами (на рис. 4 не показаны) подается в верхнюю часть КЛПК (1).

В нижнюю царгу КЛПК (1) поступает диоксид углерода (10.3), содержащий 38–40 % (об.) CO_2 (часть газа ИОП (10.8)) под давлением 0,25–0,3 МПа. В КЛПК (1) одновременно осуществляются промывка от гидрокарбоната натрия, осаждающегося на внутренних поверхностях аппарата, и предварительная карбонизация аммонизированного рассола. Из КЛПК (1) предкарбонизованная жидкость, содержащая 56–60 н.д. диоксида углерода, при температуре 42–46 °С направляется в верхнюю часть ПГКЛ-1 (3), в нижнюю часть которого поступают газы карбонизации (10.4) из КЛПК (1) и трех рабочих КЛ (5) для улавливания аммиака из этих газов.

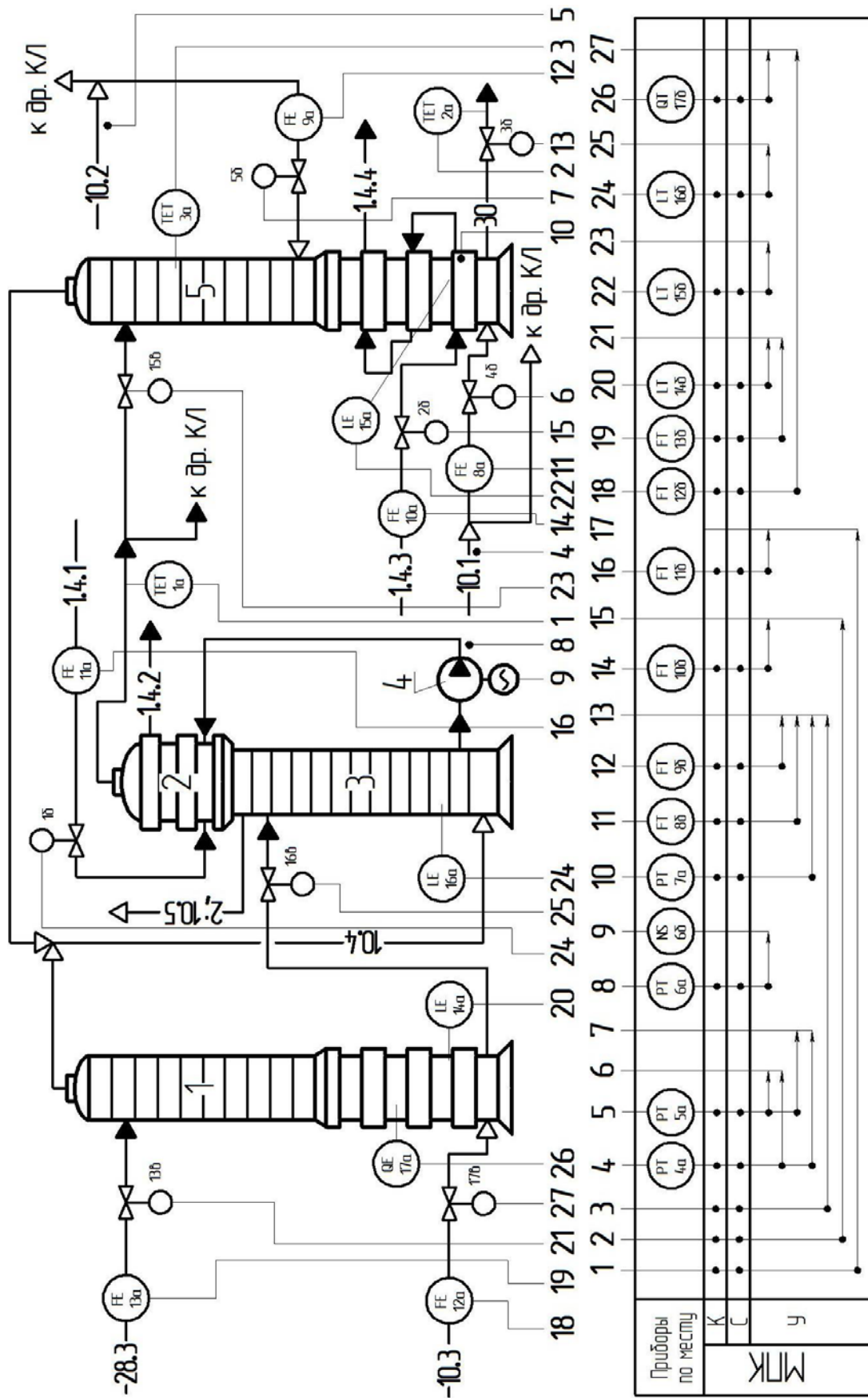


Рисунок 4 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения карбонизации

Основное назначение ПГКЛ-1 (3) – извлечение диоксида углерода из газа карбонизации (10.4), что кроме повышения общей степени использования CO_2 в процессе, способствует снижению выдувания NH_3 из рабочих КЛ (5). Парогазовая смесь (2;10.5) после ПГКЛ-1 (3) поступает в ПГКЛ-2 (абсорбция, на рис. 4 не показан). За время прохождения жидкости через ПГКЛ-1 (3) ее температура повышается на 5–8 °С. Для охлаждения жидкости после ПГКЛ-1 (3) её насосом (4) с электродвигателем подают в холодильник (2), на который поступает охлаждающая вода (1.4.1) (на выходе 1.4.2).

Жидкость из ПГКЛ-1 (3) (через холодильник (2)), с содержанием CO_2 60–76 н.д. и температурой 42–46 °С, поступает в верхние абсорбционные части трёх рабочих КЛ (5) (на рис. 4 показана одна). В нижние холодильные царги рабочих КЛ (5) подается газ первого ввода (10.1) (на производствах соды его называют смешанным, это газ, полученный смешением газа кальцинации (10.7) с другой частью газа ИОП (10.8)), содержащий 70–80 % CO_2 (об.) под давлением 0,3–0,32 МПа. В средние части рабочих КЛ (5) подается газ второго ввода (10.2) (третья часть газа ИОП (10.8)), содержащий 31–40 % (об.) CO_2 под давлением 0,18–0,22 МПа. Такая подача указанных газов необходима для поглощения CO_2 , чтобы давление его в газе карбонизации (10.4) было больше равновесного давления CO_2 над раствором. По мере поглощения CO_2 его давление над раствором увеличивается. Поэтому для сохранения перепада давлений в низ трех рабочих колонн (5), где жидкость наиболее насыщена CO_2 , подают газ первого ввода (10.1), а газ второго ввода (10.2) поступает в те зоны рабочих колонн (5), где содержание CO_2 в газе, идущем снизу, приближается к содержанию CO_2 в газе второго ввода.

В процессе карбонизации суспензия нагревается до 60–72 °С за счет выделения тепла при протекании химических реакций. Для снижения растворимости гидрокарбоната и достижения более высокой степени утилизации натрия суспензию охлаждают в нижней части рабочих КЛ (5). Для этой цели используют охлаждающую воду (1.4.3) (на выходе 1.4.4) в холодильные царги, образующие холодильную зону КЛ (5). Производительность рабочих КЛ (5) зависит от числа холодильных царг, то есть, величины теплопередающей поверхности, образующей трубками, по которым движется вода. Расход охлаждающей воды зависит от температуры, а приемлемой температурой этой воды является 15 °С. Гидрокарбонатная суспензия (30) после рабочих КЛ (5) направляется в отделение фильтрации (на рис. 4 не показано).

С учетом вышеизложенного для обеспечения регламентного значения температуры жидкости ПГКЛ-1 (3) (после холодильника (2)), поступающей в три рабочие КЛ (5), целесообразно реализовать автоматические контроль этой температуры с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление указанной температурой изменением расхода охлаждающей воды (1.4.1) в холодильник с коррекцией по расходу этой воды.

Для обеспечения требуемого значения температуры гидрокарбонатной суспензии (30) из рабочих КЛ (5) целесообразно реализовать автоматические контроль этих температур с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление указанными температурами изменением расходов охлаждающей воды (1.4.3) в холодильные царги рабочих КЛ (5), образующие холодильные зоны, с коррекцией по расходам охлаждающей воды (на примере одной рабочей КЛ (5)).

Для обеспечения регламентного значения отборов (расходов) гидрокарбонатной суспензии (30) из рабочих КЛ (5), поступающей на вакуум-фильтры (ВФЛ), необходимо реализовать автоматические контроль температуры газожидкостной среды в верхней части и давления газожидкостной среды в нижней части холодильной зоны рабочих КЛ (5), расходов диоксида углерода первого и второго вводов, подаваемых в рабочие КЛ (5), с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение расходов гидрокарбонатной суспензии (на примере одной рабочей КЛ (5)).

Для обеспечения регламентного значения перепада давления газа внутри рабочей КЛ (5) необходимо реализовать автоматические контроль давлений газов в общих коллекторах первого и второго вводов с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение их расходов в рабочие КЛ (5) с коррекцией по давлениям этих газов (на примере одной рабочей КЛ (5)).

Для обеспечения нормальной работы насоса (4) подачи жидкости из ПГКЛ-1 (3) через холодильник (2) в рабочие КЛ (5) целесообразно реализовать автоматические контроль давления в напорном патрубке этого насоса с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим давлением изменением числа оборотов электродвигателя насоса.

Для обеспечения заданных значений уровней жидкостей в КЛПК (1), ПГКЛ-1 (3) и рабочих КЛ (5) целесообразно реализовать автоматические контроль указанных уровней с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение расходов жидкостей, поступающих в эти аппараты (на примере одной рабочей КЛ (5), а для КЛПК (1) и с коррекцией по расходу аммонизированного рассола в неё).

Для поддержания заданной степени предварительной карбонизации жидкости целесообразно реализовать автоматический контроль величины рН этой жидкости внизу КЛПК (1) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этой величиной изменением расхода диоксида углерода в КЛПК (1) с коррекцией по расходу этого газа.

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения карбонизации

Для фрагмента ФСАУТП необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль температуры жидкости поступающей в рабочие КЛ, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление указанной температурой изменением расхода охлаждающей воды в холодильник с коррекцией по расходу этой воды;

- автоматический контроль температуры гидрокарбонатной суспензии из рабочих КЛ, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление указанной температурой изменением расхода охлаждающей воды в холодильные царги рабочих КЛ с коррекцией по расходу этой воды;

- автоматический контроль температуры газожидкостной среды в верхней части и давления газожидкостной среды в нижней части холодильной зоны рабочих КЛ, расходов газа первого и второго вводов, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление регламентным значением расхода гидрокарбонатной суспензии из рабочих КЛ на ВФЛ;

- автоматический контроль давлений в общих коллекторах газов первого и второго вводов для обеспечения заданного перепада давления газа внутри рабочих КЛ, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих на управление расходами указанных газов в каждую рабочую КЛ;

- автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса подачи жидкости из ПГКЛ-1 через холодильник в рабочие КЛ, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этим давлением изменением числа оборотов электродвигателя насоса;

- автоматический контроль уровней жидкостей в КЛПК, ПГКЛ-1 и рабочих КЛ, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение расходов жидкостей, поступающих в эти аппараты, а для КЛПК ещё и с коррекцией по расходу аммонизированного рассола;

- автоматический контроль величины рН жидкости внизу КЛПК для поддержания заданной степени предварительной карбонизации, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление указанной величиной изменением расхода диоксида углерода в КЛПК с коррекцией по расходу этого газа.

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления параметрами технологического процесса (АУТП) отделения карбонизации

1. АУТП – регламентным значением температуры жидкости ПГКЛ-1, через холодильник поступающей в рабочие КЛ, обеспечивается изменением расхода охлаждающей воды в холодильник этой жидкости с коррекцией по расходу указанной воды:

ПП/ПрП – поз. 1-а – КВАНТ ДТ.1;

ПП – поз. 11-а – ДК – 0,6;

ПрП – поз. 11-б – КВАНТ ДД.12;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 1-б – МЭО-1.

2. АУТП – регламентным значением температуры гидрокарбонатной суспензии из рабочей КЛ обеспечивается изменением расхода охлаждающей воды в холодильные царги рабочей КЛ, образующие холодильные зоны, с коррекцией по расходу этой воды:

ПП/ПрП – поз. 2-а – КВАНТ ДТ.1;

ПП – поз. 10-а – ДК – 0,6;

ПрП – поз. 10-б – КВАНТ ДД.12;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 2-б – МЭО-1.

3. АУТП – регламентным значением отбора (расхода) гидрокарбонатной суспензии из рабочей КЛ обеспечивается изменением расхода этой суспензии с коррекцией по: температуре газожидкостной среды

в верхней части и давлению в нижней части холодильной зоны рабочей КЛ, расходам диоксида углерода первого и второго вводов в рабочую КЛ:

ПП/ПрП – поз. 3-а – КВАНТ ДТ.1;
ПрП – поз. 7-а – КВАНТ ДИ.11,
ПП – поз. 8-а, 9-а – ДК – 0,6;
ПрП – поз. 8-б, 9-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 3-б – МЭО-1.

4. АУТП – регламентным значением перепада давления газа внутри рабочих КЛ обеспечивается изменением расходов газов первого и второго вводов в эти КЛ с коррекцией по давлениям в общих коллекторах этих газов:

ПрП – поз. 4-а, 5-а – КВАНТ ДИ.11;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 4-б, 5-а – МЭО-1.

5. АУТП – работой насоса подачи жидкости из ПГКЛ-1 через холодильник в рабочие КЛ обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по давлению в его напорном патрубке:

ПрП – поз. 6-а – КВАНТ ДИ.11;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 6-б – ПМЕ в комплекте.

