

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и инженерной экологии

(наименование института полностью)

Кафедра «Рациональное природопользование и ресурсосбережение»

(наименование кафедры)

18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Рациональное природопользование, рециклинг и утилизация отходов

(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Оптимизация узла приготовления антиоксиданта марки ВС-1  
бутадиен-альфаметилстирольного каучука  
ООО «СИБУР Тольятти»

Студент

Н.В. Звезда

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Ю.Н. Шевченко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

### Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.п.н., доцент М.В. Кравцова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018г.

Тольятти 2018

## **Аннотация**

**Бакалаврскую работу выполнила:** Звездина Надежда Валерьевна

**Тема работы:** Оптимизация узла приготовления антиоксиданта марки ВС-1 бутадиен-альфаметилстирольного каучука ООО «СИБУР Тольятти»

**Научный руководитель:** Шевченко Юлия Николаевна

Бакалаврская работа выполнена на 57 страниц, 11 рисунков, 8 таблиц, использовано 37 источников.

Объектом исследования является «Установка приготовления, антиоксиданта ВС-1 синтетического бутадиен-стирольного каучука» на ООО «СИБУР Тольятти»

В теоретической части рассмотрены физико-химические основы процесса приготовления каучука и вспомогательный процесс приготовления антиоксиданта марки ВС-1.

В ходе выполнения работы предложена оптимизация очистки газообразного аммиака на узле приготовления антиоксиданта марки ВС-1 и схема с измененной обвязкой.

Проведены расчеты материального баланса антиоксиданта ВС-1.

Бакалаврская работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word и представлена на электронном носителе.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ установки синтетического бутадиен- альфаметилстирольного каучука на предприятии ООО «СИБУР Тольятти».....	8
1.1 Общая характеристика производства.....	8
1.2 Физико-химические свойства сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции на установке.....	10
1.3 Характеристика готовой продукции.....	16
2 Описание технологической схемы.....	20
2.1 Анализ существующей схемы приёма масла с антиоксидантом ВС-1.....	20
2.2 Узел приготовления антиоксиданта ВС-1.....	22
2.3 Физико-химические свойства антиоксиданта.....	27
2.4 Механизм действия антиоксидантов.....	29
2.5 Надежность охраны воздушного бассейна и водных ресурсов..	31
3 Предлагаемая схема очистки узла приготовления антиоксиданта ВС-1.....	33
3.1 Предлагаемое техническое решение.....	33
3.2 Закономерности термоокисления СКМС-30АРКМ-15 стабилизированного ВС-1.....	38
4 Расчетная часть.....	43
4.1 Расчет материального баланса антиоксиданта ВС-1.....	43
4.2 Описание предлагаемой модели колпачковой тарелки.....	45
4.3 Материальный баланс производства на 1 тонну каучука СКМС- 30АРКМ-15.....	50
4.4 Схема материальных потоков для каучука СКМС-30АРКМ-15.	52

Заключение.....	53
Список используемых источников.....	54

## Введение

«Отрасль химии и нефтехимии характеризуется широким спектром видов выпускаемой продукции, которая используется практически во всех отраслях народного хозяйства и в повседневном быту»[25].

«Мощности производства синтетического бутадиенальфаметилстирольного каучука составляют около 50% всех мощностей по синтетическому каучуку. На тольяттинской промышленной площадке был рассмотрен процесс синтетических бутадиенальфаметилстирольного каучука, и узел приготовления антиоксиданта ВС-1, основная масса получается сополимеризацией бутадиена и стирола»[31].

«В зависимости от условий полимеризации и состава применяемых компонентов выпускаются бутадиен-стирольные каучуки, различающиеся по составу и свойствам. Распределение звеньев бутадиена и стирола в макромолекуле полимера – нерегулярное, статистическое. И в силу статического характера чередования звеньев - не способны кристаллизоваться»[32].

«Каучуки, наиболее часто выпускаемые с содержанием связанного стирола 10, 30 или 50%»[8].

«Эмульсионную полимеризацию проводят при пониженной (4-8°C – «холодная полимеризация) и при высокой (50°C – «горячая» полимеризация) температуре. Холодные каучуки отличаются улучшенными свойствами - прочностью, эластичностью, меньшим пеклообразованием, прочностью связи в резиновых смесях, поэтому их выпуск составляет около 80% общего объема производства СКМС. Горячие каучуки содержат в себе 23,5-25% связанного стирола и выпускаются в меньших количествах»[8,12].

«Снижение температуры полимеризации приводит к уменьшению содержания в каучуке низкомолекулярных фракций, уменьшению степени

разветвленности и увеличению регулярности структуры полимера, что, в целом, приводит к улучшению качества полимера.

При получении маслonaполненных каучуков антиоксидант может быть растворен в масле и таким образом введен в каучук. Функция антиоксидантов замедлять процессы (термо)окисления полимеров. Группу эффективных, широко применяемых неокрашивающих антиоксидантов составляют замещенные фенолы»[8,12].

«С появлением маслonaполненного каучука общего назначения разработан способ введения антиоксидантов в растворе, масла, что значительно улучшило распределение их в полимере. СКМС-30 АРКМ-15 и СКМС-30 АРКМ-27 маслonaполненный каучук, получается полимеризацией при пониженных температурах. Этот каучук является основным видом общего назначения»[31].

«Увеличение молекулярного веса маслonaполненных каучуков позволяет в значительной степени компенсировать влияние масла и сохранить высокий комплекс прочностных показателей при хороших технологических свойствах. Резиновые смеси из маслonaполненных каучуков могут иметь неудовлетворительную клейкость вследствие некоторого выпотевания масла, что необходимо учитывать при выборе рецептуры резиновых смесей для резиновых изделий, изготовляемых путем сборки из отдельных деталей. Резины на основе маслonaполненных каучуков имеют пониженные механические свойства и усталостную выносливость, повышенный гистерезис и сцепление с мокрой поверхностью по сравнению с этими же показателями резин на основе каучуков, не содержащих масла»[8].

«Количество масла в маслonaполненных каучуках (в зависимости от типа каучуков) может колебаться в значительных пределах - от 15 до 50%. При содержании масла в каучуке выше определенного предела физические свойства каучука ухудшаются, и получаемый продукт не может быть использован в качестве каучука общего назначения»[32].

«При производстве маслonaполненных каучуков применяют ароматизированные масла. Вырабатывают два разных сорта такого ароматизированного масла как: ПН-6 (К), применяемое при производстве синтетического маслonaполненного бутадиен - альфаметилстирольного каучука, и ПН-6 (Ш), употребляется в шинной промышленности. Эти масла получают компаундированием экстрактов от фенольной очистки деасфальтизаторов и вязкой дистиллятной фракции заводских смесей. На этом явлении основано получение маслonaполненных каучуков, в которых минеральное масло выполняет роль низкомолекулярных полимерных фракций»[8].

Цель работы - повысить эффективность узла приготовления антиоксиданта марки ВС-1.

Задачи работы:

1. Изучить технологический процесс приготовления антиоксиданта марки ВС-1.
2. Предложить оптимизацию технологической схемы приготовления антиоксиданта.
3. Произвести расчеты по материальному балансу антиоксиданту марки ВС-1.

# **1 Анализ установки синтетического бутадиен - альфаметилстирольного каучука на предприятии ООО «СИБУР Тольятти»**

## **1.1 Общая характеристика производства**

«Установка синтетических бутадиен-альфаметилстирольных каучуков СКМС-30АРКМ-15 введена в эксплуатацию 1961 году.

Мощность установки и производства – 55 тыс. тонн/год.

Достигнутая на момент составления регламента (по итогам 2013 года) ~ 51641,322 тонн/год»[26,31].

«Установка каучука БСК-1502 была введена в эксплуатацию в 1993 г. Проектная мощность производства – 30 тыс. тонн/год.

Достигнутая на момент составления регламента (по итогам 2014 года) - 26785,52 тонн/год» [31].

«В технологическом регламенте описывается что, предусматривается выпуск маслонеполненного каучука марки СКМС-30АРКМ-15, без масляного каучука марки БСК-1502 и латекса СКМС-30 АРК»[31].

«Каучук СКМС-30АРКМ-15, содержит окрашивающий антиоксидант ВС-1, который вводится в латекс СКМС-30АРК вместе с ароматическим маслом.

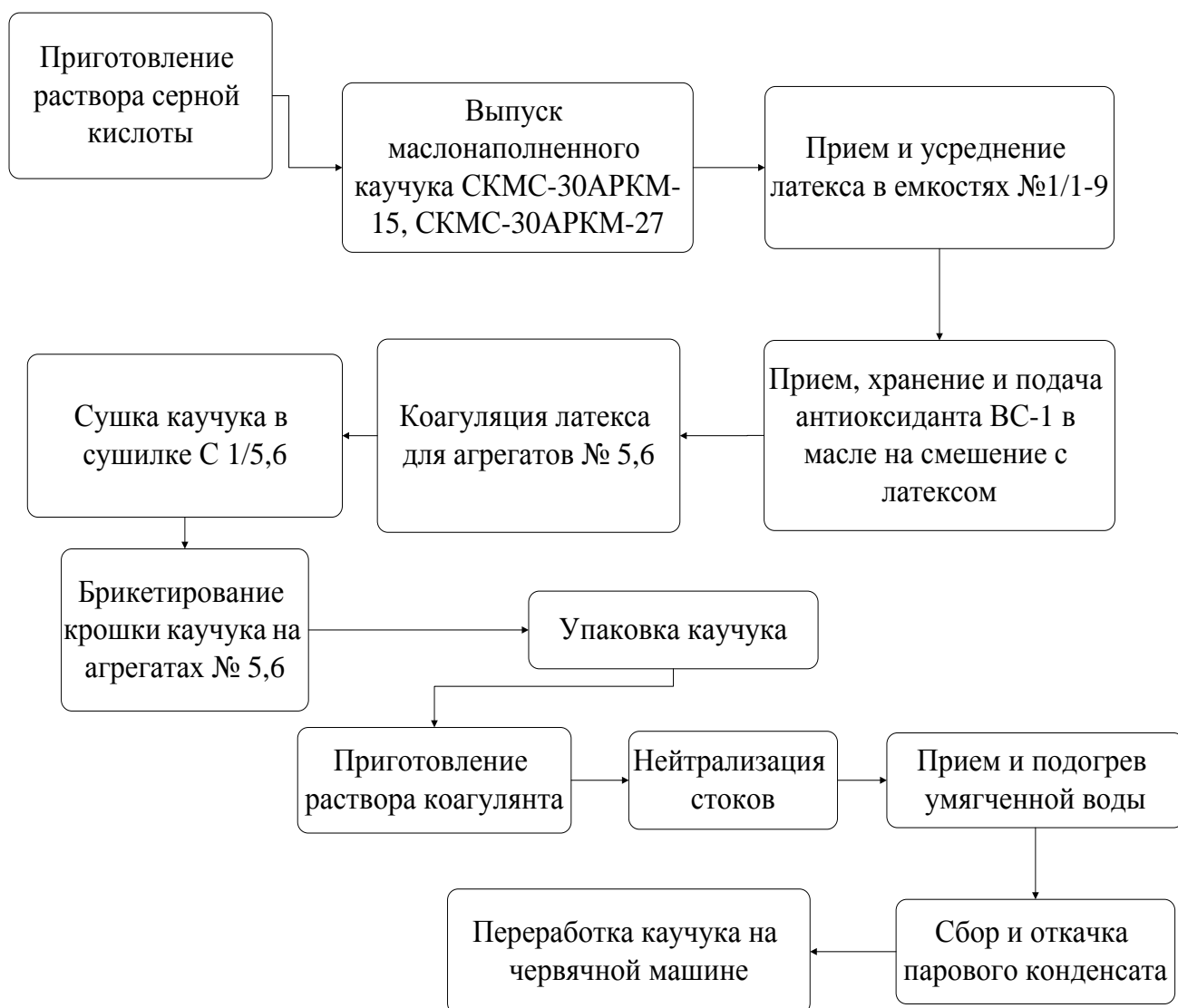
Латекс для производства каучука марок СКМС-30АРКМ-15, БСК-1502 получается методом эмульсионной низкотемпературной полимеризации»[31,26].