6.1. АУТП – заданным значением уровня жидкости в КЛПК обеспечивается изменением расхода аммонизированного рассола в КЛПК с коррекцией по этому расходу:

ПП – поз. 13-а – ДК-0,6;
ПрП – поз. 13-б – КВАНТ ДД.12;
ПП – поз. 14-а – ОУДГ;
ПрП – поз. 14-б – КВАНТ ДГ.15;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 13-в – МЭО-1.

6.2. АУТП – заданным значением уровня жидкости в рабочей КЛ обеспечивается изменением расхода жидкости из ПГКЛ-1 в рабочую КЛ:

ПП – поз. 15-а – ОУДГ;
ПрП – поз. 15-б – Ш-703;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 15-в – МЭО-1.

6.3. АУТП – заданным значением уровня жидкости в ПГКЛ-1 обеспечивается изменением расхода предкарбонизованной жидкости в него:

ПП – поз. 16-а – ОУДГ;

ПрП – поз 16-б – Ш-703;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 16-в – МЭО-1.

7. АУТП – заданной степенью предварительной карбонизации жидкости по величине рН внизу КЛПК обеспечивается изменением расхода диоксида углерода в КЛПК с коррекцией по расходу этого газа:

ПП – поз. 12-а – ДК-0,6;

ПрП – поз. 12-б – КВАНТ ДД.12;

ПП – поз. 17-а – рН-261;

ПрП – поз 17-б – Ш-703;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 17-в – МЭО-1.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения карбонизации обеспечивает подачу гидрокарбонатной суспензии на отделение фильтрации с температурой не выше 32 °С и содержанием: общего аммиака 92–97 н.д., хлорид-ионов не менее 95 н.д., остаточной влаги в гидрокарбонате натрия не выше 18 % и прямым титром этой суспензии 23–27 н.д.

Вопросы для самоподготовки студентов к модульному контролю по лекциям 1–4

1. На получение 1 т ... соды расходуется: рассол ... (310 г/л) ... м³; известняк ... кг; ... вода ... кг; ... натрия ... кг.
2. Удельные расходы на 1 т ... соды: топливо (кокс) на ... извести ... кг; пар ... ГДж; электроэнергия ... МДж; вода ... м³.
3. Общая ... затрат на 1 т ... соды по ... основным ... производства: абсорбция ... %; дистилляция ...%; кальцинация ... %; карбонизация ... %.
4. Основным назначением отделения дистилляции производства соды является ... (полное определение).
5. Процесс ... аммиака и диоксида углерода ... в отделении дистилляции ... жидкости, состоящего из следующих аппаратов: 1 – ...; 2 – ...; 3 – ...; 4 – ...; 5 – ...; 6 – ...; 7 –
6. Процесс ... аммиака и диоксида углерода ... в отделении дистилляции ... жидкостей, состоящего из следующих аппаратов: 8 – ...; 9 – ...; 10 – ...; 11 – ...; 12 –
7. Режим работы ДС при температуре выше ... °С называют ..., а при температуре ниже ... °С – ..., из них получил распространение ... ?
8. КХДС – вертикальный аппарат ... сечения ...×... м, высотой ... м, состоящий из ... и ... частей. Первая часть состоит из ... отдельных корпусов, а вторая – из ... таких же корпусов.
9. ТДС – вертикальный ... аппарат высотой ... м и диаметром ... м, состоит из ... чугунных царг.
10. ДС – вертикальный аппарат, с ... диаметром ... м и высотой ... м, состоит из ... чугунных царг.
11. СМ – вертикальный ... резервуар (...), диаметром ... м и высотой ... м, снабженный ... мешалкой.
12. КХДСЖ – вертикальный аппарат ... сечения ...×... м и высотой ... м, состоит из ... отдельных корпусов.
13. АУТП – регламентным значением ... парогазовой смеси после КХДС, поступающей в отделение ... , обеспечивается ... расхода ... в ... часть ... с коррекцией по ...: газа из ... в ... и жидкости из ... в
14. АУТП – регламентным значением ... парогазовой смеси после КХДСЖ, поступающей в отделение ... , обеспечивается ... расхода ... в ... часть ... с коррекцией по ... слабой жидкости из ... в
15. АУТП – ... расхода ... в ДС обеспечивается ... расхода ... с коррекцией по: температурам – пара в ..., парогазовой смеси из ... в ..., жидкости из ... в ..., суспензии дистилляции из ... в ... ; давлению – в нижней царге ... ; расходам ... в ДС, известковой ... в СМ, а ... жидкости в КХДС.

16. АУТП – регламентным значением расхода ... жидкости в ... обеспечивается ... этого расхода с коррекцией по: температуре жидкости из ... в ... и расходам ... в ... и известковой ... в

17. АУТП – заданным ... расходов пара в ... и слабой жидкости в ... обеспечивается ... расхода ... с коррекцией по температуре ... в верхней части ... дистиллера.

18. Основное назначение отделения абсорбции производства соды состоит в получении ... (полное определение).

19. В состав отделения абсорбции входят следующие аппараты: 1 – ...; 2 – ...; 3 – ...; 4 – ...; 5 – ...; 6 – ...; 7 –

20. ПВФЛ – вертикальный ... аппарат с барботажными ... элементами и противотоком ... рассола и ... смеси, высотой ... м и диаметром ... м.

21. ПГКЛ-2 – вертикальный ... аппарат с барботажными ... элементами и противотоком ... и ..., высотой ... м и диаметром ... м.

22. АБ – вертикальный ... аппарат, оснащенный распределительным устройством, высотой ... м и диаметром ... м.

23. Верхняя часть АБ снабжена ... противоточными ... тарелками и одной ... тарелкой, ... для ... распределения ... сверху ... по всему ... аппарата.

24. Нижняя часть АБ оборудована ... противоточными ... тарелками, ... решетчатыми ... противоточными тарелками, ... для перераспределения потока ... жидкости.

25. АУТП – регламентным ... расхода ... рассола в ПГКЛ-2 обеспечивается ... этого ... с ... по: ... и ... парогазовой ... на ... и ... АБ и расходу ... смеси на входе в ...

26. АУТП – регламентным ... температуры ... рассола ... на выходе ... холодильника обеспечивается ... расхода ... воды в ... с ... по температуре ... рассола на выходе из ...

27. АУТП – требуемым ... расхода ... рассола в ... обеспечивается ... расхода ... рассола с коррекцией по ... воздуха из этого аппарата.

28. АУТП – требуемым снижением ... аммонизированного ... на ... из ... обеспечивается изменением ... воды в ... его часть с ... по температурам парогазовой смеси из ... в ... и ... рассола ... этого же аппарата.

29. Процесс ... (насыщение ... рассола ... углерода), в результате ... образуется ... натрия, является ... процессом ... соды аммиачным способом.

30. В отделении карбонизации ... заданное ... содержащей ... натрия суспензии в виде ... материального ..., передаваемого в отделение ...

31. В результате ... карбонизации из ... в осадок выпадает ... натрия, образующийся по реакции: ... (записать реакцию).

32. Отделение карбонизации комплектуется ... из ... аппаратов, причем ... каждой ... равна ... абсорбционной

33. Наибольшее распространение получили ... , состоящие из ... колонн, из которых ... работают по: ... часов в качестве ... КЛ, ... – ... часов в качестве КЛПК, а ... – в резерве или ремонте.

34. ... рассол подается в ... часть КЛПК, а в ... часть ... подается ... углерода ИОП, содержащий ... – ... % (об.) CO_2 под давлением ... – ... МПа.

35. В КЛПК ... осуществляются ... от ... натрия, ... на внутренних ... аппарата, и предварительная ... аммонизированного

36. Основным ... ПГКЛ-1 является извлечение ... из газа ..., что способствует ... выдувания ... из

37. В... КЛ условно ... два ...: абсорбция ... углерода и кристаллизация ... натрия, она ... две ...: абсорбционную из ... царг, диаметром ... м; и холодильную из ... царг, диаметром 2,8 м; общая высота ... КЛ ... м.

38. В верхнюю ... часть ... зоны ... КЛ ... жидкость из ПГКЛ-1 с ... CO_2 ... – ... н.д. и температурой ... – ... °С; в нижнюю часть ... зоны ... КЛ ... газ ... ввода, содержащий ... – ... % (об.) под давлением ... – ... МПа, а в нижнюю часть ... зоны ... газ ... ввода, содержащий ... – ... % CO_2 (об.) под давлением ... – ... МПа.

39. АУТП – ... значением ... жидкости ... (после ...), ... в ... КЛ, обеспечивается ... расхода ... воды в ... этой ... с ... по ... этой воды.

40. АУТП – ... значением ... гидрокарбонатной ... из ... КЛ обеспечивается ... расхода ... воды в ... царги ... КЛ, образующие ... зоны, с коррекцией по ... этой воды.

41. АУТП – ... значением ... (...) гидрокарбонатной ... из ... КЛ обеспечивается ... расхода этой ... с ... по: температуре ... смеси в ... части и давлению в ... части ... зоны ... КЛ, расходам ... углерода ... и ... вводов в ... КЛ.

42. АУТП – ... значением ... давления ... внутри ... КЛ обеспечивается ... расходов газов ... и ... вводов в ... КЛ с ... по давлению в общих ... указанных газов.

43. АУТП – работой ... подачи ... из ПГКЛ-1 в ... обеспечивается ... числа ... электродвигателя этого ... с коррекцией по ... в его ... патрубке.

44. АУТП – ... значением ... жидкости в КЛПК обеспечивается ... расхода ... рассола в ... с коррекцией по его

45. АУТП – заданной степенью ... карбонизации ... по величине рН ... КЛПК ... изменением ... диоксида ... в ... с коррекцией по ... этого газа.

Л е к ц и я 5

Автоматизированное управление технологическими процессами фильтрации

1. *Физико-химические процессы фильтрации*
2. *Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения фильтрации*

В производстве соды процесс фильтрации используется для выделения кристаллов гидрокарбоната натрия из гидрокарбонатной суспензии отделения карбонизации [1, 2, 6], получаемые кристаллы направляют на кальцинацию, а фильтровая жидкость (смесь маточной жидкости из суспензии с промывной водой) поступает на дистилляцию. Основным назначением отделения фильтрации является формирование непрерывного материального потока гидрокарбоната натрия со следующими показателями:

- влажность влажного гидрокарбоната натрия, % 13–18;
- содержание, %, не более:
 - хлорида натрия 0,4;
 - общего аммиака 0,8.

1. Физико-химические процессы фильтрации

В процессе фильтрации поток жидкой фазы должен преодолеть гидравлическое сопротивление фильтрующей перегородки из специальной ткани. Размеры пор фильтрующей перегородки существенны только в начальной стадии процесса. В дальнейшем на фильтрующей перегородке образуется слой гидрокарбоната натрия, который служит дополнительной фильтрующей перегородкой для маточной жидкости.

При проведении процесса фильтрации неизбежны потери гидрокарбоната натрия из-за его частичного растворения в промывной воде и прохода в виде мелких кристаллов через фильтрующую ткань перегородки, а также в результате частичного протекания обратной реакции:



Потери при фильтрации возрастают при увеличении температуры промывной воды выше 45 °С и её количества, а также при нарушении целостности фильтрующей ткани перегородки.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения фильтрования

Краткое описание технологического процесса отделения фильтрования с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделения фильтрования производства соды разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 5).

Гидрокарбонатная суспензия (30) из карбонизации (на рис. 5 не показано) самотеком от каждой КЛ поступает на фильтрование в общую емкость (1), которая представляет собой закрытый трубопровод большого диаметра.

Далее суспензия (30) по общему трубопроводу поступает в корыта барабанных вакуум-фильтров (ВФЛ) (2), количество которых, как правило, соответствует количеству рабочих КЛ карбонизации. На каждом ВФЛ (2) с помощью фильтрующей перегородки происходит разделение гидрокарбонатной суспензии. Осадок влажного гидрокарбоната натрия (31_i) (i – количество работающих ВФЛ) срезается специальным ножом с барабана ВФЛ (2) и по желобу поступает на ленточный транспортёр (3), подающий указанный осадок (31) на кальцинации (на рис. 5 не показано). Смесь воздуха, жидкости и аммиака ($3_i; 1_i; 11_i$), прошедшая через фильтрующую перегородку, поступает в сепаратор (4), где разделяется. Фильтровая жидкость (29_i) из сепаратора (4) поступает через общий коллектор в сборник фильтровой жидкости (СФЖ) (5), из которого она (29) насосами подается на дистилляцию (на рис. 5 не показаны). Воздух и аммиак ($3_i; 11_i$) из сепаратора (4) поступает в общий коллектор, после которого смесь (3;11) вакуум-насосами (6) с электродвигателями отсасывается через ПВФЛ (абсорбция) для улавливания аммиака.

Для промывания осадка гидрокарбоната натрия на ВФЛ (2) используется промывная вода (1.5_i) требуемой температуры, поступающая из сборника промывной воды (7), который постоянно наполняют этой водой (1.5) (на рис. 5 не показано).

Для регенерации фильтрующей ткани перегородки ВФЛ (2) с помощью воздуходувки (на рис. 5 не показана) подается сжатый воздух (3.1), а на каждый ВФЛ (2) – (3.1_{*i*}). С целью поддержания требуемой производительности ВФЛ (2) необходимо управлять уровнем суспензии в корыте ВФЛ, чтобы он был практически постоянным, изменяя расход гидрокарбонатной суспензии (30).

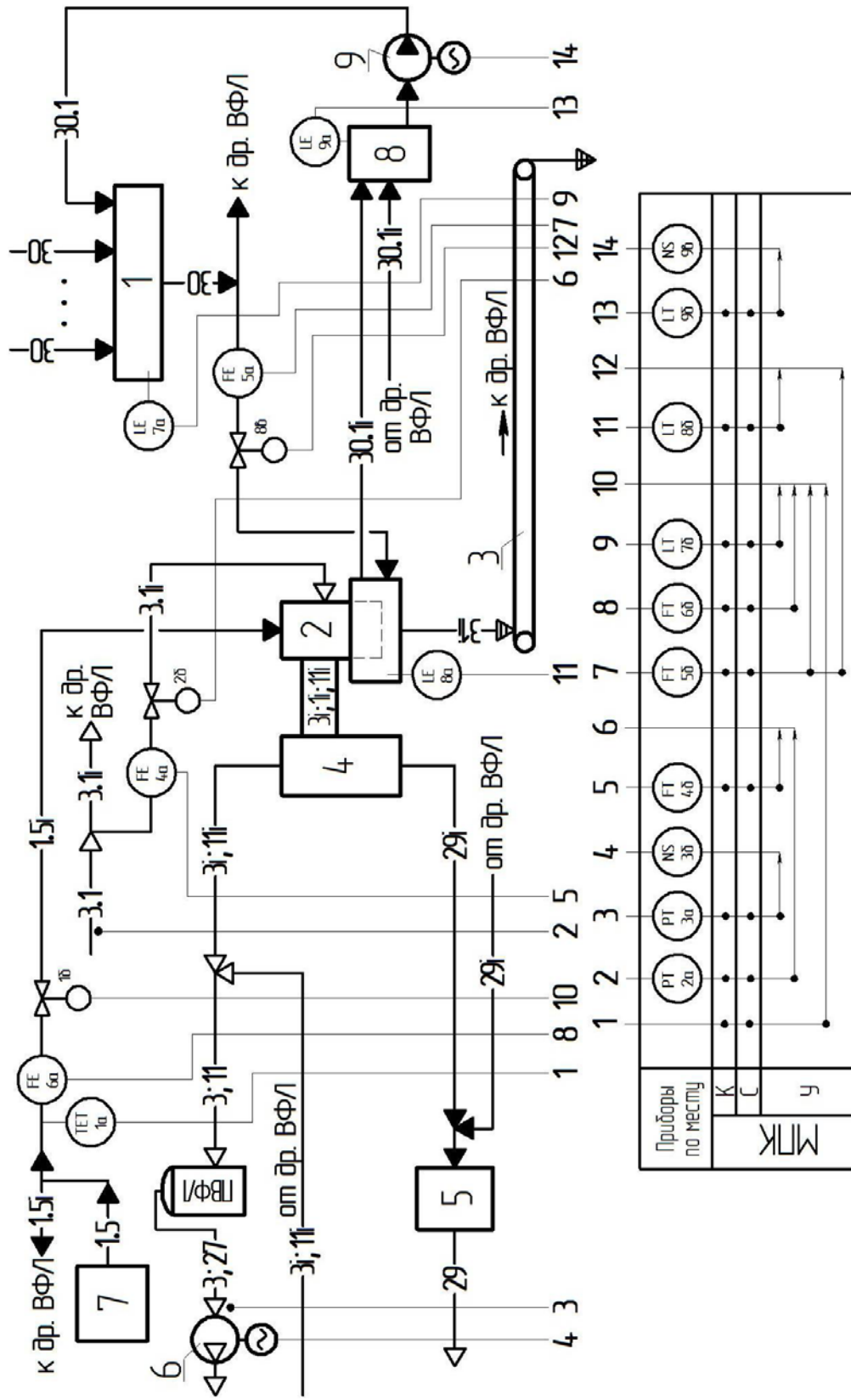


Рисунок 5 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения фильтрация

Избыток суспензии (30.1_i) из каждого корыта перетекает через перелив по трубопроводу в буферный сборник (8) с мешалкой (на рис. 5 не показана), из которого насосом (9) с электродвигателем суспензию (30.1) перекачивают в общую емкость (1) при необходимости.. Особое внимание в процессе фильтрования необходимо обращать на снижение влаги в полученном влажном гидрокарбонате натрия (31_i). Зависимость выхода соды, количества испаряемой влаги и расхода тепла в отделении кальцинации от содержания влаги во влажном гидрокарбонате натрия (31) приведена в табл. 1.

Таблица 1

Содержание влаги во влажном гидрокарбонате натрия, %	Количество удаляемой влаги, кг на 100 кг готовой соды	Относительный расход тепла для испарения воды на стадии кальцинации, %	Выход соды* – на 100 кг влажного гидрокарбоната натрия, кг
22,23	45	139,7	49
20,75	41,3	126,1	50
19,16	37,5	114,7	51
17,58	33,8	100	52
15,99	30,2	91,7	53
14,31	26,5	80,3	54

* Теоретически из 100 кг влажного гидрокарбоната натрия максимальный выход готовой соды – 63 кг.

Основным аппаратом отделения фильтрования является барабанный ВФЛ непрерывного действия, например, типа БС-5,6-1,8/1, который получил широкое применение в производстве соды, где: поверхность фильтрования – 5,6 м²; диаметр барабана – 1,8 м; длина барабана – 1 м.

Барабан ВФЛ разделен на 18 ячеек и снабжен распределительным устройством, угол погружения ВФЛ в суспензию 130°. На поверхности барабана одновременно протекает ряд процессов. В зависимости от протекающего процесса барабан можно условно разделить на восемь зон:

- зона собственно фильтрования: в условиях требуемого вакуума маточная жидкость из гидрокарбонатной суспензии (30) отсасывается вакуум-насосами (6) в барабан ВФЛ, а кристаллы гидрокарбоната натрия задерживаются на поверхности фильтрующей ткани, образуя сырой осадок;
- зона предварительной сушки: в этот момент поверхность барабана находится над суспензией и из сырого осадка гидрокарбоната натрия внутрь барабана отсасывается вакуум-насосами (6) маточная жидкость;

- зона промывания осадка: на поверхность барабана подаётся промывная вода (1.5_i), она проходит сквозь осадок гидрокарбоната натрия в барабан, вытесняя маточную жидкость из межкристаллического пространства осадка;

- зона основной сушки: вакуум-насосами (6) отсасывается воздух, который проходит через слой осадка гидрокарбоната натрия и вытесняет промывную воду (1.5_i) из межкристаллического пространства осадка, снижая в нём содержания влаги;

- закрытая зона: осадок гидрокарбоната натрия (31_i) удаляется с помощью съёмного ножа с поверхности барабана, так предотвращаются подсосы воздуха внутрь барабана в промежутке между съёмным ножом и зоной подсоса маточной жидкости (подсосы приводят к потере вакуума в системе);

- зона подсоса маточной жидкости: так называемая «мокрая» продувка ткани, осуществляемая перед продувкой сжатым воздухом (3.1_i), что необходимо для увеличения срока службы фильтровальной ткани;

- зона продувки: воздуходувкой подается сжатый воздух (3.1) для регенерации фильтровальной ткани в направлении, противоположном движению газожидкостной смеси, поступающей в барабан вследствие вакуума. Сжатый воздух (3.1_i) вначале вытесняет из ячейки через фильтровальную ткань маточную жидкость, которая поступила в зоне подсоса этой жидкости. Проходя сквозь фильтровальную ткань, маточная жидкость не только вытесняет из её пор мелкие кристаллы гидрокарбоната натрия, но и растворяет их, что ускоряет процесс регенерации этой ткани. После этого поры фильтровальной ткани продуваются сжатым воздухом (3.1_i);

- переходная зона: предотвращает попадание сжатого воздуха (3.1_i), подаваемого на продувку, в вакуумную полость.

За один оборот барабана ВФЛ совершается полный цикл фильтрования, а каждая ячейка барабана проходит все зоны, при этом частота вращения барабана ВФЛ 1–3 об/мин. Технологический процесс фильтрования гидрокарбонатной суспензии должен обеспечивать непрерывные материальные потоки со следующими показателями:

- гидрокарбонат натрия:
 - содержание NaCl, %, не более 0,4;
 - потери, %, не более 3,5;
 - влажность, % 13–18;
- фильтровая жидкость:
 - содержание хлора, н.д., не менее 90;

- промывная вода:

содержание хлорид-ионов, н.д., не более	0,2;
температура, °С	35–40;
- общий коллектор ВФЛ:

вакуум, гПа	400–500;
-------------	----------
- сжатый воздух перед ВФЛ:

давление, гПа	1100–1140.
---------------	------------

С учетом вышеизложенного для обеспечения регламентного значения соотношения расходов гидрокарбонатной суспензии (30) и промывной воды (1.5_i) на ВФЛ (2) с целью реализации полного цикла фильтрования и снижения влаги в полученном влажном гидрокарбонате натрия (31), необходимо реализовать автоматический контроль расходов гидрокарбонатной суспензии (30) и промывной воды (1.5_i) на ВФЛ (2) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расходов промывной воды с коррекцией по температуре этой воды и уровню суспензии (30) в общей емкости (1) (на примере одного ВФЛ).

Для обеспечения регламентного значения давления сжатого воздуха (3.1) и полного выполнения процессов зоны продувки на барабане ВФЛ (2), необходимо реализовать автоматический контроль давления этого воздуха в общем коллекторе с расчетом и выдачей управляющей воздействий на изменение расхода сжатого воздуха (3.1_i) на ВФЛ с коррекцией по его расходу (на примере одного ВФЛ).

Для обеспечения регламентного значения вакуума на ВФЛ (2) и полного выполнения процессов зон: собственно фильтрования, предварительной сушки и основной сушки на барабане ВФЛ, необходимо реализовать автоматический контроль вакуума в общем коллекторе перед вакуум-насосами (6) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим вакуумом изменением числа оборотов электродвигателей вакуум-насосов (6) (на примере одного ВФЛ).

Для обеспечения регламентной производительности ВФЛ (2), необходимо реализовать автоматический контроль уровня гидрокарбонатной суспензии в корыте ВФЛ с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление этим уровнем изменением расхода гидрокарбонатной суспензии (30) с коррекцией по её расходу (на примере одного ВФЛ).

Для обеспечения своевременного перекачивания гидрокарбонатной суспензии (30.1) из буферного сборника (8), необходимо реализовать автоматический контроль уровня этой суспензии в указанном сборнике с

расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса (9) перекачивания указанной суспензии в общую емкость (1) или пуск/останов этого электродвигателя насоса при необходимости.

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения фильтрования

Для фрагмента ФСАУТП отделения фильтрования необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль расходов гидрокарбонатной суспензии и промывной воды на ВФЛ, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода промывной воды с коррекцией по температуре этой воды и уровню указанной суспензии в общей емкости;

- автоматический контроль давления сжатого воздуха в общем коллекторе этого воздуха, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение расхода сжатого воздуха на ВФЛ с коррекцией по его расходу;

- автоматический контроль вакуума в общем коллекторе перед вакуум-насосом, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление вакуумом изменением числа оборотов электродвигателя вакуум-насоса;

- автоматический контроль уровня гидрокарбонатной суспензии в корыте ВФЛ, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление этим уровнем изменением расхода указанной суспензии на ВФЛ с коррекцией по её расходу;

- автоматический контроль уровня гидрокарбонатной суспензии в буферном сборнике, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса перекачки этой суспензии в общую емкость или пуск/останов электродвигателя насоса при необходимости.

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделения фильтрования

1. АУТП – регламентным значением соотношения расходов гидрокарбонатной суспензии и промывной воды на ВФЛ с целью реализации полного цикла фильтрования и снижения влаги в полученном влажном гидрокарбонате натрия обеспечивается изменением расхода промывной воды с коррекцией по температуре этой воды и уровню указанной суспензии в общей ёмкости (на примере одного ВФЛ):

- ПП/ПрП – поз. 1-а – КВАНТ ДТ.1;
- ПП – поз. 5-а, 6-а – ДК-0,6;
- ПрП – поз. 5-б, 6-б – КВАНТ ДД.12;
- ПП – поз. 7-а – ОУДГ;
- ПрП – поз. 7-б – КВАНТ ДГ.15
- МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
- ИМ – поз. 1-б – МЭО-1.

2. АУТП – регламентным значением давления сжатого воздуха в общем коллекторе этого воздуха и полного выполнения процессов продувки на барабане ВФЛ обеспечивается изменением расхода сжатого воздуха на каждый ВФЛ с коррекцией по его расходу (на примере одного ВФЛ):

- ПрП – поз. 2-а – КВАНТ ДИ.11;
- ПП – поз. 4-а – ДК-0,6;
- ПрП – поз. 4-б – КВАНТ ДД.12;
- МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
- ИМ – поз. 2-б – МЭО-1.

3. АУТП – регламентным значением вакуума на каждом ВФЛ и полного выполнения процессов зон: собственно фильтрования, предварительной сушки и основной сушки на барабане ВФЛ обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя вакуум-насоса с коррекцией по вакууму в общем коллекторе перед вакуум-насосом (на примере одного ВФЛ):

- ПрП – поз. 3-а – КВАНТ ДВ.14;
- МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
- ИМ – поз. 3-б – ПМЕ в комплекте.

4. АУТП – регламентной производительностью ВФЛ обеспечивается изменением расхода гидрокарбонатной суспензии на каждый ВФЛ с коррекцией по её расходу и уровню гидрокарбонатной суспензии в корыте ВФЛ (на примере одного ВФЛ):

- ПП – поз. 5-а – ДК-0,6;

ПрП – поз. 5-б – КВАНТ ДД.12;
ПП – поз. 8-а – ОУДГ;
ПрП – поз. 8-б – КВАНТ ДГ.15;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 8-в – МЭО-1.

5. АУТП – своевременным перекачиванием гидрокарбонатной суспензии из буферного сборника обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя насоса перекачки этой суспензии в общую ёмкость или пуск/останов электродвигателя при необходимости:

ПП – поз. 9-а – ОУДГ;
ПрП – поз. 9-б – КВАНТ ДГ.15;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 9-в – ПМЕ в комплекте.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения фильтрации обеспечивает поступление на кальцинацию влажного гидрокарбоната натрия, содержащего: хлорида натрия не более 0,4%, общего аммиака не более 0,8%, влажностью 13–18%.