Производство эмульсионных каучуков включает цеха:



Процесс выделения и сушки синтетических бутадиен-альфаметилстирольных каучуков состоит из вспомогательных стадий:



## 1.2 Физико-химические свойства сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции

«Описание в технологическом регламенте физико-химических свойств, предельно допустимая концентрация продуктов применяемых на установке»[31].

Латекс СКМС-30АРК Технологический регламент ТР-Е-1-9-01-08  
«Получение латекса СКМС-30АРК »

Предел допустимой концентрации в воздухе:

- альфаметилстирол – 5 мг/м<sup>3</sup>;
- бутадиен – 100 мг/м<sup>3</sup>.

Массовая доля альфаметилстирола, % масс.:

- при работе прямоточного отгонного агрегата – 0,3;
- при работе противоточной колонны – 0,2.

Вязкость по Муни латекса для каучука СКМС-30АРКМ-15:

- группа 1 55 – 80 ед.;
- группа 2 70 – 95 ед.

«Имеет щелочную среду и может содержать до 0,3 % свободного альфаметилстирола. При длительном воздействии может вызвать экземное заболевание и раздражение кожных покровов. Пары альфаметилстирола раздражают слизистые оболочки, при попадании на кожу вызывают сильное жжение, возможно трещины. А так же при длительном воздействии вызывают изменение состава крови, увеличение печени. Альфаметилстирол обладает общетоксичными действиями. Бутадиен обладает наркотическим действием»[8,26].

Реагент «ЭПАМ», марка В.

- Внешний вид: жидкость, вязкая, желтого цвета, допускается опалесценция.
- Относится к 4 классу опасности.
- ПДК – 1 мг/м<sup>3</sup> (по диметиламину).

– Не горюч, не взрывоопасен. Оказывает кожно-раздражающее, аллергенное, резорбтивное - токсическое действие.

Раствор антиоксиданта ВС-1 в масле.

– Массовая доля антиоксиданта ВС-1 в пределах 1,5 – 2,0 %.

Раствор стабилизатора амина - фенольного типа в минеральном масле.

– Вязкая жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета, не содержащая механических включений.

– Горючая жидкость.

–  $T_{\text{вспышки}} - 250 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

–  $T_{\text{самовоспл.}} - 400 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

– Предел взрываемости – 100-400 % об.

– Токсическая опасность – 4 класс опасности.

– ПДК в воздухе рабочей зоны – 5 мг/м<sup>3</sup> (по маслу).

«Воздействие на людей и окружающую среду: возможно отравление парами масел при вдыхании масляного тумана. При случайном отравлении – рвота, головокружение, головная боль, быстрая утомляемость. А так же при частом попадании на кожу возможно хронические кожные заболевания»[16].

Серная кислота техническая контактная ГОСТ 2184-77 улучшенная 1 сорт.

–  $T_{\text{кипения}} - 167 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

– Токсическая опасность – 2 класс.

Раздражает и прижигает слизистые верхних дыхательных путей. При попадании на поверхности кожи вызывает тяжёлые ожоги. Попадание в глаза вызывает потерю зрения.

Масло ПН-6к.

– Жидкость темного цвета. Горючее вещество. Токсическая опасность – 4 класс.

– ПДК в воздухе – 300 мг/м<sup>3</sup>.

«Воздействие на людей и окружающую среду: при однократном воздействии на неповрежденные участки тела, раздражающего действия не оказывает»[16].

Воздух КИПиА (отделение Д-7 цеха Д-7-Е-8) ПрФ 08-09-ОМК.

– Качество соответствует не ниже 1 класса по ГОСТ 17433-80 (по техническим требованиям и эксплуатации пневмосистем)

– Точка росы, °С, не более минус 40 °С.

– Давление, кгс/см<sup>2</sup>, не менее 5,5 кг/см<sup>2</sup>.

«Синтетический бутадиен-альфаметилстирольный каучук СКМС-30АРКМ-15, способ получения происходит совместной полимеризацией бутадиена с альфаметилстиролом в эмульсии при температуре 4-8°С с применением в качестве эмульгатора смеси мыл диспропорционированной канифоли и синтетических жирных кислот и содержащий высокоароматическое масло ПН-6К»[25,26].

«В качестве стабилизации синтетического каучука применяют антиоксидант ВС-1. Каучук СКМС-30АРКМ-15, соответствие должно быть требованиям и нормам ГОСТ11138-78»[25,26].

Таблица 1 -Физико-химические свойства сырья

№ п/п	Наименование сырья, применяемых в цеху	Наименование показателей	Нормативы
1	2	3	4
1	Латекс СКМС-30АРК	1. Массовая доля альфаметилстирола, % масс. - при работе прямого отгонного агрегата; - при работе противоточной колонны; 2. Сухой остаток в латексе, % не меньше 3. Вязкость по Муни латекса для каучука СКМС-30АРКМ-15 - группа 1 - группа 2 4. Вязкость латекса для каучука БСК-1502	0,3  0,2  18  60-73 74-85  50-57

№ п/п	Наименование сырья, применяемых в цеху	Наименование показателей	Нормативы	
1	2	3	4	
Продолжение таблицы 1			Улучшенная	Техническая, 1 с.
		1. Массовая доля моногидрата, % 2. Доля железа (Fe), %, не больше 3. Массовая доля остатка после прокаливания, %, не больше 4. Доля окислов азота (N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %, не больше 5. Массовая доля нитросоединений, % 6. Доля мышьяка (As), %, не больше 7. Массовая доля хлористых соединений (Cl), %, не больше 8. Массовая доля свинца (Pb), %, не больше чем 9. Цвет раствора сравнения 10. Прозрачность кислоты	92,5-94,0 0,006  0,02  0,00005  не норм 0,00008  0,0001  0,001 1 прозрачная без разбавления	н/м 92,5 0,02  0,05  не норм не норм не норм  не норм не норм 6 не норм
3	Раствор антиоксиданта ВС-1	Массовая доля антиоксиданта ВС-1, %, пределы его	1,5-2,0	
4	Натровая щелочь	Доля гидроксида натрия, %	18-20	
5	Солевой раствор	1. Осветленность раствора, мм, не меньше 2. Плотность, г/см <sup>3</sup> , не меньше 3. Массовая доля суммы ионов кальция и магния, мг*экв/л, не более 4. Избыточная щелочность: - г/л, не больше - мг/л, не более 5. рН раствора соли	90 1,17  1,5  0,45 11,2 10-11	
6	Стабилизатор ВС-30А	1. Внешний вид  2. Массовая доля ВС-30А, %, не менее 3. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	Жидкость, вязкая, от светло-желтого до коричневого цвета без механических примесей  90,0  116	
7	Антиадгезив АПНМ	1. Внешний вид сырья	Цвета, бесцветного или слабо-желтого цвета	

№ п/п	Наименование сырья, применяемых в цеху	Наименование показателей	Нормативы	
1	2	3	4	
Продолжение таблицы 1		словная по ВЗ-4 при нормативных пределах	50-70	
		3. Значение pH 10% водного раствора, в пределах	6,5-7,5	
		4. Температура застывания, °С, не выше	минус 15	
8	Реагент «ЭПАМ»	1. Внешний вид сырья	Жидкость, вязкая, желтого цвета. Допускается опалесценция	
		2. Массовая доля нелетучих веществ, %	50±2	
		3. Вязкость по вискозиметру ВЗ-246(4) при температуре (20±1)°С, с	25-100	
		4. pH 10% раствора в дистиллированной воде, ед.pH, не меньше	5,0	
9	Мел		Марка/Тип	
			ММОР	ММС1
		1. Доля углекислого кальция и углекислого магния в пересчете на углекислый кальций, % не менее	98,5	98,2
		2. Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте, %, не больше	1,3	
		3. Массовая доля полуторных окислов железа и алюминия, %, не больше	0,4	
		4. Массовая доля свободной щелочи в пересчете на оксид кальция (CaO) %, не больше	0,01	0,02
		5. Массовая доля марганца, %, не более	0,01	0,15
		6. Массовая доля меди, %, не более	0,001	
		7. Массовая для оксида железа (III), %, не более	0,015	
		8. Массовая доля водорастворимых веществ, %, не больше	0,1	
		9. Массовая доля ионов SO <sub>4</sub> и Cl в водной вытяжке, %, не больше	0,05	0,01
		10. Массовая доля влаги, %, не более	0,15	0,2
		11. Массовая доля железа, извлекаемого магнитом, %, не больше	0,2	

№ п/п	Наименование сырья, применяемых в цеху	Наименование показателей	Нормативы
1	2	3	4
Продолжение таблицы 1			
		1. Массовая доля песка, %, не более 2. Коэффициент отражения, %, не меньше 14. Остаток, %, не более, на сетке №: 0140045	0,015      0,02  90  Отсутствие 0,5      1,0
10	Тальк	1. Прокаленный нерастворимый в соляной кислоте остаток, %, не менее 2. Массовая доля окиси железа в соляно-кислой вытяжке, %, не более 3. Массовая доля железа, извлекаемого магнитом, %, не более 4. Потеря массы при прокаливании, %, не более 5. Массовая доля влаги, %, не более 6. Остаток на сетке, %, не более: - № 14 - № 009	Марка/Тип ТРПН      ТРПВ  90      87 0,9      1,2 0,04      0,08 7      8 0,5      1  отсутствие 2,0
11	Холод-рассол	1. Плотность, кг/л 2. рН 3. Температура, °С 4. Давление, не менее	1,22 8-10 - 8 + - 10 4,5
12	Вода умягченная	1. Общая жесткость, мкг*эquiv/л, не больше 2. Давление, ати, не менее	0,07 4,0
13	Вода речная	Качество воды должно вести соответствие качеству воды в Куйбышевском водохранилище	
14	Вода-питьевая	Качество воды должно соответствовать Санпин 2.1.4.1074.01	
15	Вода оборотная	1. Давление прямой воды, кгс/см <sup>2</sup> , не менее 2. Давление оборотной воды, кгс/см <sup>2</sup> , не более 3. Температура прямой воды, °С, не более - летнее время - зимнее время 4. ХПК, мг О <sub>2</sub> /л, не более 5. Продукты производства 6. рН	4,2 1,8 25 21 80,0 отсутствие 6,5-8,5

№ п/п	Наименование сырья, применяемых в цеху	Наименование показателей	Нормативы
1	2	3	4
		7. Температура отработанной воды, °С, не более	35,0

### 1.3 Характеристика готовой продукции

Каучук СКМС-30АРКМ-15, СКМС-30АРКМ-27.

«Каучук синтетический бутадиен-альфаметилстирольный марки СКМС-30АРКМ-15 получается в эмульсии при температуре 4-8°С совместной с полимеризацией бутадиена и альфаметилстиролом с применением в качестве эмульгаторов смеси мыл диспропорционированной канифоли и синтетических жирных кислот и содержащий высокоароматическое масло ПН-6К»[26,31].

«Для стабилизации синтетического каучука применяется антиоксидант марки ВС-1»[26,31].

«Каучук марки СКМС-30АРКМ-15, должен соответствовать требованиям и нормам ГОСТ 11138-78 с изменениями 1, 2, 3, 4, 5, 6, указанным в (таблице 2) и ТУ 2294-044-48158319-2005 указанным в (таблице 3)»[31].

Таблица 2 - Требования и нормы для каучука марки СКМС-30 АРКМ-15

№ п/п	Наименование показателей	Норма для каучука СКМС-30АРКМ-15	
		высший сорт	первый сорт
1	2	3	4
1.	Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 °С) группа 1 группа 2	37-44 45-54	36-44 45-54
2.	Условная прочность при растяжении, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менее группа 1 группа 2	24,0 (245) 25,0 (255)	23,5 (240) 24,5 (250)
3.	Относительное удлинение при разрыве, %	550-750	550-750



№ п/п	Наименование показателей	Норма для каучука СКМС-30АРКМ-15	
		высший сорт	первый сорт
1	2	3	4
4.	Эластичность по отскоку, % не менее	28	27
5.	Массовая доля металлов, % не более меди железа	0,00015 0,003	0,00015 0,005
Продолжение таблицы 2 не более		0,6	0,6
7.	Потеря массы при сушке, %, не более	0,35	0,4
8.	Массовая доля антиоксиданта ВС-1, %	0,15-0,35	0,15-0,35
9.	Массовая доля органических кислот, %	5,4-6,7	5,0-6,7
10.	Массовая доля мыл органических кислот, % не более	0,25	0,30
11.	Массовая доля масла, %	14,5-17,0	14-17
12.	Массовая доля связанного второго мономера, %	21-24	21-24

Так же предусмотрено ГОСТом:

1. «Каучук не должен содержать каких-либо посторонних включений, а так же включений структурированного и влажного полимера»[26].

2. «Брикет каучука должен быть однородным – показатель вязкости по Муни каждого брикетапоставляемой партии каучука, в том числе и предназначенного для экспорта. Должен соответствовать нормам, установленным для 1 и 2-й групп каучука, и не должен отличаться в своих пределах одной партии на 6 единиц для каучука высшего сорта и более чем на 8 единиц для каучука первого сорта»[26,31].

3. «Каучук выпускается в виде брикетов, его масса (30±1) килограмм»[31].

4. «Каучук 1 группы с вязкостью по Муни (таблица 3) высшего сорта должен иметь нормы жесткости по Дефо 5,30-6,50 Н и эластического восстановления – не более 2,8 мм, каучук первого сорта – жесткости по Дефо 5,00-6,50 Н и эластического восстановления – не более 2,8 мм»[26,31].

«2 группы каучук с вязкостью по Муни высшего и первого сортов должен иметь нормативы жесткости по Дефо 6,51-8,00 Н и эластического восстановления – не более 3,2 мм»[31].

Таблица 3 -Нормативы вязкости каучука

№ п/п	Наименование	Норма сорта	
		высший	первый
	Продолжение таблицы 3 (100°)		
	Группа 2	37-44 45-54	36-44 45-54
2	Разброс вязкости по Муни внутри партии, ед. Муни, не больше	6	8
3	Потери массы при высушке, %, не больше	0,35	0,40
4	Массовая доля ВС-1,%	0,15-0,35	0,15-0,35

«Кроме того,предусмотрено ТУ 2294-044-48158319-2005»[26].

1. Каучук выпускается двух групп: 1 и 2.

2. В партии каучука при соответствии разброса вязкости по Муни внутри партии и среднего значения вязкости по Муни требованиям ТУ допускается наличие брикетов с вязкостью по Муни, отличающейся на 2 единицы:

для 1 группы – от верхнего значения;

для 2 группы – от нижнего значения.

3. Каучук не должен содержать каких-либо посторонних включений.

Каучук не должен прилипать к упаковке (пленке, и контейнерам).

4. Брикет каучук должен выпускаться в виде брикетов массой (30±1) кг.

«Паспорт безопасности на каучук СКМС-30АРКМ-15 занесен в Регистр за № 48158319.22.13514 от 01.03.2005 г»[26,31].

Каучук БСК-1502.

«Каучук синтетический маркиБСК-1502 получается совместной полимеризацией бутадиена сальфаметилстиролом при низкой температуре с применением в качестве эмульгатора при смеси канифоли, мыл диспропорционированной и синтетических жирных кислот. Синтетический каучук марки БСК-1502 содержащий – не окрашивающий антиоксидант»[26,31].

«Каучук марки БСК предназначен для поставки на экспорт и внутри страны для изготовления изделий шинной, резинотехнической промышленности»[31].

«В документации технической обозначается продукт: «Каучук синтетический БСК по ТУ 2294-023-48158319-2001».

Синтетический каучук марки БСК должен соответствовать, указанным требованиям в таблице»[31].

Таблица 4 - Каучук БСК-1502

<b>Наименование показателя</b>	<b>Норма для каучука БСК-1502</b>
Вязкость по Муни МБ 1+4 (100 0С)	45-57
Разброс вязкости внутри партии	8
Потеря массы при высушке, % не более	0,5
Массовая доля антиоксиданта, %	
ВС-1	-
Тринонилфенилфосфит или	1,0-2,0
Вингстей-Т или	0,7-2,0
ВТС-150 или ВТС-150Б или	-
ВС-30А	1,0-2,0
Массовая доля незаполимеризованного винильного мономера, % не более	0,1

Примечания:

1. Для шинной промышленности для всех марок каучука БСК вязкость по Муни должна соответствовать 45-54.

2. При поставке продукции в партии каучука допускается наличие брикетов отличающихся по вязкости по Муни на 2 ед. от верхнего и нижнего значений вязкости при соответствии однородности и среднего значения вязкости по Муни требованиям настоящих ТУ.

«Паспорт безопасности внесен в регистр за № 48158319.22.16015 от 08.08.2006 г»[31].

## 2 Описание технологической схемы

### 2.1 Анализ существующей схемы приема масла с антиоксидантом марки ВС-1

«Нагретое до температуры 80-85<sup>0</sup>С масло (ПН-6к, ПН-6) с антиоксидантом ВС-1 (1,5-2,0%) периодически из цеха Е-4 принимается в емкости (52/1,2). Уровни масла в емкостях (52/1,2) регистрируются приборами и мерными линейками по месту»[26].

После приема линия масла продувается от остатков его в цех Е-4 подачей технологического воздуха из цеха Е-2.

«Температура масла в емкостях (52/1,2) выдерживается автоматически регуляторами температур, регулирующие клапана установлены на линиях пара в змеевики емкостей»[26].

«На увлажнение, пара поступающего в змеевики емкостей (52/1,2), подается умягченная вода от насоса № 95. Конденсат из змеевиков емкостей (52/1,2) сливается в ХЗК.

Нагретое до заданной температуры и освобожденное от остатков воды масло из емкости (52/1,2) насосом 55/1,2,3 через фильтр подается во всасывающую линию насоса 125/1,2,3 на смешение с латексом СКМС-30 АРК. Для исключения попадания воды схемой предусмотрена каскадная подача масла на смешение с латексом.

Масло принимается в емкость (52/1), подогревается, дренируется отстоявшая вода, затем насосом 55/1 подается в емкость (52/2) и далее насосом 55/2,3 во всасывающую линию насоса 125/1,2,3 на смешение с латексом.

Давление масла в линии нагнетания насоса 55 регистрируется прибором, при давлении 3,75 кгс/см<sup>2</sup>срабатывает световая и звуковая сигнализация»[26].

«Расход масла от насоса 55/2,3 во всасывающую линию насоса 125/1,2,3 выдерживается автоматически, регулятором, клапана установлены на линии подачи масла к насосам 125/1,2,3 по контурам 1,2.

По контуру № 2 ведется циркуляция масла.

На контуре № 1 до регулирующего клапана установлен массовый расходомер PROMASS 80F-15.

На линии латекса до смешения с маслом установлен массовый расходомер PROMASS 83F-80.

Управление процессом смешения латекса с маслом производится автоматически контролером US-1000, установленным в ЦПУ.

Контролером US-100 реализуется алгоритм вычисления содержания масла в каучуке (СМК) и автоматического дозирования масла в латекс.

Отображение текущих значений и контроль за ведением технологического процесса осуществляется с применением компьютерной техники»[26].

«Латексо-масляная эмульсия (ЛМЭ) насосом 125/1,2,3 подается на каскады коагуляции латекса при выпуске каучука СКМС-30 АРКМ-15, СКМС-30 АРКМ-27.

В случае выхода из строя контроллера US 1000 количество масла с антиоксидантом ВС-1, подаваемое на смешение с латексом, рассчитывается по следующей форме:

$$F_m = K \cdot (M - 2) \cdot C \cdot F_{л.м.э.}, \quad (1)$$

где  $F_m$  – количество масла с ВС-1, подаваемого на смешение с латексом л/час;

$M$  – содержание масла в готовом каучуке в % масс., задается начальником смены;

$F_{л.м.э.}$  – количество латексо-масляной эмульсии, подаваемой на коагуляцию, м<sup>3</sup>/час;

$C$  – содержание сухого остатка в латексе (% массовых) узнается из паспортного анализа латекса в емкости 1;

К – коэффициент задается начальником отделения в зависимости от сортности срабатываемого масла, для масла ПН-6к, ПН-6 К=0,14.

Начальник смены лично производит расчет дозировки масла с антиоксидантом ВС-1 по вышеприведенной формуле и ежедневно контролирует фактическую дозировку его.

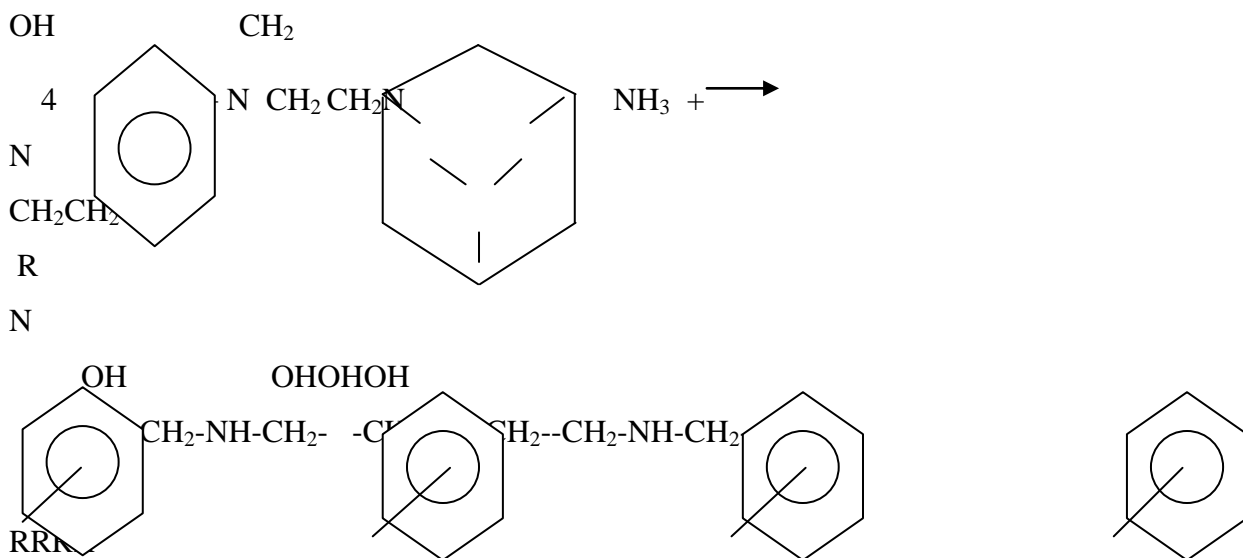
Аппаратчик дозирования имеет право после выдачи анализа по содержанию масла в каучуке и по согласованию с начальником смены провести корректировку дозировки масла с антиоксидантом ВС-1 на смешение с латексом»[26].