Л е к ц и я 6

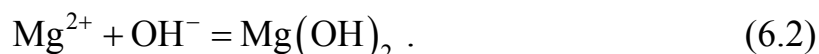
Автоматизированное управление технологическими процессами очистки раствора хлорида натрия

1. Физико-химические процессы очистки раствора хлорида натрия
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения очистки сырого рассола

Раствор хлорида натрия (сырой рассол) (NaCl) получают путем: подземного выщелачивания каменной соли в скважинах методом гидро-вруба; растворением каменной соли, добытой в шахтах; а также путем садки соли в специальных бассейнах или в естественных озерах с получением сырого рассола необходимой концентрации. В любом случае не удастся получить чистый сырой рассол для непосредственного использования. Поэтому в производстве соды сырой рассол подвергают очистке от солей кальция и магния [1, 2, 6]. Если их предварительно не удалить, то на последующей стадии (абсорбции) при поглощении аммиака и диоксида углерода из рассола будут выпадать в осадок плохо растворимые соединения $\text{NaCl} \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$; CaCO_3 ; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; $(\text{NH}_4)\text{CO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, что приведет к засорению аппаратуры, трубопроводов и в дальнейшем к загрязнению готовой продукции (кальцинированной соды).

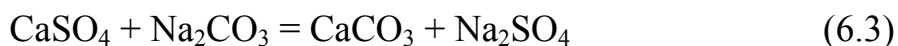
1. Физико-химические процессы очистки раствора хлорида натрия

На производствах соды сырой рассол очищают от примесей известково-содовым способом. Для осаждения солей кальция используют содовый раствор, для осаждения солей магния – известковую суспензию. В основе этого способа лежат реакции ионного обмена, приводящие к образованию трудно растворимых карбоната кальция и гидроксида магния:



Полнота выделения ионов кальция и магния в осадок, то есть степень очистки, определяется растворимостью CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в растворе хлорида натрия. Косвенным параметром, характеризующим полноту выделения ионов кальция и магния в осадок, служит величина рН, что важно

учитывать при создании АУТП очистки рассола. При расчёте количества соды, требуемой для очистки сырого рассола, учитывают, что в рассоле кроме гидрокарбоната натрия присутствует сульфат кальция, вступающий в реакцию:



Образовавшаяся при этом хорошо растворимая соль Na_2SO_4 (сульфат натрия) усложняет в дальнейшем процесс дистилляции, так как при взаимодействии её с известковой суспензией образуются отложения гипса и происходит инкрустирование стенок дистиллера.

Сам же процесс очистки рассола следует проводить таким образом, чтобы сравнительно быстро получить прозрачный рассол с малым количеством шлама. На кинетику процесса очистки сырого рассола большое влияние оказывают интенсивность и продолжительность перемешивания в момент осаждения ионов кальция и магния из рассола, обеспечивающие равномерное распределение реагентов в объёме очищаемого рассола. Вполне достаточным является перемешивание за счет кинетической энергии поступающей в реактор смеси сырого рассола с реагентами. При очистке рассола с высоким содержанием ионов магния необходимая скорость и полнота его осаждения достигаются при последовательном введении в рассол сначала известковой суспензии, а затем – содового раствора. Необходимо отметить, что с повышением температуры рассола увеличивается скорость отстоя и уплотнение шлама. С другой стороны, повышение температуры нежелательно для последующего процесса – абсорбции. Поэтому на стадии очистки рассола температуру рассола поддерживают не выше 22 °С.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения очистки сырого рассола

Краткое описание технологического процесса отделения очистки рассола с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделения очистки сырого рассола известково-содовым способом производства соды разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 6).

Сырой рассол (28.1) поступает из промысла рассола в сборники (8) сырого рассола (ССР) (на рис. 6 показан один) диаметром 10,1 м, высотой 10,62 м и объемом 3000 м³.

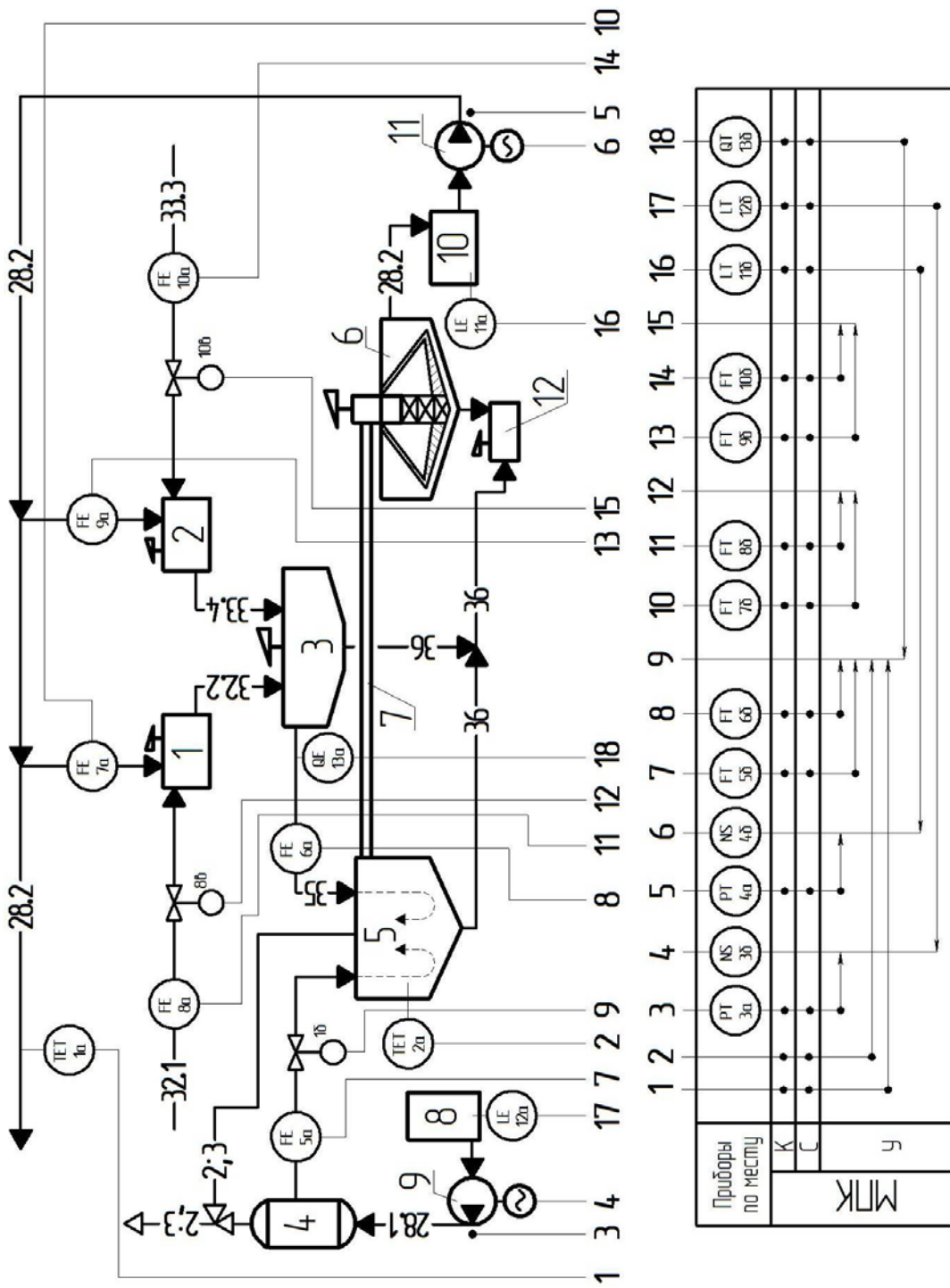


Рисунок 6 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения очистки рассола

Очистка сырого рассола известково-содовым способом выполняется следующим образом. В напорный бак (1) диаметром 4 м, высотой 2,52 м и объемом 25 м³ с мешалкой подают содовый раствор (32.1) (для приготовления используется сода) и очищенный рассол (28.2). В напорный бак (2) диаметром 2,73 м, высотой 4 м и объёмом 16 м³ с мешалкой поступает известковая суспензия (33.3) и очищенный рассол (28.2). В указанных баках с мешалками происходит приготовления необходимых реагентов (32.2) и (33.4), которые поступают в смеситель (3) реагентов с мешалкой для получения каустифицированного раствора (35), величину рН которого необходимо контролировать. Приготовленный раствор (35) из смесителя (3) поступает в реактор (5) диаметром 5 м, высотой 10,57 м и объёмом 140 м³. В этот же реактор (5) из ССР (8) насосом (9) с электродвигателем через расширитель (4) подаётся сырой рассол (28.1). Паровоздушные смеси (2;3) из расширителя (4) и реактора (5) выбрасываются в атмосферу.

Реактор (5) не имеет мешалки, но трубы, подводящие каустифицированный раствор (35) и сырой рассол (28.1) в этот реактор, имеют U-образные формы. Поэтому требуемое перемешивание достигается за счет большой скорости поступления жидкостей из U-образных труб реактора. Для осуществления регламентного течения процесса в реакторе (5) температуру пульпы необходимо поддерживать в пределах 17 ± 3 °С.

Реактор (5) соединен с отстойником Дорра (6), диаметром 18 м и высотой 8,2 м, специальным трубопроводом (7), по которому поступает пульпа сверху в этот отстойник (6) и по центральной трубе, не доходящей до дна, опускается вниз. Затем рассол поднимается вверх отстойника Дорра (6), отделяясь от твердой фазы. Очищенный рассол (28.2) удаляется из отстойника Дорра (6) через переливной жёлоб, расположенный по периферии, и направляется в сборник (10) (СОР) этого рассола (28.2) (размеры такие как ССР (8)), откуда насосом (11) с электродвигателем подаётся в напорный бак абсорбции (на рис. 6 не показан). Шлам (36) из нижней части отстойника Дорра (6) через специальные трубы периодически спускается в сборник шлама (12) с мешалкой, сюда же поступает шлам (36) из смесителя (3) и реактора (5). В сборнике (12) шлам (36) разбавляется водой и перекачивается на переработку (на рис. 6 не показано). Для получения очищенного рассола (28.2) высокого качества при минимальных затратах реагентов и максимальной производительности отделения необходимо соблюдать следующие нормы технологического режима:

- содовый раствор (32.1):

содержание соды, н.д	22–25;
хлорид-ионов, н.д	92–94;

- известковая суспензия (33.3):

содержание активного оксида кальция, н.д.	60–75;
---	--------
- сырой рассол (28.1):

содержание, н.д.	
Ca^{2+}	0,02;
Mg^{2+}	0,07;
SO_4^{2-}	0,17;
Cl^-	104–106;
- очищенный рассол (28.2):

содержание, н.д.	
Ca^{2+} , не более	0,02;
Mg^{2+} , не более	0,007;
Na_2CO_3	0,2–0,3;
NaOH	0,05–0,06;
Cl^- , не менее	103,6;
температура, °С	19±3.

С учетом вышеизложенного для обеспечения соблюдения указанных регламентных норм технологического режима получения очищенного рассола (28.2) необходимо реализовать автоматический контроль расходов сырого рассола (28.1) и каустифицированного раствора (35) в реактор (5) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода сырого рассола с коррекцией по: температурам очищенного рассола (28.2) на абсорбцию и пульпы в реакторе (5) и величине рН каустифицированного раствора (35).

Для обеспечения нормальной работы насоса (9) подачи сырого рассола (28.1) через расширитель (4) в реактор (5), необходимо реализовать автоматический контроль давления в напорном патрубке этого насоса с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса с коррекцией по уровню сырого рассола в ССР (8).

Для обеспечения нормальной работы насоса (11) подачи очищенного рассола (28.2) на абсорбцию, необходимо реализовать автоматический контроль давления в напорном патрубке этого насоса с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса с коррекцией по уровню очищенного рассола в СОР (10).

Для обеспечения регламентного соотношения расходов содового раствора (32.1) и очищенного рассола (28.2) в напорный бак (1), необходимо реализовать автоматический контроль указанных расходов с расчетом

и выдачей управляющих воздействий на управление указанным соотношением изменением расхода содового раствора.

Для обеспечения регламентного соотношения расходов известковой суспензии (33.3) и очищенного рассола (28.2) в напорный бак (2), необходимо реализовать автоматический контроль указанных расходов с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление указанным соотношением изменением расхода известковой суспензии

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения очистки рассола

Для фрагмента ФСАУТП описанного технологического процесса необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль расходов сырого рассола и каустифицированного раствора в реактор, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода сырого рассола с коррекцией по: температурам очищенного рассола на абсорбцию и пульпы в реакторе и величине рН каустифицированного раствора в реакторе;

- автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса подачи сырого рассола в реактор, технологическая сигнализация в случае выхода его на нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по уровню сырого рассола в ССР;

- автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса подачи очищенного рассола на абсорбцию, технологическая сигнализация в случае выхода его на нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по уровню очищенного рассола в СОР;

- автоматический контроль расходов содового раствора и очищенного рассола в напорный бак, технологическая сигнализация в случае выхода их на нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода содового раствора;

- автоматический контроль расходов известковой суспензии и очищенного рассола в напорный бак, технологическая сигнализация в случае выхода их на нормы технологического регламента, расчет и выдача

управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода известковой суспензии.