## 2.2 Узел приготовления антиоксиданта марки ВС-1

«Антиоксидант ВС-1 – продукт конденсации уротропина с алкилфенолом и предназначен для стабилизации маслonaполненных каучуков.

Антиоксидант ВС-1 представляет собой аминокфенольную смолу, получаемую в среде высокоароматического масла»[29].

Реакция идет по следующей схеме:



«Реакция экзотермическая, выделяется около 20 Ккал тепла на 1 кг продукта.

В процессе реакции выделяется газообразный аммиак в количестве 2% от массы исходных продуктов»[27].

В производстве антиоксиданта ВС-1 в качестве сырья используют:

- алкилфенол, моноалкилфенолы на основе тримеров пропилена, нонилфенол (далее по тексту алкилфенолы);
- уротропин технический;
- пластификатор нефтяной, экстракт остаточный селективной очистки (далее по тексту масло Пн-6).

«Алкилфенолы поступают в отделение Е-12 установки Е-2 в ж.д. цистернах или автобойлерах.

Слив из ж.д. цистерн производится насосом 4/5 в емкости 44/10,11 или в аппараты 44/2,5 батареи 1, слив из автобойлеров производится насосом 44а/2 в аппарат 44/2 батареи №1.

Уровень в емкостях 44/10,11 измеряется уровнемерами, показания которых регистрируются приборами. При снижении (завышении) уровня  $\leq 15\%$  ( $\geq 70\%$ ) срабатывает световая и звуковая сигнализация, а при завышении уровня  $\geq 80\%$  срабатывает блокировка (останов электродвигателя насоса 4/5).

Давление в емкостях выдерживается автоматически регулятором, регулирующий клапан установлен на линии подачи азота в гидрозатвор 1.

Уровень в аппаратах измеряется поплавковыми уровнемерами, показания которых контролируется визуально через смотровой фонарь»[27].

«Алкилфенолы в аппаратах 44/2, и емкостях 44/10,11 отстаиваются от влаги не менее 2 часов, после этого нижний слой визуально проверяется на наличие влаги. При наличии влаги проводится слив отстоявшейся воды в бочку и повторный отстой алкилфенолов от влаги. Только при отсутствии отстоявшейся влаги алкилфенолы можно использовать для синтеза антиоксиданта ВС-1.

Хранятся алкилфенолы в аппаратах 44/2, емкостях 44/10,11 при температуре 30-40 °С.

Температура в емкостях 44/10,11 выдерживается подачей пара в наружный змеевик, а в аппарате 44/2 подачей горячей воды в рубашку и

замеряется термометром по месту. Температура в аппарате 44/2 регистрируется на приборе, показания которого выведены на персональный компьютер (ПК).

Приготовление шихты 1 производится в аппарате 44/5 батареи 1 (предварительно продутом азотом).

В аппарат 44/5 принимается расчетное количество алкилфенолов из емкостей 44/10,11 или аппарата 44/2 батареи 1. При включенной мешалке в аппарат через загрузочный люк засыпается расчетное количество уротропина.

Уровень в аппарате 44/5 измеряется поплавковым уровнемером, показания которого контролируется визуально через смотровой фонарь.

После загрузки всех компонентов аппарат продувается азотом не менее 5 минут для удаления воздуха из газовой фазы аппарата.

Растворение уротропина в алкилфенолах производится не менее 8 часов при температуре 50-60 °С и при непрерывном перемешивании.

Температура растворения выдерживается регулятором температуры, регулирующий клапан установлен на линии горячей воды в «рубашку» аппарата 44/5.

После приготовления шихты 1 из аппарата 44/5 отбирается проба на анализ.

Готовый раствор шихты 1 (при удовлетворительном анализе) из аппарата 44/5 перекачивается азотом в аппараты 44/3,4.

Если шихта 1 сразу не используется для синтеза, то охлаждается до температуры 20-30°С подачей в «рубашку» обратной воды и хранится при этой температуре.

Приготовление шихты 2 производится в одном из аппаратов 44/3,4 батареи 1 (предварительно продутом азотом), в случае необходимости аппараты могут работать параллельно.



В аппарат 44/3(4) принимается расчетное количество масла Пн-6 из аппарата 44/1 батареи №1. Масло в аппарате 44/3(4) отстаивается и проверяется на отсутствие воды.

При включенной мешалке в аппарат 44/3(4) через фильтр №16 принимается расчетное количество шихты 1 из аппарата 44/5 батареи №1.

Уровень в аппарате 44/3(4) измеряется поплавковым уровнемером, показания которого контролируются визуально через смотровой фонарь.

Приготовление шихты 2 производится не менее 2,5 часов при температуре 60-70 °С и непрерывном перемешивании.

Температура в аппаратах 44/3(4) выдерживается подачей пара в «рубашки» аппаратов и регистрируется приборами, показания которых выведены на ПК.

После приготовления шихты 2 температура в аппарате 44/3(4) повышается до 100-105 °С и в течение не менее 3 часов проводится отпарка воды из реакционной массы.

На линии подачи пара в «рубашки» аппаратов 44/3(4) установлен пружинно-предохранительный клапан (ППК) ( $P_{откр} - 3,0 \text{ кгс/см}^2$ ). Сброс при срабатывании ППК производится в атмосферу.

После полного удаления воды из шихты 2 температура в аппарате 44/3(4) повышается до 125-135 °С и выдерживается не менее 16 часов (время синтеза) при постоянном перемешивании.

Давление в аппарате 44/3(4) во время синтеза контролируется по манометру.

После проведения синтеза антиоксиданта ВС-1 отбирается проба на анализ из аппарата 44/3(4).

При получении удовлетворительного анализа, антиоксидант ВС-1 из аппарата 44/3(4) насосом 44а/2 подается в отделение Е-4.

При длительном хранении антиоксиданта ВС-1 в аппарате 44/3(4) проводится его охлаждение до температуры 60-80 °С подачей обратной воды в рубашку аппарата.

Для защиты от завышения давления на аппаратах 44/3(4) установлены ППК ( $P_{откр} - 0,7 \text{ кгс/см}^2$ ). Сброс от ППК производится на воздуху.

Пары аммиака и воды, выделяющиеся при синтезе антиоксиданта ВС-1 в аппарате через промежуточный аппарат, где отделяется механически уносимая жидкость, поступают вскруббер №100, орошаемый водой (рисунок1).

Из скруббера №100 аммиак, растворенный в воде, через гидрозатвор №100а сливается в ХЗК, а газообразный продукт вентилятором М-9 подается на сжигание в печи установки Д-6 через аппарат 23 установки Е-2.

При невозможности подать газы на сжигание их вентилятором М-8 подают в атмосферу.

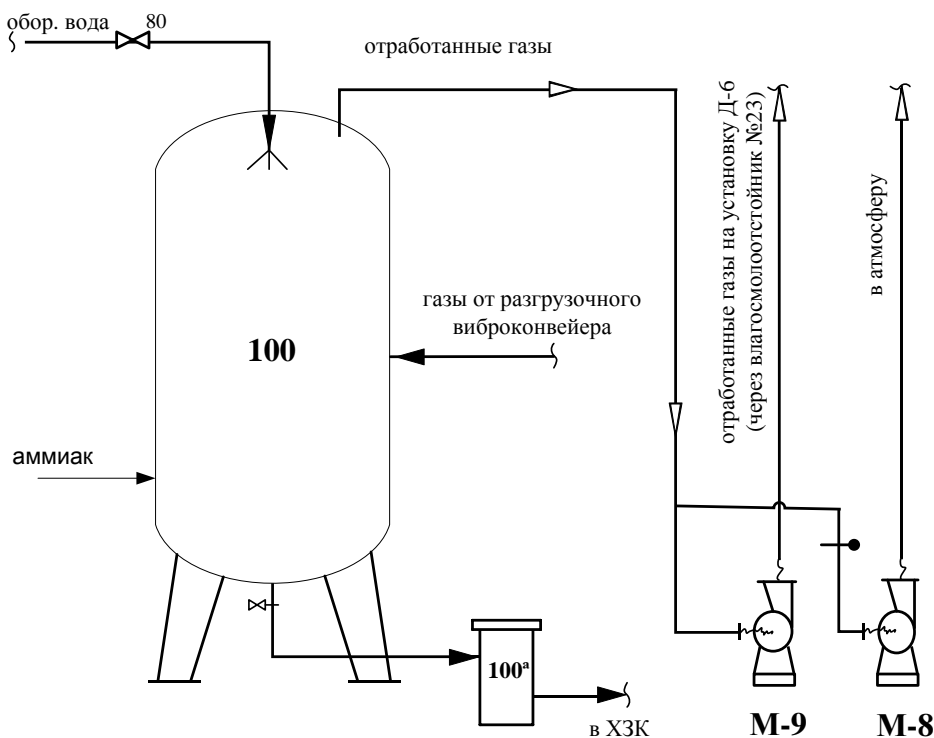


Рисунок 1 - Схема подачи отработанного газа через скруббер

Примечание:

Перед началом синтеза антиоксиданта ВС-1, необходимо предупредить персонал установок Е-2, Д-6 о подаче газообразного продукта на сжигание.

Освобождение аппарата от продукта проводится азотом, предварительно отстоявшаяся вода выдавливается азотом в автобойлер.

«Уровень продукта в аппарате контролируется по смотровому фонарю на линии продукта из аппарата в скруббер № 100.

Давление воздуха КИПиА после редуцирования измеряется прибором. При снижении давления  $\leq 1,2$  кгс/см<sup>2</sup> срабатывает звуковая и световая сигнализация.

Давление азота регистрируется прибором. При снижении давления  $\leq 3,5$  кгс/см<sup>2</sup> срабатывает звуковая и световая сигнализация.

Расход, температура пара регистрируется приборами. Давление пара регулируется регулятором давления и регистрируется прибором.

При снижении давления  $\leq 2,0$  кгс/см<sup>2</sup> срабатывает световая и звуковая сигнализация.

На линии пара установлены ППК ( $P_{откр} - 6,3$  кгс/см<sup>2</sup>), сброс от ППК производится через воздушку в атмосферу.

При синтезе ВС-1 выделяется аммиак, который в смеси с воздухом образует взрывоопасные смеси. Пределы взрываемости аммиака в смеси с воздухом – 15-28 % объемных.

Поэтому необходимо соблюдать все правила и меры по безопасной работе с горючими и взрывоопасными продуктами.

При несоблюдении технологического режима возможно резкое завышение давления в аппарате 44/3(4) (при нарушении проходимости в трубопроводе аммиака в скруббер № 100 или при забивке линии слива продукта из аппарата) и выброс продукта при подаче масла или шихты №1, содержащих воду»[27].

### 2.3 Физико-химические свойства антиоксиданта ВС-1

Таблица 5 - Физико-химические свойства антиоксиданта ВС-1

Наименование показателя	Норма по маркам	
	Пн-6к	Пн-6ш
1. Вязкость кинематическая при 100°С, мм <sup>2</sup> /сек, в пределах	25-35	32-40
2. Показатель преломления	1,5150-1,5350	1,525-1,540

Продолжение таблицы 5

Наименование показателя	Норма по маркам	
	Пн-6к	Пн-6ш
при 50°С, не менее		
3. Анилоновая точка. °С	55-70	55-65
4. Массовая доля механических примесей, % не более	отсутствие	отсутствие
5. Массовая доля воды. % не более	следы	следы
6. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не менее	230	230
7. Температура застывания, °С, не выше	40	40
8. Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> , в пределах	0,94-0,97	0,95-0,98
9. Групповой химический состав, % не более		
-массовая доля парафинонафтеновых углеводородов	20	20
- массовая доля смол	8	8

Масло Пн-6к и масло Пн-6шидут, применяются как мягчители— принятое в резиновой промышленности название пластификаторов, которые таким образом облегчают переработку каучуков, снижая температуру текучести резиновых смесей, но не улучшают морозостойкость вулканизаторов.