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделения очистки сырого рассола

1. АУТП – регламентными нормами технологического режима получения очищенного рассола высокого качества при минимальных затратах реагентов и максимальной производительности отделения обеспечивается регламентным значением соотношения расходов сырого рассола и каустифицированного раствора в реактор изменением расхода сырого рассола с коррекцией по: температурам очищенного рассола на абсорбцию и пульпы в реакторе и величине рН каустифицированного раствора в реакторе:

ПП/ПрП – поз. 1-а, 2-а – КВАНТ ДТ.1;

ПП – поз. – 5-а, 6-а – ДК- 0,6;

ПрП – поз. – 5-б, 6-б – КВАНТ ДД.12;

ПП – поз. 13-а – рН-261;

ПрП – поз. 13-б – Ш-703;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 1-б – МЭО-1.

2. АУТП – нормальным давлением в напорном патрубке насоса подачи сырого рассола в реактор обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по уровню сырого рассола в ССР:

ПрП – поз. 3-а – КВАНТ ДИ.11;

ПП – поз. 12-а – ОУДГ;

ПрП – поз. 12-б – КВАНТ ДГ.15;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 3-б – ПМЕ в комплекте.

3. АУТП – нормальным давлением в напорном патрубке насоса подачи очищенного рассола на абсорбцию обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя этого насоса с коррекцией по уровню очищенного рассола в СОР:

ПрП – поз. 4-а – КВАНТ ДИ.11;

ПП – поз. 11-а – ОУДГ;

ПрП – поз. 11-б – КВАНТ ДГ.15;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 4-б – ПМЕ в комплекте.

4. АУТП – регламентным значением соотношения расходов содового раствора и очищенного рассола в напорный бак обеспечивается изменением расхода содового раствора:

ПП – поз. 7-а, 8-а – ДК-0,6;

ПрП – поз. 7-б, 8-б – КВАНТ ДД.12;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 8-в – МЭО-1.

5. АУТП – регламентным значением соотношения расходов известковой суспензии и очищенного рассола в напорный бак обеспечивается изменением расхода известковой суспензии:

ПП – поз. 9-а, 10-а – ДК-0,6;

ПрП – поз. 9-б, 10-б – КВАНТ ДД.12;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 10-в – МЭО-1.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения очистки сырого рассола обеспечивает поступление на абсорбцию очищенного рассола с содержанием: хлорид-ионов 104–106 н.д.; кальций-ионов не более 0,02 н.д.; магний-ионов не более 0.007 н.д.; температурой 12–22 °С.

Л е к ц и я 7

Автоматизированное управление технологическими процессами кальцинации

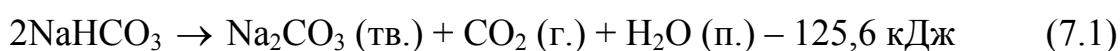
1. Физико-химические основы процесса кальцинации
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения кальцинации

Основным назначением отделения кальцинации как заключительной стадии в производстве соды [1, 2, 6] является термическое разложение гидрокарбоната натрия и получение определенного количества соды в виде непрерывного материального потока со следующими показателями:

- содержание, %:
 - карбоната натрия (Na_2CO_3) не менее 99,24;
 - хлоридов в пересчете на NaCl не более 0,54;
- насыпная плотность, т/м^3 0,5–0,55;
- температура соды на выходе, $^\circ\text{C}$ 160– 200.

1. Физико-химические основы процесса кальцинации

Влажный гидрокарбонат натрия поступает на кальцинацию, где в процессе его термического разложения образуется сода кальцинированная, диоксид углерода и пары воды. Сухой гидрокарбонат натрия (NaHCO_3) при нагревании разлагается по реакции:

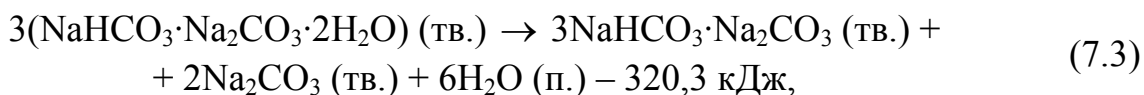


Это разложение при суммарном давлении CO_2 (г.) + H_2O (п.), равном 100 кПа, протекает при температуре 120 $^\circ\text{C}$. По правилу фаз эта система имеет одну степень свободы, поэтому равновесное давление паровой фазы зависит от температуры. С повышением температуры равновесие сдвигается вправо, а скорость реакции возрастает. В практических условиях процесс разложения гидрокарбоната натрия усложняется наличием примесей и большого количества влаги. Наличие влаги в гидрокарбонате натрия усложняет аппаратное оформление, так как влажный гидрокарбонат натрия мало сыпуч и налипает на внутренние стенки аппарата. Последнее объясняется тем, что влага, представляющая собой насыщенный раствор NaHCO_3 , при контакте с горячей поверхностью, интенсивно испаряется.

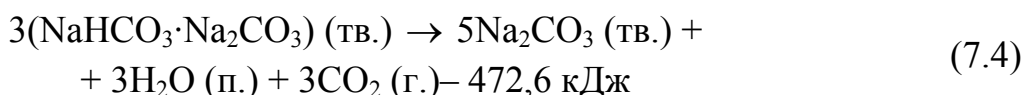
Выделяющаяся твердая фаза, кристаллизуясь, образует плотно прилипающую к поверхности корку. Твердый слой соды обладает низкой теплопроводностью и поэтому ухудшает теплопередачу. Для борьбы с этим явлением влажный гидрокарбонат натрия смешивают с горячей содой (ретуром), в результате чего образуется новая твердая фаза – трона ($\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Свободная влага связывается в кристаллизационную, а продукт становится сыпучим:



Трона при нагревании сначала при температуре 111 °С теряет кристаллизационную воду:



а затем при температуре 127 °С происходит разложение двойной соли:



2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения кальцинации

Краткое описание технологического процесса отделения кальцинации с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

В отделениях кальцинации производства соды всё больше применяют паровые вращающиеся кальцинаторы (ПК) (1), поэтому с учетом этого и разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 7).

Влажный гидрокарбонат натрия (31) с общего ленточного транспортёра (10) плужковым сбрасывателем (7) подается в течку-бункер (6) вибрационным питателем (5), откуда этим же питателем и ленточным транспортёром (4) через ячеиный питатель (3) подается в питающий смеситель (2).

В этот смеситель поступает также ретурная сода (32.3) и сода (32.4), отделяемая от парогазовой смеси (2;10;11.2) кальцинации в циклоне (11).

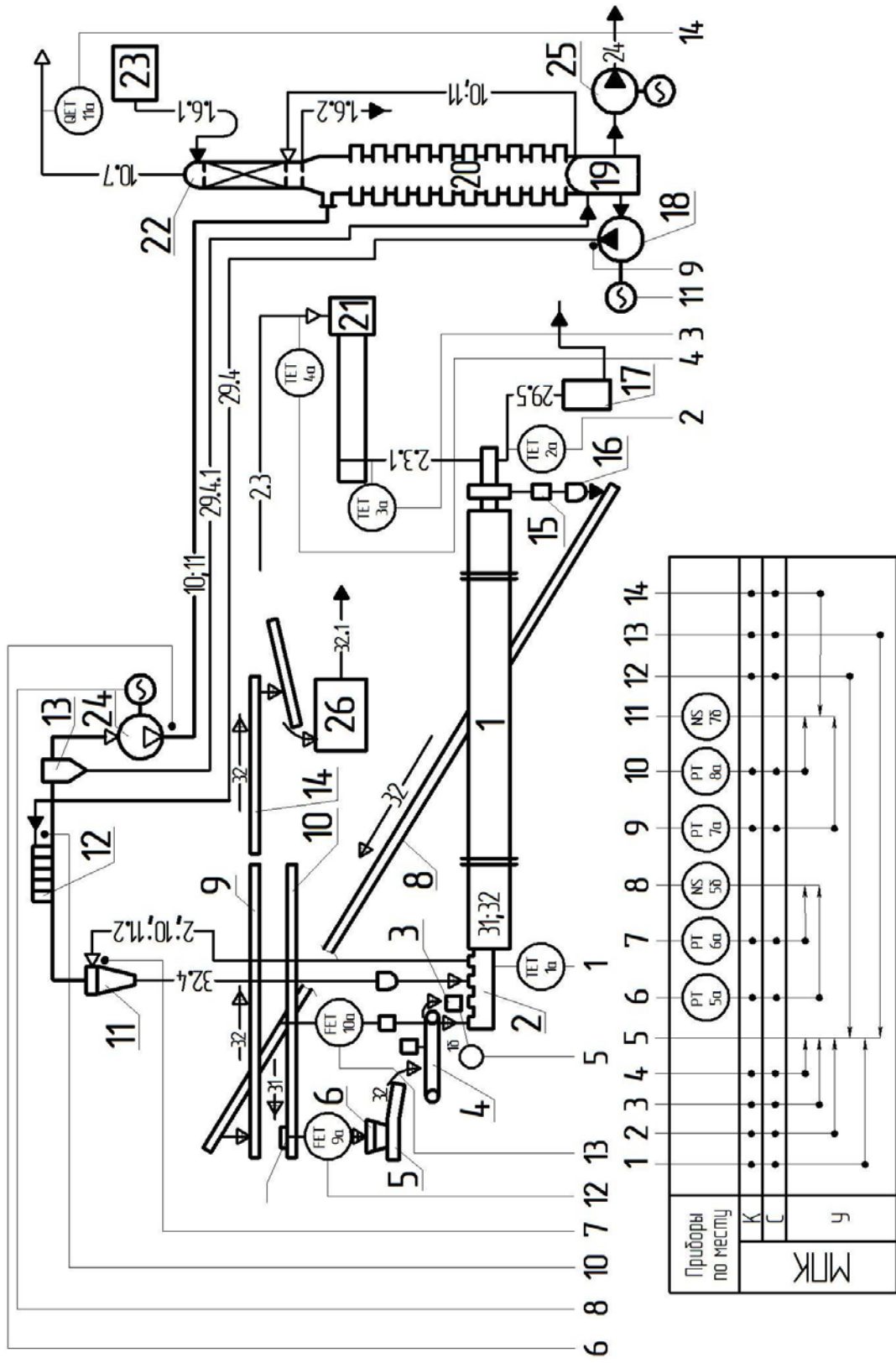


Рисунок 7 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения кальцинии

Подготовленную в питающем смесителе (2) смесь (трону) (31;32) направляют в межтрубное пространство барабана ПК (1). Благодаря вращению и наклону барабана, кальцинируемая масса перемещается вдоль оребренных труб в сторону выгрузки, контактируя с теплопередающими оребренными трубками. Тепло расходуется на испарение влаги гидрокарбоната натрия, химические реакции разложения и нагрев продуктов реакции. В результате тепловой обработки троны (31;32) получают кальцинированную соду (32) и парогазовую смесь кальцинации (2;10;11.2). Сода (32) через ячейковый питатель (15) выводится из ПК (1) и поступает на систему транспортёров (16;8;9). С транспортёра (8) через ячейковый питатель (3.1) производится отбор ретурной соды (32.3) в питающий смеситель (2). Остальная сода (32) транспортерами (9;14) подается на склад (на рис. 7 нет) и установку (26) приготовления содового раствора. Смесь (2;10;11.2) удаляется из ПК (1) через питающий смеситель (2). В нём с помощью компрессора (24) с электродвигателем создаётся вакуум. По пути к компрессору (24) смесь (2;10;11.2) проходит сухую очистку в циклонах (11). Затем – мокрую очистку в коллекторе (12) газа кальцинации, после него в сепараторе (13) пар (2) отделяется, конденсируется в слабую жидкость (29.4.1), которая поступает в сборник слабой жидкости (19), а газовая смесь (10;11) поступает в холодильник газа (ХГК) (20) для охлаждения и далее в промыватель газа (ПГК) (22) для мокрой очистки. На орошение в коллектор (12) газа кальцинации подают насосом (18) с электродвигателем слабую жидкость (29.4), образующуюся при конденсации водяных паров в ХГК (20). Жидкость (29.4), соприкасаясь с газовой смесью (2;10;11.2), поглощает частично аммиак (11), стекая после этого в виде слабой жидкости (29.4.1) в сборник (19). В ХГК (20) газовая смесь (10;11) проходит сверху вниз, а в трубах противотоком движется охлаждающая вода (на рис. 7 не показано). Для предупреждения закристаллизовывания трубок ХГК (20) и лучшей промывки газа межтрубное пространство орошается слабой жидкостью (29.4) (на рис. 7 нет). В ПГК (22) газовая смесь (10;11) орошается водой (1.6.1) из сборника (23) промывной воды (на выходе 1.6.2), при этом она дополнительно охлаждается и полностью отмывается от соды и аммиака, а диоксид углерода (10.7) поступает на карбонизацию (в составе газа первого ввода). Слабая жидкость (24) насосом (25) с электродвигателем подается на дистилляцию.

На кальцинацию подают водяной пар (2.3) высокого давления, перед подачей он проходит редуционную охлаждающую установку (РОУ) (21), где его температура снижается до 270 °С, а давление до 3 МПа;

поэтому для обогрева ПК (1) поступает пар (2.3.1). В трубках ПК (1) пар конденсируется, отдавая тепло троне (31;32). Конденсат (29.5) из ПК (1) выводится в сборник (17) конденсата и далее в расширители (на рис. 7 не показаны), где преобразуется в пар низкого давления.

Основное оборудование отделения кальцинации: ПК (1), ХГК (20) и ПГК (22). Производительность ПК (1) по соде: 300т/сутки; диаметр барабана ПК 2,6 м; длина барабана 20 м; поверхность нагрева 1280 м²; расход пара 1,7 т/т соды; частота вращения барабана 7 об/мин; температура соды на выходе 160–200 °С, содержание диоксида углерода в газе кальцинации (10.7) 98 % (об). Внутри стального барабана ПК (1) концентрически расположены три ряда оребренных греющих труб, развальцованных на концах в трубных решетках. Барабан и греющие трубы имеют уклон в сторону выгрузки. Пар (2.3.1) подают в кольцевую камеру со стороны выгрузки соды (32). Конденсат (29.5) из труб стекает в паровую камеру, а из неё в кольцевую камеру конденсата, разделенную перегородками на три секции. Попав в секцию при нижнем её положении, конденсат (29.5) выводится из неё в процессе вращения барабана. Герметизация вращающегося барабана осуществляется с помощью торцевых уплотнений.