К мягчителям относятся, например, парафинонафтеновые и ароматические нефтяные масла, канифоль, кумароноинденовые и нефтеполимерные смолы, продукты взаимодействия растительных масел с серой (фактисы), нефтяные битумы(рубраксы).

Масло-мягчитель применяется в качестве пластификатора-наполнителя синтетических каучуков и мягчителя резиновых смесей.

Выпускается двух марок:

ПН-6к – для синтетических дивинил-метилстирольных каучуков и ПН-6ш (ТУ 38.1011217-89) – для резиновых смесей, применяемых для изготовления шин и других изделий.

Масло ПН-6Ш (ТУ 38.1011217-89) - нефтяной пластификатор, представляет собой концентрат ароматических углеводородов.

Его получают путем компаундирования экстрактов селективной (фенольной) очистки масляных фракций нефти.

Таблица 6 - Антиоксидант ВС-1-ТУ 2253-014-48158319-2000

Наименование показателя	Норма
Внешний вид	Вязкая жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета, не содержащая механических включений
Массовая доля антиоксиданта ВС-1, % в пределах	30-50
Массовая доля свободных алкилфенолов (в пересчете на абсолютную массовую долю антиоксиданта ВС-1), % не более	3,8

#### 2.4 Механизм действия антиоксидантов

В научной литературе описывается механизм действия антиоксидантов.

«Окисление органических соединений кислородом воздуха представляет собой цепной процесс. Цепные реакции превращений осуществляются с участием активных свободных радикалов. Для цепных разветвленных реакций окисления характерно увеличение скорости в ходе превращения (автокатализ). Это связано с образованием свободных радикалов при распаде промежуточных продуктов окислительного процесса»[35].

«Окисление полимеров впервые было исследовано на примере старения натурального каучука. Была обнаружена связь между старением каучука и поглощением кислорода.

Механизм действия наиболее распространённых антиоксидантов (ароматические амины, фенолы, нафтолы и др.) состоит в обрыве реакционных цепей: молекулы антиоксиданта взаимодействуют с активными радикалами с образованием малоактивных радикалов (рисунок 2). Окисление замедляется также в присутствии веществ, разрушающих промежуточные продукты реакций. В этом случае падает скорость образования свободных радикалов»[8].

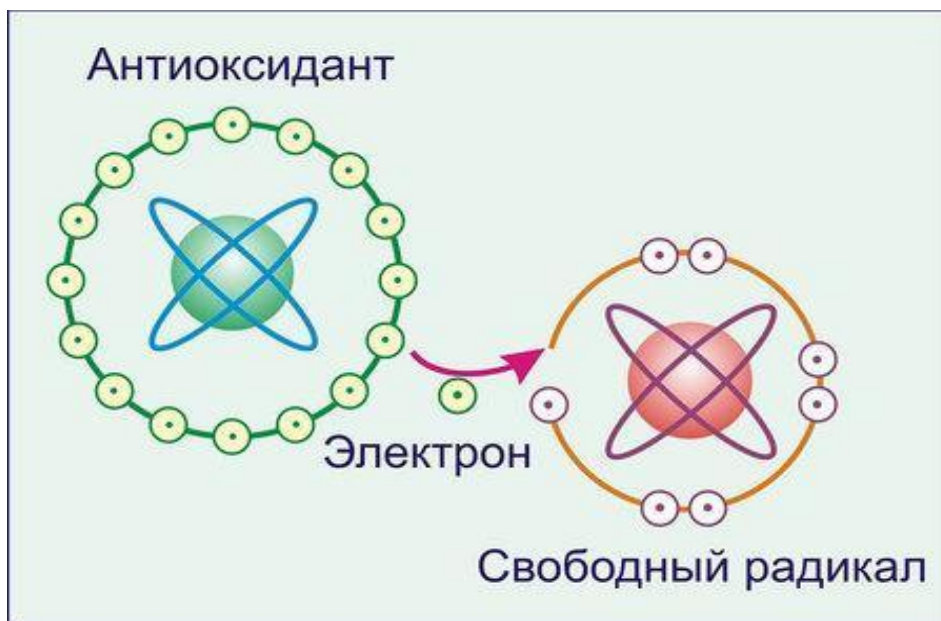


Рисунок 2 - Свободный радикал

«С помощью антиоксидантов защита особенно важна, молекулы которых содержат наиболее чувствительные к окислению ненасыщенные связи. Эффективность действия антиоксидантов достаточно велика. Так, введение в некоторые масла и жиры всего 0,001 -0,01% антиоксидантов может надолго приостановить их окисление»[35].

«Содержание антиоксидантов в ненасыщенных высоко молярных соединениях составляет обычно 0,5-3%; при этом период индукции окисления, характеризующий медленное развитие процесса, возрастает в десятки раз.

Действие антиоксидантов основано на их способности обрывать разветвленное цепное окисление. При этом возможны два механизма: при первом молекула антиоксиданта, содержащая подвижный атом водорода,

реагирует с активной частицей окисляющегося соединения – радикалом, ведущим окислительную цепь, с образованием малоактивного радикала»[35].

«Вдругом - молекула антиоксиданта взаимодействует с промежуточным продуктом окисления, распад которого ведет к разветвлению цепи, с образованием стабильного соединения. По первому механизму действуют производные вторичных ароматических аминов и фенолов (последние, как правило, менее эффективны), по второму – органические производные фосфитов и сульфидов»[33,35].

### **Обзор мирового рынка антиоксидантов**

«Химия и технология стабилизаторов для полимеров определилась как самостоятельное направление химической науки около пятидесяти лет назад. В настоящее время описано более двух тысяч соединений, являющихся стабилизаторами свойств полимеров. Исследования по разработке эффективных стабилизаторов и организации их производства интенсивно ведутся во многих странах. В последнее время многие фирмы, выпускающие АО для полимеров, пытаются разнообразить ассортимент.

Конкуренция на рынках заставляет многих снижать издержки производства. Многие крупные американские и европейские компании с целью снижения себестоимости продукции перевели производства химикатов добавок в Китай. Однако в настоящее время происходит обратный процесс»[33,35].

### **2.5 Надежность охраны воздушного бассейна и водных ресурсов**

«Одним из основных условий, обеспечивающих надежность охраны воздушного бассейна и водных ресурсов, является исключение залповых выбросов вредных продуктов в атмосферу и слива их в канализацию»[16].

Для этого на установке синтеза ВС-1 предусмотрены следующие меры:

1) аппараты 44/3(4), в которых, вследствие завышения давления и температуры может произойти разгерметизация, снабжены линиями ручного

стравливания и пружинно-предохранительными клапанами со сбросом вредных веществ на «воздушку»;

2) образующийся при синтезе ВС-1 газообразный аммиак направляется на печи сжигания установки Д-6;

3) емкости 44/10,11, предназначенные для приема и хранения алкилфенолов оборудованы средствами, обеспечивающими защиту от перелива продукта: световой и звуковой сигнализацией завышения уровня и блокировкой на останов и запрет пуска насоса 4/5;

4) аналитический контроль за концентрацией вредных веществ (аммиак) в воздухе рабочих помещений производится ежедневно персоналом лаборатории ГСО согласно плану аналитического контроля, утвержденного главным инженером предприятия;

5) периодический контроль выбросов вредных веществ в атмосферу осуществляется лабораторией отдела охраны природы и окружающей среды;

6) продукт, механически уносимый из аппарата 44/3(4) в аппарат 44/6, периодически возвращается на установку для вторичного использования;

7) производственные стоки, сбрасываемые в канализацию, контролируются на содержание в них вредных веществ согласно плану аналитического контроля.



### **3 Предлагаемая схема очистки узла приготовления антиоксиданта ВС-1**

#### **3.1 Предлагаемое технологическое решение**

Из описания технологической схемы приготовления антиоксиданта ВС-1, в процессе реакции выделяется газообразный аммиак в количестве 2% (и более) от массы исходных продуктов.

Предлагается использовать патент полезную модель 117304 (РФ) предложена Афанасьевым С.В.

«Колпачковая тарелка для контактирования газа и жидкости, включающая паровые патрубки, колпачки и сливные устройства и дополнительно змеевиковый теплообменник в виде параллельных трубных пучков, уложенных в пространстве между колпачками»[3].

«Разработанная технология позволяет повысить экологическую безопасность процесса, снижение концентрация загрязняющих веществ в абгазе, направляемом на очистку в процессе получения антиоксиданта ВС-1.

Предлагаемое техническое устройство относится к тарелкам для контактирования газа и жидкости, используемых при осуществлении ректификационных и абсорбционных процессов»[3].

«На сегодняшний день тарельчатые колонны являются наиболее эффективными и востребованными аппаратами. Они изготавливаются в виде вертикальных цилиндров, внутри которых одна над другой размещено определенное количество горизонтальных перегородок - тарелок, обеспечивающих возможность движения жидкости сверху вниз, а пара снизу вверх.

Достаточно распространены колонны, в которые жидкость поступает в верхнюю часть, переливается с тарелки на тарелку через переливные устройства и удаляется из куба ректификационной колонны или абсорбера»[32].

«Характер распределения пара и жидкости зависит не столько от конструкции распределяющих устройств, сколько от скорости парового потока. При небольшой скорости (0,3 м/с) пар движется сквозь слой жидкости в виде отдельных пузырьков. Поверхность контакта фаз невелика, и тарелка при этом работает неполным сечением, то есть в «пузырьковом» режиме»[3].

«С увеличением скорости движения пара от 0,3 до 1,2 м/с выходящие из отверстия или прорези отдельные пузырьки сливаются в сплошную струю, которая на определенном расстоянии от места истечения разрушается вследствие сопротивления слоя жидкости с образованием большого количества пузырьков. При этом на тарелке возникает парожидкостная дисперсная система - пена, которая является нестабильной и разрушается сразу же после прекращения поступления пара. Контакт пара и жидкости происходит на поверхности пузырьков и струй пара, а также на поверхности капель жидкости, которые в большом количестве образуются над барботажным слоем. При пенном режиме работы тарелки достигается максимальная поверхность фаз и, соответственно, скорость массопереноса»[3].