ХГК (20) внутри имеет ряд соединенных друг с другом холодильных бочек, аналогичных применяемым в КЛ.

ПГК (22) представляет собой насадочный массообменный аппарат, заполненный деревянной хордовой насадкой или керамическими кольцами Рашига и орошаемый водой (высота слоя насадки 7 м).

С учетом вышеизложенного для получения соды (32) высокого качества при минимальных затратах пара и максимальной производительности ПК (1), необходимо реализовать автоматический контроль расходов влажного гидрокарбоната натрия (31) и ретурной соды (32.3) в питающий смеситель (2) с расчётом и выдачей управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода гидрокарбоната натрия (31) с коррекцией по температурам: троны (31;32) в питающем смесителе (2); соды (32) на выходе из ПК (1); пара (2.3.1), подаваемого в ПК (1), и пара (2.3) на входе в РОУ (21).

Для обеспечения регламентного значения вакуума для удаления парогазовой смеси (2;10;11.2) из питающего смесителя (2) через циклон (11) с помощью компрессора (24) с электродвигателем, необходимо реализовать автоматический контроль указанного вакуума перед циклоном (11) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя компрессора (24) с коррекцией по давлению в напорном патрубке этого компрессора.

Для обеспечения регламентным значением разности давлений слабой жидкости (29.4), подаваемой насосом (18) с электродвигателем, в коллектор (12) газа кальцинации для мокрой очистки газовой смеси (10;11) после циклона (11) и в напорном патрубке этого насоса, необходимо реализовать автоматический контроль давлений в указанном патрубке и на входе указанной жидкости в коллектор (12) газа с расчетом и выдачей управляющих воздействий на управление разностью указанных давлений изменением числа оборотов электродвигателя насоса (18) с коррекцией по концентрации диоксида углерода (10.7) после ПГК (22).

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделения кальцинации

Для фрагмента ФСАУТП отделения кальцинации необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль расходов влажного гидрокарбоната натрия и ретурной соды в питающий смеситель, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление соотношением указанных расходов изменением расхода гидрокарбоната натрия с коррекцией по температурам: троны в питающем смесителе, соды на выходе из ПК, пара, подаваемого в ПК, и пара на входе в РОУ;

- автоматический контроль вакуума перед циклоном, создаваемого компрессором удаления парогазовой смеси из питающего смесителя, технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя указанного компрессора с коррекцией по давлению в напорном патрубке компрессора;

- автоматический контроль давлений в напорном патрубке насоса подачи слабой жидкости для мокрой очистки газовой смеси в коллектор газа после циклона и на входе указанной жидкости в коллектор газа, технологическая сигнализация в случае выхода их за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на управление разностью указанных давлений изменением числа оборотов электродвигателя насоса с коррекцией по концентрации диоксида углерода после ПГК.

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделения кальцинации

1. АУТП – получением соды высокого качества при минимальных затратах пара и максимальной производительности ПК обеспечивается регламентным значением соотношения расходов влажного гидрокарбоната натрия и ретурной соды в питающий смеситель изменением расхода этого гидрокарбоната натрия с коррекциям по температурам: троны в питающем смесителе, соды на выходе из ПК, пара, подаваемого в ПК, и пара на входе в РОУ:

ПП/ПрП – поз. 1-а, 2-а – КВАНТ ДТ.1;

ПП/ПрП – поз. 3-а, 4-а – ТСПУ-0288;

ПП/ПрП – поз. 9-а – MaxxFlow;

ПП/ПрП – поз. 10-а – SolidFlow;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 1-б МЭО-1.

2. АУТП – регламентным значением вакуума перед циклоном, создаваемого компрессором для удаления парогазовой смеси из питающего смесителя, обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя указанного компрессора с коррекцией по давлению в напорном патрубке компрессора:

ПрП – поз. 5-а – КВАНТ ДИ.11;

ПрП – поз. 6-а – КВАНТ ДВ.14;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 5-б – ПМЕ в комплекте.

3. АУТП – регламентным значение разности давлений в напорном патрубке насоса подачи слабой жидкости для мокрой очистки газовой смеси в коллектор газа после циклона и на входе указанной жидкости в коллектор газа обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя указанного насоса с коррекцией по концентрации диоксида углерода после ПГК:

ПрП – поз. 7-а, 8-а – КВАНТ ДИ.11;

ПП/ПрП – поз. 11-а – ОКА;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 7-б – ПМЕ в комплекте.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделения кальцинации обеспечивает производительность вращающегося ПК по соде: 300 т/сутки; с содержанием карбоната натрия в ней не менее 99,2%; а также содержанием диоксида углерода 98% (об.) в газе после ПГК.

Л е к ц и я 8

Автоматизированное управление технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести

1. Физико-химические основы процесса обжига карбоната кальция и гашения извести обжига карбоната кальция и гашения извести

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести

Диоксид углерода (CO_2) и известь (CaO) получают путем обжига карбоната кальция (известняка или мела) (CaCO_3) в известково-обжигательных печах шахтного типа (ИОП), а тепло для обжига выделяется в процессе сгорания топлива. Известь, в свою очередь, является исходным продуктом для получения известковой суспензии (гидроксида кальция) ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Известковую суспензию получают в результате гашения извести избытком воды. В производстве соды указанные технологические процессы протекают в отделениях обжига карбоната кальция и гашения извести [1, 2, 5, 6].

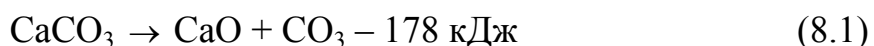
Основная функция отделения обжига карбоната кальция в ИОП состоит в получении требуемого количества диоксида углерода на карбонизацию и извести на гашение со следующими показателями:

- содержание диоксида углерода (CO_2) в газе, % (об.):
 - при обжиге известняка 40–42;
 - при обжиге мела 31–34;
- содержание оксида кальция (CaO) в извести, % (масс.) 80–85;
- степень разложения карбоната кальция (CaCO_3), % 91–96.

Основной функцией отделения гашения является получение требуемого количества известковой суспензии в виде непрерывных материальных потоков, направляемых на дистилляцию с содержанием оксида кальция 190–220 н.д.; и – на очистку рассола до 110 н.д.

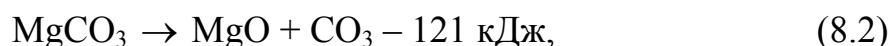
1. Физико-химические основы процессов обжига карбоната кальция и гашения извести

Карбонат кальция разлагается по эндотермической реакции:



Для смещения реакции вправо следует обеспечить подвод тепла в течение всего процесса разложения CaCO_3 . Для получения интенсивного

процесса и высокой степени диссоциации температуру обжига извести в ИОП поддерживают в интервале 1100–1200 °С. В зависимости от степени дисперсности СаО и СаСО₃ крупные кристаллы СаО стремятся к росту за счет менее крупных. В процессе обжига карбоната кальция разлагается также карбонат магния, содержащийся в нём в количестве 0,5–3 %, при 402–480 °С:



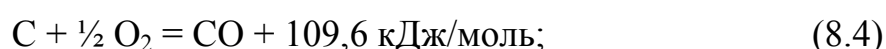
причем это разложение усиливается при нагревания сырья до 700 °С. Оксид магния менее активен по сравнению с оксидом кальция.

При обжиге наряду с реакциями разложения карбонатов кальция и магния протекают побочные вредные реакции, которые не могут быть использованы для получения известковой суспензии, что снижает эффективность обжига. Кроме того, сульфат кальция (СаSO₄) основное влияние оказывает на процесс обжига извести, понижая температуру образования жидкой фазы, а также влияет на процесс гидратации извести, сильно замедляя его.

Водяные пары оказывают влияние на процесс диссоциации СаСО₃ в области низких температур (650–750 °С). При высоких температурах (1000 °С и выше) присутствие водяного пара не влияет на процесс диссоциации.

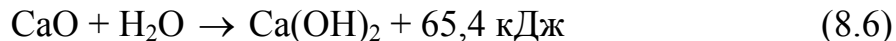
Оксид кальция, входящий в состав извести, может быть в виде свободного (активного или неактивного) либо связанного, то есть вступившего во взаимодействие с примесями и образовавшего новые соединения. Активный СаО это часть свободного оксида кальция, которая реагирует с водой в обычных условиях гашения. Неактивный СаО это часть свободного оксида кальция, которая не реагирует с водой в обычных условиях гашения, он образуется вследствие структурных изменений под воздействием высоких температур. При повышении температуры выше допустимой происходит образование крупных масс спекшейся извести, что нарушает режим работы печи.

Основными реакциями горения топлива являются:



В соответствии с характером термических процессов в ИОП, её условно делят на три последовательные тепловые зоны. В верхней части ИОП (зоне подогрева) происходит подсушка шихты (смесь карбоната кальция и топлива), нагревание шихты до температуры начала разложения карбоната кальция (около 850 °С) за счет тепла горячих газов, движущихся снизу вверх из зоны обжига (вторая зона). На границе этих зон температура газов достигает 900–1000 °С. При дальнейшем продвижении шихты вниз протекает горение топлива и разложение CaCO₃. В конце зоны обжига температура кусковых материалов и газов достигает максимума (1100–1200 °С), а разложение карбоната кальция прекращается, то есть, зоной обжига называют зону, в которой происходит разложение CaCO₃ и переход диоксида углерода в газовую фазу. В нижней части зоны обжига горение топлива ещё продолжается, а выделяющееся тепло расходуется на нагревание воздуха, поступающего из зоны охлаждения. В соответствии с этим зоной горения (третья зона) следует называть зону, в которой происходит расходование кислорода на сжигание топлива, а зона обжига составляет часть зоны горения.

Процесс гашения извести заключается во взаимодействии оксида кальция с водой:



Реакция (8.6) сопровождается большим экзотермическим эффектом, увеличением объема твердой фазы при использовании обычной извести. Гидроксид кальция образует структуру, которая кристаллизуется в форме пластин или призм (портландит). Кристаллы склонны к образованию агломератов, включающих частицы негашеной извести и диспергированные инертные примеси. Растворимость оксида и гидроксида кальция обратно пропорциональна температуре в интервале $0 \leq t \leq 100$ °С. Процессы гашения извести классифицируют в зависимости от мольного отношения взаимодействующих реагентов H₂O : CaO (так называемое отношение воды и извести).

В производстве соды распространенным является процесс мокрого гашения, при котором отношение воды и извести обеспечивает получение тестообразной известковой суспензии, пригодной для её транспортирования по трубопроводам с помощью обычных насосов.

Зависимость скорости гашения от степени измельчения исходной извести сказывается значительно, так для частиц размером 10–20 мм гашение протекает в 1,5 раза быстрее, чем гашение извести размером 60–80 мм.

2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести

Краткое описание технологических процессов отделений обжига карбоната кальция и гашения извести с обоснованием целесообразности выполнения конкретных функций

Для отделений обжига карбоната кальция и гашения извести разработан фрагмент ФСАУТП (рис. 8).

Основным аппаратом отделения обжига карбоната кальция является ИОП (3), которая представляет собой аппарат с диаметром внутренней части 6,2 м; высотой футерованной части 22,5 м; загруженная шихтой часть высотой 18,5 м. Производительность ИОП (3) по извести (85 %-ая СаО): 300 т/сутки; содержание СО₂ в отходящем газе 40,4 % (об.), температура отходящих газов 93 °С; содержание СаО (своб.) в извести 77,8 %, степень обжига карбоната кальция (известняка) 90 %.

Топливом для обжига карбоната кальция в ИОП (3) чаще всего используется кокс, имеющий размеры 30–70 мм. Теплота сгорания которого 25000–29300 кДж/кг, зольность не более 12 %, содержание серы не выше 2 %. Поэтому для краткого описания технологического процесса в качестве топлива будем рассматривать кокс, а – карбонатного сырья известняк, размеры кусков которого, как правило, 40–120 мм.

В отделение обжига известняк (38) и кокс (39) системой ленточных конвейеров транспортируются в соответствующие бункера, из которых выгружаются через электровибрационные питатели в бункерные электрические весы, дозирующие их по заданной массе и подают ленточным конвейером для предварительного перемешивания и получения шихты (37) (смесь известняка и кокса), которая подается в ковши скипового подъемника (на рис. 8 не показаны) и дальше в приемную воронку загрузочно-распределительного устройства (4) ИОП (3). Описанные операции дозировки компонентов шихты (37) и загрузки ИОП (3) автоматизированы, а для повышения надёжности работы указанного оборудования его дублируют (одно – работает, другое – находится в «горячем» резерве) на каждую ИОП (3). Ковши скипового подъёмника поочередно подают шихту (37) в указанную воронку загрузочно-распределительного устройства (4), из которого определенными порциями шихта периодически подается в ИОП (3), где в соответствии с характером термических процессов она условно проходит три последовательные тепловые зоны, описанные выше.

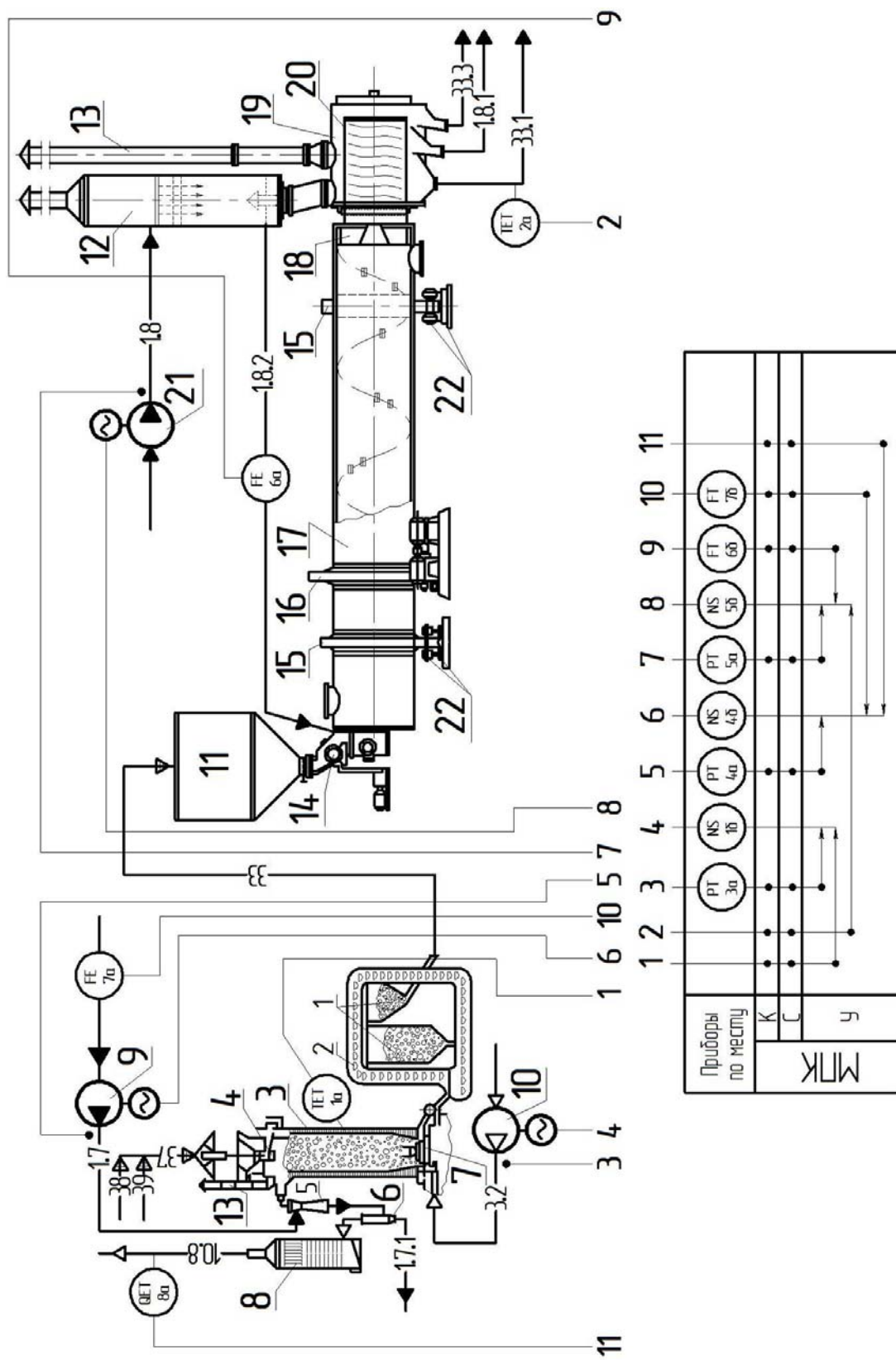


Рисунок 8 – Фрагмент функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести

Равномерное распределение шихты по сечению ИОП (3) обеспечивается с помощью вращающегося конуса с отбойником, а для выгрузки готовой извести служит вращающийся под в виде улиты. Вследствие вращения улиты известь (33) опускается и попадает на вращающийся кольцевой транспортер, с которого направляется на два выгрузочных устройства (7), расположенные один за другим (на рис. 8 не показаны). После них известь (33) попадает на ковшовый (2) транспортер и далее в бункер (1), после него известь (33) подается в загрузочный бункер (11).

Воздух (3.2) подается в ИОП (3) дутьевыми вентиляторами (10) с электродвигателями (на рис. 8 показан один). Газ (диоксид углерода), выходя из ИОП, очищается и охлаждается (первая ступень) в турбулентном промывателе газа (труба Вентури) (5), затем – (вторая ступень) в циклоне-каплеуловителе (6) (другое название – пенный аппарат). В электрофилтре (8) (на третьей ступени) газ освобождается от взвешенных частиц и чистый диоксид углерода (10.8) поступает на карбонизацию.

Загрузочно-распределительное устройство (4) имеет два клапана, поворотную приемную воронку и распределительный лоток с отбойником. Поворот лотка на угол $\sim 42^\circ$ производится после загрузки порции шихты (~ 3 т).

Выгрузочное устройство (улиты) (7) представляет собой валковый выгрузатель, в нём равномерно распределяется воздух (3.2) по поперечному сечению шихты, при этом поддерживается заданное положение зоны обжига. Дымовые газы удаляются из ИОП (3) вытяжной трубой (13).

Турбулентный промыватель газа (труба Вентури) (5) представляет собой сочетание суживающегося конфузора и расширяющегося диффузора. Вода (1.7) насосом (9) с электродвигателем подается в горловину этого промывателя для орошения. Запыленные газы, проходя суженную горловину трубы Вентури (5) со скоростью ~ 100 м/с, сталкиваются с жидкостью и разбивают её на капли. За счёт интенсивного движения частиц происходит укрупнение капель, которые легко выделяются из газа в циклоне-каплеуловителе (6) и удаляются из него (вода (1.7.1) на выходе).

Электрофильтр (8) – общей высотой 14,2 м и диаметром 5 м; числом коронирующих электродов 158, общая активная длина которых 560 погонных м, а диаметр электрода 3 мм.

В производстве соды используют вращающийся гаситель (17) непрерывного действия, представляющий собой пустотелый цилиндр с горизонтальной осью вращения; наружным диаметром корпуса 2,5 м и длиной 15 м. Снаружи этот корпус оснащён приваренными ребрами, для

крепления двух бандажей (15) для установки их на две пары опорных роликов (22), и зубчатого венца (16) для обеспечения вращения гасителя (17) с частотой 3,48 об/мин при помощи электродвигателя. Для защиты корпуса гасителя от абразивного износа его внутри облицовывают съёмным корпусом.

Барабанный питатель (14) служит для подачи извести (33) из загрузочного бункера (11) в гаситель (17), а привод вращения его барабана обеспечивает многоступенчатое изменение частоты вращения, которая при постоянном уровне извести в загрузочном бункере (11) пропорциональна требуемой производительности гасителя (17). Для обеспечения равномерного процесса перемещения материала к сортировочному барабану (20) и улучшения этого процесса внутри гасителя (17) имеется спиралевидная навивка, состоящая из приваренных к съёмному кожуху участков. Кроме того, гаситель (17) слегка наклонен в сторону выгрузки, обычно под углом $0,5^\circ$.

Сортировочный барабан (20) соединен с корпусом гасителя (17) при помощи фланца и вращается внутри неподвижного разгрузочного корпуса (19). Барабан (20) представляет собой цилиндр диаметром 1,9 м и длиной 2,6 м. На поверхности барабана (20) имеются отверстия, предназначенные для вывода концентрированной известковой суспензии (33.1) (первая секция), мелких отходов гашения и промывной воды (1.8.1) (вторая секция), известковой суспензии (33.3) (третья секция). Для равномерного перемещения выгружаемого материала внутри барабана (20) имеется навивка. На верхней части разгрузочного корпуса (19) установлены эжекционный подогреватель-конденсатор (12) и вытяжная труба (13). В этот конденсатор (12) насосом (21) с электродвигателем подается вода (1.8), часть которой в виде промывной воды (1.8.1) поступает во вторую секцию сортировочного барабана (20), а основная часть нагревается в эжекционном подогревателе-конденсаторе (12) и нагретая вода (1.8.2) поступает в гаситель (17). Выгрузка всех отходов гашения из гасителя (17) в сортировочный барабан (20) осуществляется разгрузочным корпусом (18).

Основными технологическими требованиями к процессу приготовления известковой суспензии (33.1) для отделения дистилляции и (33.3) – очистки рассола являются регламентные значения концентрации и температуры, при этом температура не должна превышать 90°C , а соотношение воды и извести (в %) 2,85 к 1. Выполнение указанных требований, особенно для известковой суспензии (33.1), способствует не только по-

вышению производительности дистилляции, но и сокращению расхода пара, аммиака, извести за счет уменьшения объема выходящей из дистиллера через песколовку в отстойник суспензии дистилляции (34.2).

С учетом вышеизложенного для обеспечения регламентного термического процесса в ИОП (3), учитывая автоматизированные операции по подготовке и подачи известняка (38) и кокса (39) в ИОП, необходимо предусмотреть автоматический контроль температуры в конце зоны обжига шихты с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя дутьевого вентилятора (10) подачи воздуха (3.2) в ИОП с коррекцией по давлению в напорном патрубке этого вентилятора.

Для обеспечения регламентной очистки и охлаждения диоксида углерода (10.8), удаляемого из ИОП (3), необходимо предусмотреть автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса (9) подачи охлажденной воды (1.7) в турбулентный промыватель газа (трубу Вентури) (5) с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя указанного насоса с коррекцией по расходу воды (1.7) и концентрации диоксида углерода (10.8), поступающего в отделение карбонизации.

Для обеспечения получения регламентного качества известковой суспензии (33.1), поступающей в отделение дистилляции, необходимо предусмотреть автоматический контроль температуры указанной суспензии с расчетом и выдачей управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса (21) подачи воды (1.8) в эжекционный подогреватель – конденсатор (12) с коррекцией по давлению в напорном патрубке этого насоса и расхода нагретой воды (1.8.2) в гаситель (17).

Описание функций, реализуемых при разработке автоматизированного управления технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести

Для фрагмента ФСАУТП отделений обжига карбоната кальция и гашения извести необходимо выполнить следующие функции:

- автоматический контроль температуры в конце зоны обжига шихты в ИОП, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя дутьевого вентилятора подачи воздуха в указанную печь с коррекцией по давлению в напорном патрубке этого вентилятора;

- автоматический контроль давления в напорном патрубке насоса подачи охлажденной воды в турбулентный промыватель газа (трубу Вентури), технологическая сигнализация в случае выхода его за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя указанного насоса с коррекцией по расходу охлажденной воды и концентрации диоксида углерода, поступающего в отделение карбонизации;

- автоматический контроль температуры известковой суспензии, поступающей в отделение дистилляции, технологическая сигнализация в случае выхода её за нормы технологического регламента, расчет и выдача управляющих воздействий на изменение числа оборотов электродвигателя насоса подачи воды в эжекционный подогреватель – конденсатор с коррекцией по давлению в напорном патрубке указанного насоса и расходу нагретой воды в гаситель.

Для реализации разработанных функций целесообразно применять выбранные современные КИП и СА, в том числе МПК (см. лекцию 1, раздел 3)

Описание названий автоматизированного управления технологическими процессами (АУТП) отделений обжига карбоната кальция и гашения извести.

1. АУТП – регламентным термическим процессом в ИОП, учитывая автоматизированные операции по подготовке и подачи известняка и кокса (шихты) в неё, обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя дутьевого вентилятора подачи воздуха в ИОП с коррекцией по: температуре в конце зоны обжига шихты в ИОП и давлению в напорном патрубке этого вентилятора:

ПП/ПрП – поз. 1-а – ТППУ-0288;

ПрП – поз. 3-а – КВАНТ ДИ.11;

МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;

ИМ – поз. 1-б – ПМЕ в комплекте.

2. АУТП – регламентными очисткой и охлаждением диоксида углерода, удаляемого из ИОП, обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя насоса подачи охлажденной воды в турбулентный промыватель газа (трубу Вентури) с коррекцией по: давлению в напорном патрубке этого насоса, расходу охлажденной воды и концентрации диоксида углерода:

ПрП – поз. 4-а – КВАНТ ДИ.11;

ПП – поз. 7-а – ДК-0,6;

ПрП – поз.-7-б – КВАНТ ДД.12;
ПП/ПрП – 8-а – ОКА;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 4-б – ПМЕ в комплекте.

3. АУТП – получением регламентного качества известковой суспензии, поступающей на дистилляцию, обеспечивается изменением числа оборотов электродвигателя насоса подачи воды в эжекционный подогреватель-конденсатор с коррекцией по: температуре известковой суспензии, давлению в напорном патрубке указанного насоса и расходу нагретой воды в гаситель:

ПП/ПрП – поз. 2-а – КВАНТ ДТ.1;
ПрП – поз. 5-а – КВАНТ ДИ.11;
ПП – поз. 6-а – ДК-0,6;
ПрП – поз.-6-б – КВАНТ ДД.12;
МПК – РЕМИКОНТ Р-2000;
ИМ – поз. 2-б – ПМЕ в комплекте.

Выводы

Разработанный фрагмент ФСАУТП отделений обжига карбоната кальция и гашения извести обеспечивает требуемую производительность указанных отделений с подачей в отделение дистилляции: известковой суспензии с содержанием оксида кальция (своб.) 190–220 н.д. и температурой не выше 90 °С, а также подачей в отделение карбонизации 40–42 % (общ.) диоксида углерода.

Вопросы для самоподготовки студентов к модульному контролю по лекциям 5–8

1. Основным назначением отделения фильтрования производства соды является ... (полное определение).

2. Основным аппаратом отделения фильтрования является вращающийся ...-... непрерывного ... , типа ...-...-.../..., где: поверхность фильтрования ... м², диаметр барабана ... м, длина барабана ... м.

3. Какие процессы протекают в зонах: собственно ... , предварительной ... , промывания ... и основной ... на поверхности барабана ВФЛ?