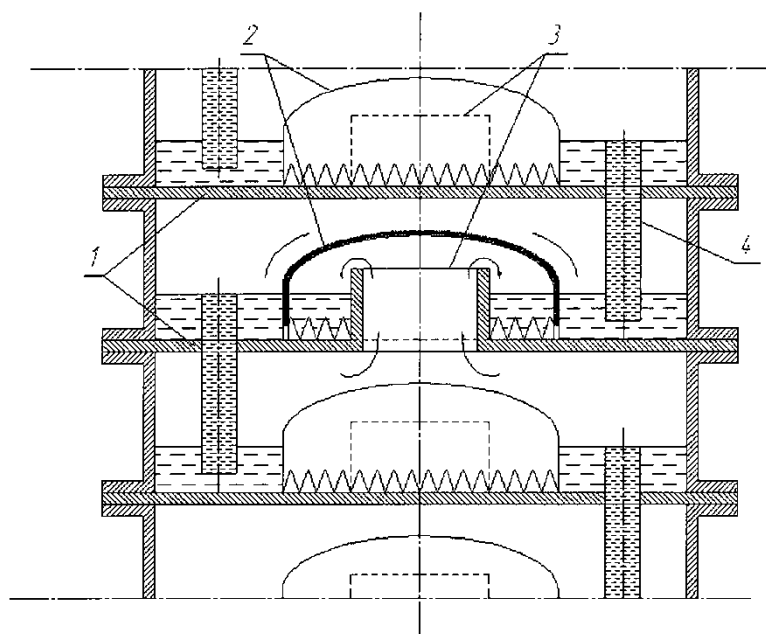


Рисунок 3 - . Схема устройства сектора отпарной колонны

«Известная конструкция колпачковой тарелки в научной литературе описывает [Касаткин А.Г.Основные процессы и аппараты химической технологии. М.:Альянс.2009. С.451], включающая дно, герметически соединенное с корпусом 1, колпачок 2, паровой патрубок 3 и сливное устройство 4, причем колпачок 2 имеет прорези для лучшего массообмена в системе пар-жидкость (фрагмент показан на рисунке 3).

Важную роль в обеспечении процесса абсорбции играет тарельчатая секция колонны. Она имеет дно, герметически соединенное с корпусом колонны 1, паровые патрубки 3и сливные трубки. Паровые патрубки предназначены для пропускания поднимающихся с нижней тарелки паров. По сливным трубкам жидкость стекает с вышележащей тарелки на нижележащую. На каждый паровой патрубок монтируется колпачок 2, с помощью которого пары направляются в жидкость и барботируют ее»[3].

«Температура жидкой фазы на тарелке поддерживается за счет ее циркуляции через выносной теплообменник с помощью насоса.

Работа тарелки сводится к обогащению пара и обеднению жидкости легколетучим компонентом.

Оптимальную скорость пара, поднимающегося по высоте колонны, рассчитывают исходя из следующей формулы:

$$w = C \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_n}{\rho_n}}, \quad (2)$$

где  $C$  - коэффициент, зависящий от конструкции тарелок, расстояния между ними, рабочего давления, нагрузки колонны по жидкости; значения коэффициента  $C$  изменяются от 0,02 (для колпачковых тарелок с капсульными колпачками при расстоянии между тарелками 150 мм) до 0,1 (для ситчатых тарелок при расстоянии между ними 700 мм);

$\rho_{ж}$  - плотность жидкости;

$\rho_n$  - плотность пара.

Эффективность работы указанных массообменных устройств тесно связана с равномерностью их орошения и их существенным недостатком является разброс температуры по сечению аппарата»[3].

Задачей полезной модели является совершенствование конструкции колпачковой тарелки с одновременным повышением ее эффективности в процессе эксплуатации.

Поставленная задача достигается тем, что колпачковая тарелка снабжена змеевиковым теплообменником в виде параллельных трубных пучков, уложенных в пространстве между колпачками, причем в каждом пучке содержится от 1 до 4 теплообменных труб.

Сущностью предлагаемой полезной модели является колпачковая тарелка для контактирования газа и жидкости, включающая паровые патрубки, колпачки и сливные устройства и дополнительно змеевиковый теплообменник в виде параллельных трубных пучков, уложенных в пространстве между колпачками.

На рисунке4 показан общий вид усовершенствованной конструкции колпачковых тарелок, установленных в верхней части аппарата и предназначенных для извлечения аммиака из абгаза, выходящего с аппарата установки получения антиоксиданта ВС-1.

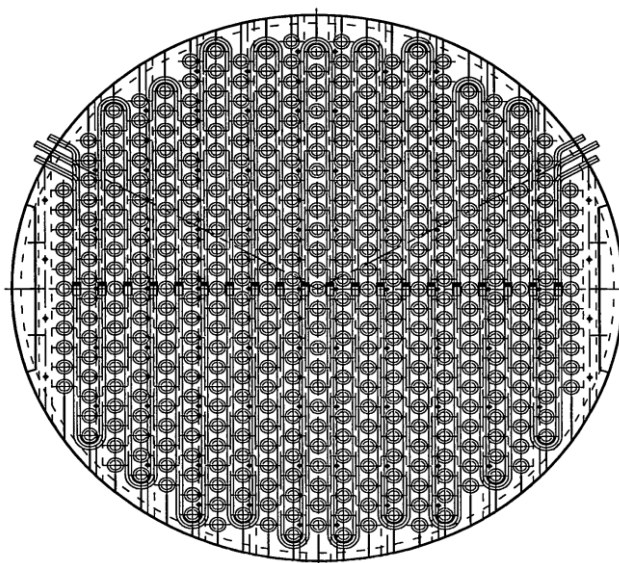


Рисунок 4 - Колпачковая тарелка со встроенным змеевиком

«При их изготовлении в пространстве между колпачками параллельными рядами укладывают трубные пучки из нержавеющей стали AISI 304, каждый из которых включает три теплообменных трубы, причем верхняя может возвышаться относительно колпачка не более 0,5 своего диаметра. Благодаря этой конструкции, температура жидкой фазы, находящейся на колпачковой тарелке и контактирующей с абгазом поддерживается постоянной на всей поверхности тарелки и регулируется теплоносителем, подаваемым в трубные пучки.

Таким образом, предлагаемая полезная модель отличается от известных тем, что она сочетает достоинства колпачковых тарелок и трубчатых змеевиков, то есть является комбинированной.

Это делает конструкцию более надежной в управлении и эксплуатации. В отличие от известной модели реализация предлагаемого технического решения позволит повысить эффективность приготовления антиоксиданта ВС-1 и в 1,2 раза снизить концентрацию загрязняющих веществ в абгазе, направляемом на каталитическую очистку»[3].

Формула полезной модели.

«Колпачковая тарелка для контактирования газа и жидкости, включающая паровые патрубки, колпачки и сливные устройства, отличающаяся тем, что содержит дополнительно змеевиковый теплообменник в виде параллельных трубных пучков, уложенных в пространстве между колпачками, а количество теплообменных труб в пучке варьирует от 1 до 4 в зависимости от их диаметра»[3].

«Преимуществом насадочных колонн является простота устройства. Она важна при работе с агрессивными средами, т.к. в этом случае требуется защита от коррозии только корпуса аппарата, а насадка выполняется из химически стойкого материала. К тому же насадочные колонны обладают низким, по сравнению с барботажными аппаратами, гидравлическим сопротивлением»[3].

### **3.2 Закономерности термоокисления СКМС-30АРКМ-15, стабилизированного ВС-1**

«В научной статье Афанасьева С.В, Назарова Ф. А. описывается исследовательский процесс термоокисления промышленных образцов СКМС-30АРКМ-15, содержащих  $(0,17 \pm 0,01)$  %(масса) антиоксиданта ВС-1.

В качестве стабилизатора бутадиен-альфаметилстирольного каучука марки СКМС-30АРКМ-15 широко используется антиоксидант ВС-1, получаемый при прогреве смеси уротропина и алкилфенолов (в основном нонилфенолов) в масле ПН-6к и вводимый в эластомер на стадии латекса в виде раствора алкиламинофенолформальдегидной смолы»[4].

«При повышенных температурах в каучуке протекает процесс структурирования, проводящий к тому, что налипшая на транспортер сушильной машины крошка сополимеров постепенно осмоляется и становится хрупкой. Попадая в резиновую смесь, она является причиной брака при изготовлении тонкостенных резиновых технических изделий. Для отделения частиц структурированного эластомера необходимо стрейнирование.

Для исследования брали термоокислениеленты полимера толщиной 5-6 мм проводили в воздушном термостате при  $(120 \pm 1)$ ,  $(140 \pm 1)$  и  $(160 \pm 1)$  °С. Содержание нерастворимой фракции ( $C_{нф}$ ) определяли путем растворения при перемещении в течении суток 0,15 гр. ( $C_0$ ) каучука в  $30 \text{ см}^3$  октана и фильтрации раствора полимера через металлическую сетку с квадратными ячейками размером  $0,0056 \text{ см}$ »[4].

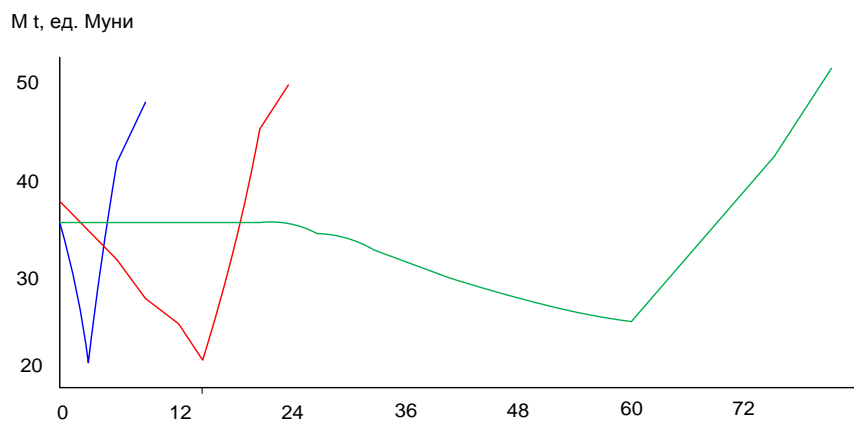


Рисунок 5 - Зависимость вязкости по Муни при 100°C (120±1)°C

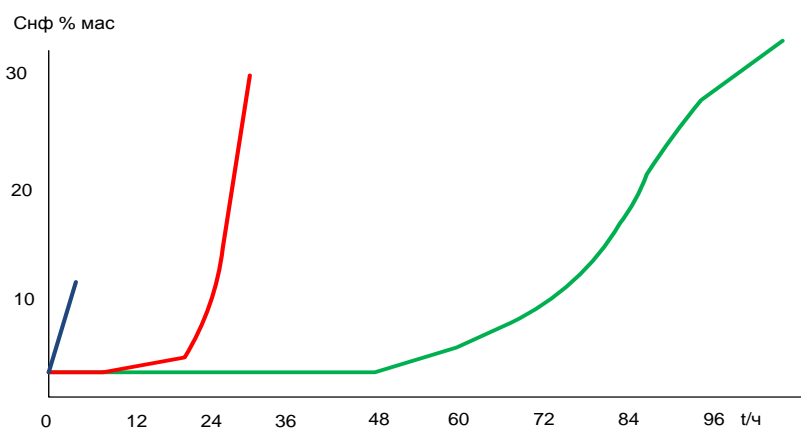


Рисунок 6 - Полупериод релаксации крутящего момента (140±1)°C

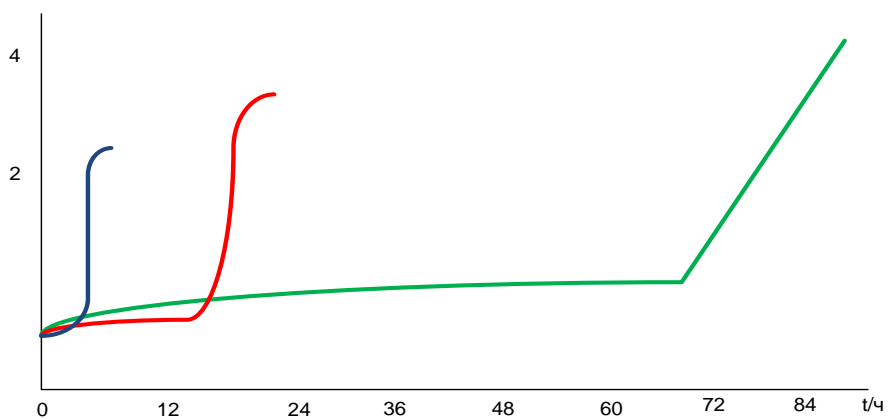


Рисунок 7 - Содержание нерастворимой фракции в каучуке от длительности термоокисления СКМС-30 АРКМ-15 (160±1)°C