4. Какие процессы протекают в зонах: закрытой, подсоса ... жидкости, продувки и ... на поверхности барабана ВФЛ?

5. АУТП – регламентным значением соотношения расходов ... суспензии и ... воды на ВФЛ с целью ... полного цикла ... и снижения ... в полученном ... гидрокарбонате ... обеспечивается изменением ... промывной ... с коррекцией по ... этой ... и уровню ... суспензии в ... ёмкости.

6. АУТП – регламентным значением ... сжатого воздуха и полного ... процессов зоны ... на барабане ВФЛ обеспечивается изменением ... сжатого ... на ВФЛ с коррекцией по его ... на ВФЛ (на примере одного ВФЛ).

7. АУТП – регламентным значением ... на ВФЛ и полного ... процессов зон: ... фильтрования, ... сушки и ... сушки на ... барабане ... обеспечивается ... числа ... электродвигателя ... с коррекцией по ... в общем коллекторе ... вакуум-насосом (на примере одного ВФЛ).

8. АУТП – регламентной ... ВФЛ обеспечивается ... расхода ... суспензии на ... с коррекцией по её ... и уровню ... суспензии в корыте

9. Раствор ... натрия для ... соды ... путем: ... выщелачивания ... соли в скважинах методом ... ; растворением ... соли, добытой в ... и др. с получением ... рассола ... концентрации.

10. Приготовленный ... раствор из смесителя поступает в ... , в который из ССР насосом с электродвигателем через ... подается ... рассол.

11. ... не имеет мешалки, но ... , подводящие ... раствор и ... рассол в него, имеют ... -образные формы, поэтому требуемое ... достигается за счёт большой ... поступления ... из указанных ... , при этом температуру ... необходимо поддерживать в пределах ... ± ... °С.

12. Реактор соединен с ... Дорра ... трубопроводом, по которому поступает ... сверху в этот ... и по ... трубе, не доходящей до дна, опускается ... , а рассол ... вверх ... Дорра, отделяясь от ... фазы.

13. АУТП – регламентными ... технологического ... получения ... рассола высокого ... при ... затратах реагентов и ... производительности ... обеспечивается ... значением ... расходов ... рассола и ... раствора в ... изменением расхода ... рассола с коррекцией по: ... очищенного ... на ... и пульпы в ... и величине рН ... раствора.

14. АУТП – нормальной работой ... подачи ... рассола в ... по давлению в ... патрубке этого ... обеспечивается изменением ... оборотов ... этого ... с коррекцией по уровню ... рассола в

15. АУТП – ... значением ... расходов ... суспензии и ... рассола в ... бак обеспечивается ... расхода ... суспензии.

16. Основным ... отделения кальцинации как ... стадии в ... соды является ... разложение ... натрия и получение ... количества ... в виде ... материального ... с содержанием карбоната ... не менее ...,... %.

17. Твердый слой ... обладает низкой ... и поэтому ... теплопередачу, а для борьбы с этим ... влажный ... натрия смешивают с ... содой (...) и в результате ... новая ... фаза (...).

18. В ... смеситель ... следующие ... потоки: влажный ... натрия, ... сода и ... , отделяемая от ... смеси кальцинации в ... , а подготовленную ... направляют в ... пространство ... ПК.

19. Благодаря ... и ... барабана ПК, ... масса перемещается вдоль ... труб в сторону ... , контактируя с ... этими

20. В результате ... обработки ... получают ... соду и ... смесь кальцинации, сода через ... питатель выводится из ... и поступает на систему транспортеров.

21. Производительность ПК по соде ... т/сутки, диаметр барабана ПК ... м; длина барабана ... м; расход пара ... т/т соды.

22. АУТП – получением соды ... высокого при ... затратах ... и ... производительности ПК ... регламентным значением ... расходов ... натрия и ... соды в ... смеситель ... расхода ... натрия с ... по температурам: ... в ... смесителе, ... на выходе из ... , пара, подаваемого в ... , и ... на входе в

23. АУТП регламентным значением ... перед ... , создаваемого ... для удаления ... смеси из ... смесителя, ... изменением ... оборотов электродвигателя ... с коррекцией по ... в ... патрубке

24. АУТП – регламентным значением ... давлений в ... патрубке насоса подачи ... жидкости для ... очистки ... смеси в коллектор ... после ... и на ... указанной ... в этот коллектор ... изменением ... оборотов ... указанного насоса с коррекцией по ... диоксида ... после ПГК.

25. Основная функция отделения обжига карбоната кальция состоит в ... (полное определение).

26. Основной функцией отделения гашения является ... (полное определение).

27. Разложение ... кальция протекает по ... реакции ... (записать реакцию).

28. Активный ... кальция это часть кальция, которая ... с ... в обычных условиях ... , а неактивный ... кальция это часть кальция, которая ... реагирует ... с ... в обычных условиях

29. Характер ... процессов в шахтной ИОП условно делят на ... последовательные ... зоны. В ... части ИОП (зоне ...) происходит ... шихты до ... начала ... карбоната ... (около ... °С) за ... тепла ... газов.

30. На границе первой (...) и второй (...) зон ... газов достигает ...– ... °С, при дальнейшем перемещении шихты ... протекает ... топлива и ... карбоната ...

31. В конце зоны ... температура ... материала и ... достигает максимума (...–...°С), а ... карбоната ... прекращается, то есть, зоной ... называют зону, в которой происходит ... карбоната ... и переход ... углерода в ... фазу.

32. Зоной ... (третья зона) следует ... зону, в которой ... расходование ... на ... топлива, то есть, зона ... составляет часть зоны ... топлива.

33. Процесс гашения ... заключается во взаимодействии ... кальция с ... и протекает по реакции ... (записать реакцию).

34. Вращающийся ... непрерывного ... представляет собой ... цилиндр с ... осью вращения, наружным ... корпуса ... м и длиной ... м.

35. АУТП – регламентным ... процессом в ИОП, учитывая ... операции по ... и ... известняка и ... (...) в неё, обеспечивается ... числа ... электродвигателя ... вентилятора ... воздуха в неё с ... по: температуре в ... зоны ... шихты в ... и давлению в ... патрубке этого ...:

36. АУТП – регламентными ... и ... диоксида ... , удаляемого из ... , обеспечивается оборотов ... насоса воды в турбулентный ... газа (трубу ...) с коррекцией по расходу ... воды и ... диоксида

37. АУТП – получением ... качества ... суспензии, на ... , обеспечивается оборотов ... насоса ... воды в эжекционный ...-... с коррекцией по: ... известковой суспензии, ... в ... патрубке этого насоса и расходу ... воды в

Список литературы

1. Rant Z. Die Erzeugung von Soda nach dem Solvay Verfahren [Text] / Z. Rant. – Sarajevo : Forschungsinstitut für Bergbau und Chemische Technologie Tuzla, 1968. – 543 s.
2. Шокин И. Н. Технология соды : учеб. пособие для вузов [Текст] / И. Н. Шокин, С. А. Крашенинников. – М. : Химия. 1975. – 287 с.
3. Микулин Г. И. Дистилляция в производстве соды [Текст] / Г. И. Микулин, И. К. Поляков. – Л. : Госхимиздат, 1956. – 348 с.
4. Ткач Г. А. Моделирование десорбционных процессов содового производства [Текст] / Г. А. Ткач, В. Д. Смоляк. – Л. : Химия. 1973. – 207 с.
5. Табунщиков Н. П. Производство извести [Текст] / Н. П. Табунщиков. – М. : Химия. 1974. – 240 с.
6. Зайцев И. Д. Производство соды [Текст] / И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев. – М. : Химия. 1984. – 312 с.
7. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов в 2 ч. Ч. 1 [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, А. П. ГОТЛИНСКАЯ, В. А. ЛЕЩЕНКО и др.; под общей ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Х. : НТУ «ХПИ». 2004. – 632 с.
8. Процессы и аппараты химической технологии : учебник для вузов в 2 ч. Ч. 2 [Текст] / Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, А. П. ГОТЛИНСКАЯ, В. А. ЛЕЩЕНКО и др.; под общей ред. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКОГО. – Х. : НТУ «ХПИ». 2005. – 523 с.
9. Основи вимірювань і автоматизації технологічних процесів : підручник [Текст] / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, Ю. А. Бабіченко та ін. – Х. : Вид-во «С. А. М.». 2009. – 618с.
10. Бобух А. О. Автоматизація інженерних систем: навч. посібник [Текст] / А. О. Бобух. – Х. : ХНАМГ. 2005. – 212 с.
11. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: навч. посібник [Текст] / А. О. Бобух. – Х. : ХНАМГ. 2006. – 185 с.
12. Бобух А. А. Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным тепло-снабжением: монография [Текст] / А. А. Бобух, Д. А. Ковалев; под общ. ред. А. А. Бобуха. – Х. : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова. 2013. – 226 с.
13. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб. у 2 ч. Ч. 1. Вимірювальні пристрої [Текст] / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; за заг. ред. А. К. Бабіченко. – Х. : НТУ «ХПИ». 2001. – 470 с.

14. Промислові засоби автоматизації : навч. посіб. у 2 ч. Ч. 2. Регулювальні і виконавчі пристрої [Текст] / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов та ін.; за заг. ред. А. К. Бабіченко. – Х. : НТУ «ХП». 2003. – 658с.

15. Проектування систем автоматизації технологічних процесів : навч. посіб. [Текст] / В. І. Тошинський, М. О. Подустов, І. І. Литвиненко та ін. – Х. : НТУ «ХП». 2006. – 412с.

16. TRACE MODE 6. Интегрированная SCADA/HMI-SOFTLOGIC-EAM-HRM-система для АСУ ТП, АСКУЭ и систем управления производством : в 2 т. – М. : Adastra Research Group. 2008. – Т. 1 : Руководство пользователя. – 517 с. – Т. 2 : Руководство пользователя. – 508 с.

17. Лисаченко І. Г. Програмне забезпечення комп'ютерно-інтегрованих систем управління хіміко-технологічними процесами : навч.-метод. посіб. [Текст] / І. Г. Лисаченко. – Х. : НТУ «ХП». 2012. – 112 с.

18. Зайцев И. Д. Об одной задаче идентификации, возникающей при автоматизированном проектировании АСУ ТП содового производства [Текст] / И. Д. Зайцев, А. А. Бобух. – К. : Ин-т Кибернетики АН УССР (Препринт: 77–63). 1977. – С. 38–45.

19. Бобух А. А. Идентификация непрерывных химико-технологических процессов производства кальцинированной соды [Текст] / А. А. Бобух. – К. : Наук. думка. Химическая технология, № 3. 1984. – С. 6–9.

20. Бобух А. А. Алгоритм управления процессом регенерации аммиака в отделении дистилляции производства соды [Текст] / А. А. Бобух, И. И. Литвиненко, К. И. Беспалов // Интегровані технології та енергозбереження. НТУ «ХП». 2014. № 1. – С. 35–39.

Содержание

Введение	3
Условные сокращения	5
Л е к ц и я 1 Производство кальцинированной соды как объект автоматизированного управления технологическими процессами отрасли.....	6
1. Техничко-экономические оценки технологического процесса производства кальцинированной соды по аммиачному способу	7
2. Описание принципиальной схемы производства кальцинированной соды как объекта автоматизированного управления технологическими процессами отрасли.....	9
3. Краткие рекомендации по разработке функциональных схем автоматизированного управления технологическими процессами производства кальцинированной соды.....	12
Л е к ц и я 2 Автоматизированное управление технологическими процессами дистилляции.....	17
1. Физико-химические основы регенерации аммиака и диоксида углерода из фильтровой жидкости.....	17
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения дистилляции.....	19
Л е к ц и я 3 Автоматизированное управление технологическими процессами абсорбции.....	27
1. Физико-химические основы процесса абсорбции	27
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения абсорбции.....	28
Л е к ц и я 4 Автоматизированное управление технологическими процессами карбонизации	34
1. Физико-химические основы процесса карбонизации	34
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения карбонизации	37
Вопросы для самоподготовки студентов к модульному контролю по лекциям 1–4.....	45

Л е к ц и я 5 Автоматизированное управление технологическими процессами фильтрации	48
1. Физико-химические процессы фильтрации	48
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения фильтрации	49
Л е к ц и я 6 Автоматизированное управление технологическими процессами очистки раствора хлорида натрия.....	57
1. Физико-химические процессы очистки раствора хлорида натрия.....	57
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения очистки сырого рассола	58
Л е к ц и я 7 Автоматизированное управление технологическими процессами кальцинации	65
1. Физико-химические основы процесса кальцинации	65
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделения кальцинации	66
Л е к ц и я 8 Автоматизированное управление технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести	72
1. Физико-химические основы процессов обжига карбоната кальция и гашения извести	72
2. Разработка функциональной схемы автоматизированного управления технологическими процессами отделений обжига карбоната кальция и гашения извести.....	75
Вопросы для самоподготовки студентов к модульному контролю по лекциям 5–8	82
Список литературы.....	85

Навчальне видання

БОБУХ Анатолій Олексійович
ДЗЕВОЧКО Олександр Михайлович
ПОДУСТОВ Михайло Олексійович

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ
ПРОЦЕСАМИ ГАЛУЗІ
на прикладі виробництва кальцинованої соди
за аміачним способом**

Текст лекцій
для студентів спеціальності 7.05020201, 8.05020201
«Автоматизоване управління технологічними процесами»

Російською мовою

Відповідальний за випуск *А. К. Бабіченко*
Роботу до видання рекомендувала *М. Г. Зінченко*

В авторській редакції

План 2015 р., поз. 37

Підп. до друку 16.02.2015 р. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Папір офісний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,1. Наклад 100 пр.
Зам. № 11. Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
ТОВ «Видавництво «Підручник НТУ «ХП»»,
вул. Фрунзе, 21, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3656 від 24.12.2009 р.