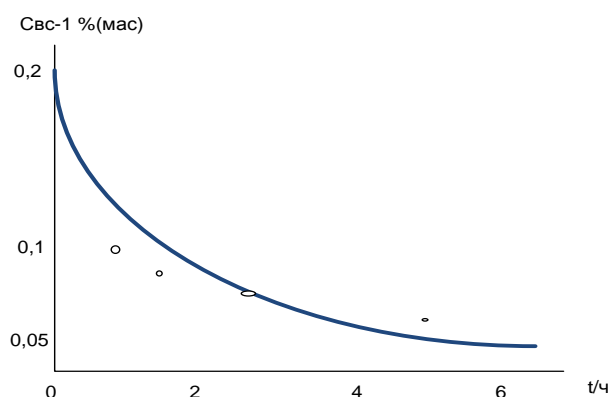


Рисунок 8 -Изменение содержания антиоксиданта ВС-1 в каучуке в ходе термоокисления при 160°С

«Для изучения структурирования СКМС-30АРКМ-15 измеряли полупериод релаксации крутящего момента следующим образом: после определения вязкости по Муни (ГОСТ 10722-76) на вискозиметре отключали электродвигатель, приводящий во вращение ротор и, не размыкая полуформ с каучуком, с дисплея вискозиметра снимали показания сдвигового напряжения в момент времени релаксации 60 сек. Полупериод релаксации крутящего момента рассчитывали по уравнению:

$$\tau_{1/2} = 60 (M_T/M^{100} - M_T)^2, \quad (3)$$

где  $M^{100}$  – вязкость по Муни при 100°С.

Расхождение между двумя параллельными определениями  $\tau_{1/2}$  не превышает +/- 3% (относительно) от среднеарифметического, коэффициент вариации составляет 3,6%.

Полупериод релаксации крутящего момента имеет тот же физический смысл, что и эластическое восстановление после определения пластичности или после нахождения жесткости по Дефо. При постоянной вязкости по Мунит  $\tau_{1/2}$  снижается при наличии в эластомерах низкомолекулярной фракции, присутствие гельсодержащих и нерастворимых структур, напротив, затрудняет релаксационный процесс»[3].

Из рисунка5 видно, что зависимости  $M^{100} - t$  (где t – время прогрева каучука) проходят через экстремумы, приходящиеся на 4, 16 и 64 часа при 160, 140 и 120°С соответственно.



«Наблюдаемое в началетермоокисления снижение  $M^{100}$  каучука вызвано доминирующей деструкцией полимерных цепей за счет резкого уменьшения концентрации стабилизатора в сополимере (рисунок 8).

При дальнейшем окислении каучука (после экстремальной точки)  $M^{100}$  быстро возрастает, что указывает на преобладающую роль структурирования эластомера в протекающих процессах. При этом изменение  $M^{100}$  сопровождается симбатным увеличением содержания нерастворимой фракции в каучуке и связанного с ней  $\tau_{1/2}$ »[4].

Сопоставление данных на рисунках 5,6,7 позволяет прийти к выводу, что деструкция СКМС-30АРКМ-15 в начальный период его окисления не единственный протекающий процесс. Наряду с накоплением низкомолекулярной фракции в каучуке происходит и его структурирование. Об этом свидетельствует тот факт, что снижение  $M^{100}$  эластомера в начальный период окисления не сопровождается симбатным уменьшением  $\tau_{1/2}$ , как это наблюдается для образцов СКМС-30АРКМ-15, не подвергнутых термоокислению.

Таблица 7 - Время окисления каучука

Каучук	Время окисления, ч	$M_t^{100}$ , ед. Муни	$\tau_{1/2}^\circ$
Неокисленный		47,7	1,09
		43,9	1,05
		41,1	0,90
		38,7	0,70
		36,4	0,50
Окисленный ( $T=140^\circ\text{C}$ )	0	36,5	0,55
	4	34,5	0,55
	8	33,5	0,62
	12	28,0	0,67

«Структурирование каучука негативно отражается на его поведении при переработке, на технологических свойствах резиновых смесей. Полученные результаты указывают также на то, что использование ВС-1 в качестве стабилизатора СКМС-30АРКМ-15 не позволяет решить проблему защиты полимера от воздействия кислорода воздуха при высоких температурах. Во избежание деструкции и структурирования эластомера его

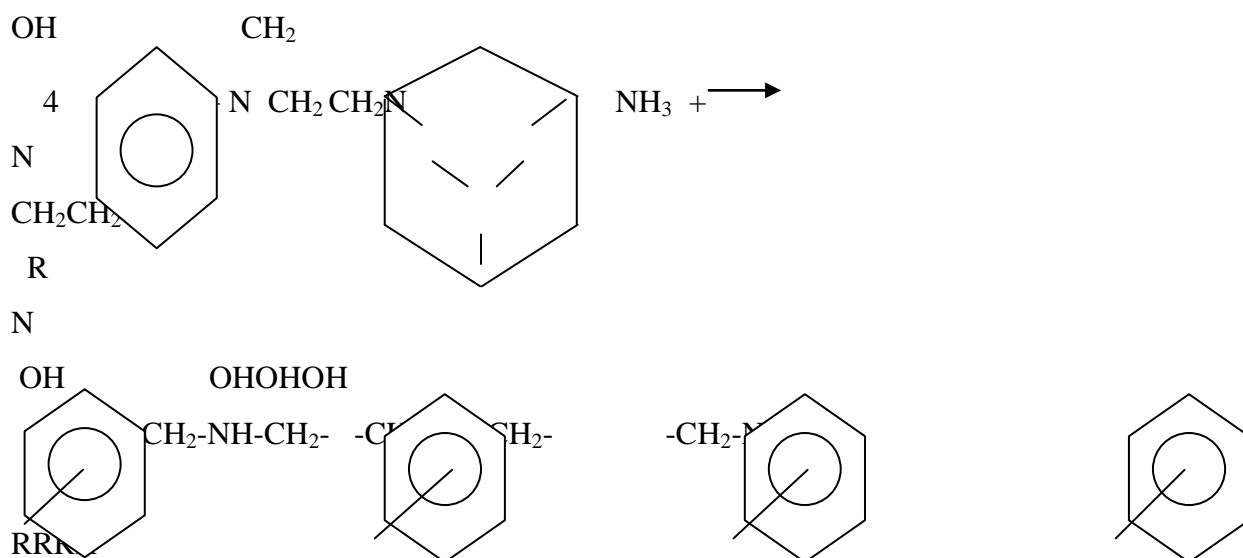
сушки целесообразно проводить при более мягких режимах, чем ныне действующие.

Таким образом, на основании проведенного исследования установлено, что при прогреве СКМС-30АРКМ-15 на воздухе одновременно протекают деструкция и структурирование. Для снижения негативного влияния этих процессов сушку бутадиен-альфаметилстирольного эластомера целесообразно вести при пониженных температурах в среде с малым содержанием кислорода»[4].

## 4 Расчетная часть

### 4.1 Расчет материального баланса антиоксиданта ВС-1

Реакция идет по следующей схеме:



«Реакция экзотермическая, выделяется около 20 Ккал тепла на 1 кг продукта. В процессе реакции выделяется газообразный аммиак в количестве 2% от массы исходных продуктов»[27,31].

#### Расчет приготовления шихты № 1

«Загрузку компонентов при приготовлении шихты № 1 производить в соответствии с расчетами для получения заданной концентрации уротропина»[27].

#### Загрузка алкилфенолов:

$$8,0 \cdot 0,945 = 7,56 \text{ т}, \quad (4)$$

где 8,0 м<sup>3</sup> – объем алкилфенолов в аппарате 44/5,

0,945 т/м<sup>3</sup> – удельный вес алкилфенолов.

#### Загрузка уротропина:

$$\frac{7,56}{5,7} = 1,33 \text{ т}, \quad (5)$$

где 7,56 т – масса алкилфенолов в аппарате 44/5,

5,7 – соотношение алкилфенолов и уротропина (по массе).

### Расчетное содержание уротропина в шихте № 1:

$$\frac{1,33 \cdot 100}{1,33 + 7,56} = 14,96 \%, \quad (6)$$

где 7,56 т – масса алкилфенолов в аппарате 44/5,

1,33 т – масса уротропина в аппарате 44/5.

При приготовлении шихты №1 на моноалкилфенолах,нонилфенолах расчет производят с учетом удельного веса данных продуктов.

### Расчет приготовления шихты № 2

Загрузку компонентов при приготовлении шихты № 2 производят в соответствии с расчетами для получения заданной концентрации антиоксиданта ВС-1 в масле.

### Загрузка шихты № 1:

$$\frac{10,0 \cdot 40}{100} = 4,0 \text{ м}^3, \quad (7)$$

где 10,0 м<sup>3</sup> – объем партии антиоксиданта ВС-1 в масле,

40 % – содержание антиоксиданта ВС-1 в масле.

$$4,0 \cdot 0,96 = 3,84 \text{ т}, \quad (8)$$

где 4,0 м<sup>3</sup> – объем шихты № 1,

0,96 т/м<sup>3</sup> – удельный вес шихты № 1.

### Расчет получения ВС-1 из шихты № 1:

При синтезе ВС-1 выделяется 2% аммиака и 3,8 % алкилфенолов не вступивших в реакцию.

$$\frac{3,84 \cdot (100 - 2 - 3,8)}{100} = 3,62 \text{ т}, \quad (9)$$

где 3,84 т – масса шихты № 1.

### Загрузка масла:

$$\frac{3,62 \cdot 60}{40} = 5,43 \text{ т}, \quad (10)$$

где 3,62 т – масса получаемого при синтезе ВС-1,

40% – концентрация ВС-1 в масле,

60% – концентрация масла.

$$\frac{5,43}{0,95} = 5,72 \text{ м}^3, \quad (11)$$

где  $0,95 \text{ т/м}^3$  – удельный вес масла.

Из расчета мы видим при синтезе ВС-1 выделяется 2% аммиака и 3,8 % алкилфенолов не вступивших в реакцию.

В результате несовершенства существующих установок производства бутадиен-альфаметилстирольных каучуков, приготовления антиоксиданта ВС-1 поступают значительные объемы выбросов вредных продуктов в атмосферу и слива их в канализацию.

#### **4.2 Описание предлагаемой модели, колпачковой тарелки**

При изготовлении в пространстве между колпачками параллельными рядами укладывают трубные пучки из нержавеющей стали AISI 304, каждый из которых включает три теплообменных трубы, причем верхняя может возвышаться относительно колпачка не более 0,5 своего диаметра. Благодаря этой конструкции, температура жидкой фазы, находящейся на колпачковой тарелке и контактирующей с абгазом поддерживается постоянной на всей поверхности тарелки и регулируется теплоносителем, подаваемым в трубные пучки.

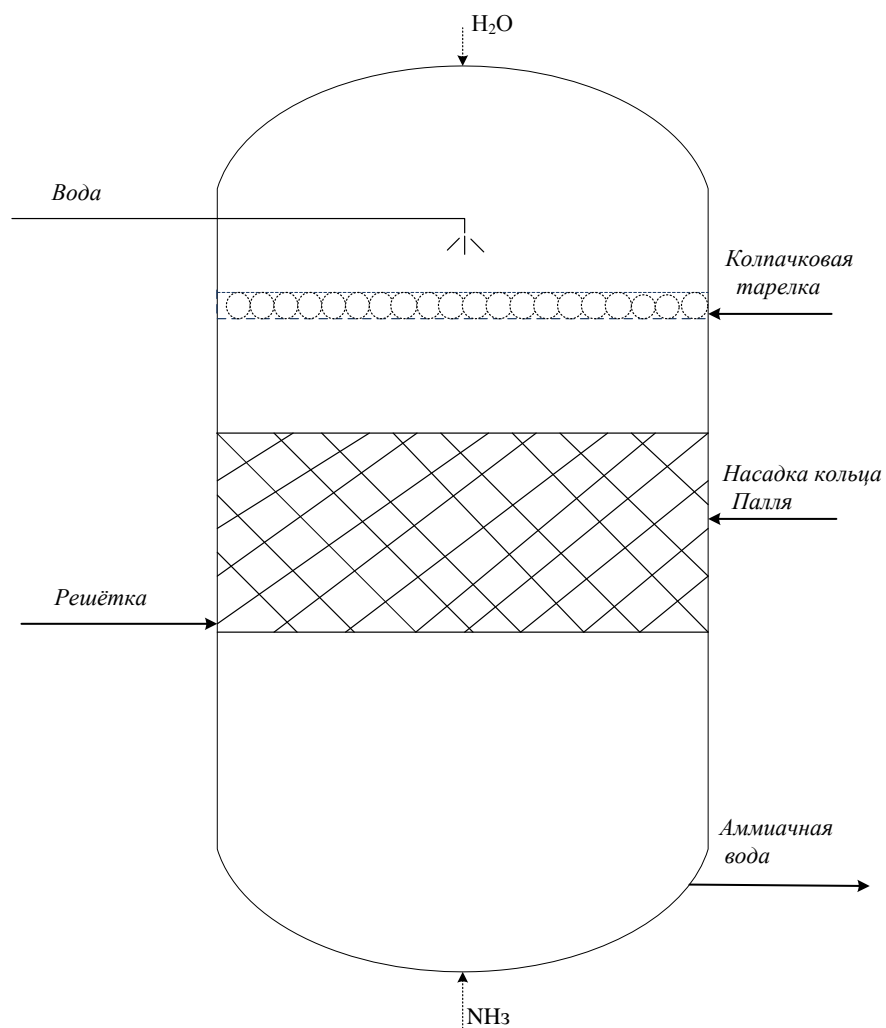


Рисунок 9 - Схема с применением колпачковой тарелки

Марка AISI 304 – универсальная и широко применяемая нержавеющая сталь с высокими антикоррозийными свойствами. Она обладает отличными характеристиками для штамповки и сварки. Сбалансированная аустенитная структура позволяет выдерживать высокие температуры без изменений свойств металла. Часто применяется в нефтехимии, элементов котлов и дымоходов, крепёжных и других изделий.



Рисунок 10 - Трубные пучки из нержавеющей стали AISI 304

AISI 304 характеристики:

Качество стали характеризуется её составом. В данном случае базовым элементом является железо (Fe), составляющее 66,3-74 % от общей массы.

Содержание основных легирующих элементов хрома (Cr) и никеля (Ni) в минимальном количестве составляет 18-20 % и 8-10,5 % соответственно. Присадки обеспечивают её высокую коррозионную стойкость и кислотостойкость, в том числе при непродолжительном воздействии повышенных температур до 800-900 °С. Значительное содержание цветных сплавов придаёт немагнитные свойства стали AISI 304.

Механические характеристики:

Деформация растяжения – минимум 45 %.

Прочность на разрыв составляет 505 Мпа.

Предел текучести – минимум 215 Мпа.

Прочность на сжатие – в пределах 210 Мпа.

Благодаря широкому перечню полезных качеств – термической, кислотной и коррозионной стойкости – нержавеющая сталь AISI 304 стала невероятно популярной у производителей металлопродукции различного назначения.

Наименование

Цена

Лист нержавеющей AISI 304 0,4 \* 1000 \* 2000

250 512 руб/т

Материал хорошо поддается механической обработке, гибке и формовке. При сварке тонких срезов не требуется отжиг. Поэтому металл применяется для изготовления различных компонентов в промышленности, архитектуре, транспортной сфере.

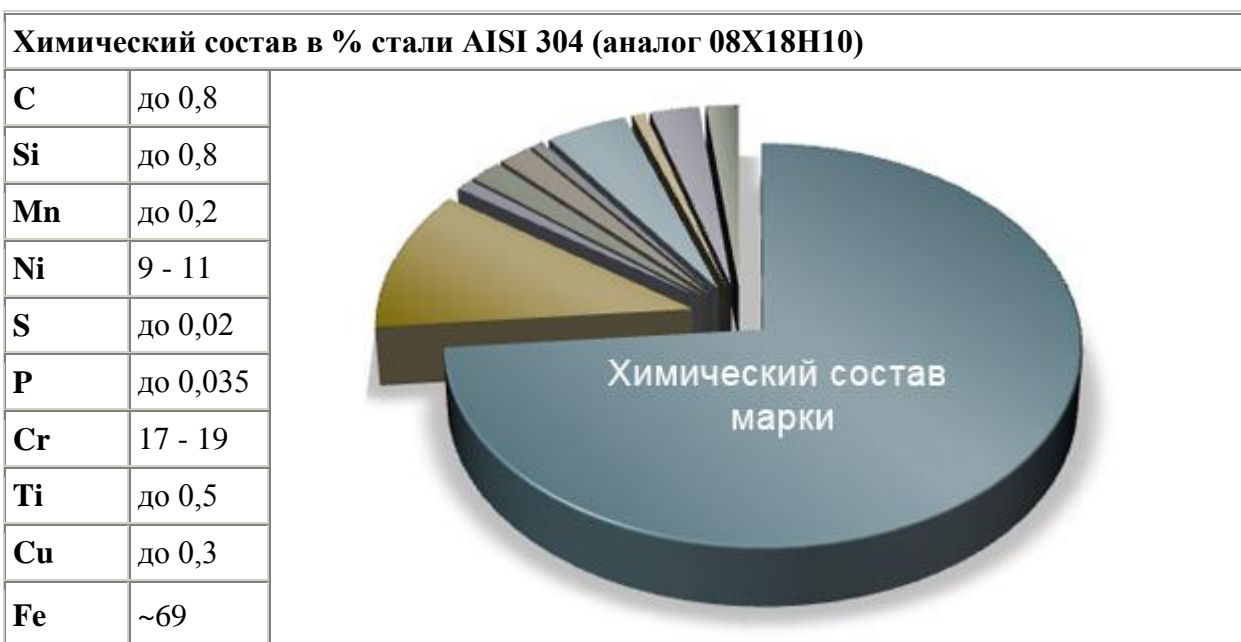


Рисунок 11 - Состав стали предлагаемой колпачковой модели

Труба AISI 304 очень хорошо поддается сварке, что позволяет широко её применять в производстве сварных конструкций (баков, ёмкостей), а также для изготовления электросварных нержавеющей труб. Наибольший объём сталей этой марки используется в нефтехимии благодаря сопротивляемости агрессивным средам.

Из AISI 304 изготавливают:

- Оборудование для пищевой промышленности, производства алкоголя, хранения и переработки молочных продуктов.
- Пищевые нержавеющей трубы.
- Термостойкую посуду.
- Холодильное оборудование.



- Оснастку, узлы и агрегаты для предприятий химической промышленности.
- Теплообменники.
- Строительные металлоконструкции.

Особенности. Марка стали AISI 304 представляет собой отличную комбинацию коррозионной стойкости и технологичности.

Хорошая прочность и твёрдость при криогенных температурах. Предотвращение загрязнения хранимых в ёмкостях продуктов. Внешняя красота изделий и лёгкость очистки. Широкая область применения.

### 4.3 Материальный баланс производства на 1 тонну каучука СКМС-30АРКМ-15

Таблица 8 - Материальный баланс производства на 1 тонну каучука СКМС-30АРКМ-15

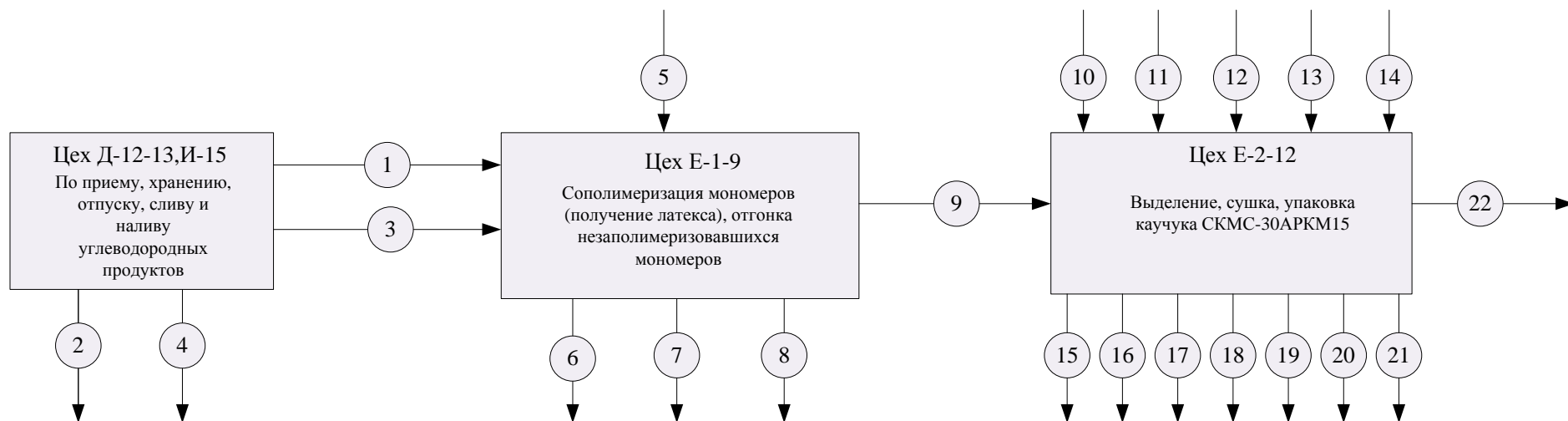
Балансовые потоки/ Единица измерения	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11	
	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
Компоненты:																						
Бутадиен	622,85	100	0,5	100							0,7	70,0	4,0	100			617,65	71,12				
α-метилстирол					176,4	100	0,2	100			0,2	20,0			0,5	100	175,5	20,21				
Наполнители									75,31	100	0,1	10,0					75,21	8,67	158,0	100	2,5	100
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>																						
NaOH																						
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>																						
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>																						
H <sub>2</sub> O																						
NaCl (солевой раствор)																						
Итого:	622,85	100	0,5	100	176,4	100	0,2	100	75,31	100	1,0	100	4,0	100	0,5	100	868,36	100	158,0	100	2,5	100

Продолжение таблицы 8

12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22	
кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
						0,3	60,0	0,12	60,0			0,46	65,7							616,77	61,68
						0,09	18,0	0,03	15,0	1,8	100	0,14	20,0							173,44	17,34
						0,11	22,0	0,05	25,0			0,1	14,3	19,49	100					209,79	20,98
		16,4	100																		
				4,55	100																
																		18,23	56,76		
																		8,07	25,12		
																		5,82	18,12		
268,8	100															263,8	100				
268,8	100	16,4	100	4,55	100	0,5	100	0,2	100	1,8	100	0,7	100	19,49	100	263,8	100	32,12	100	1000	100

Примечание: 5 кг NaCl входит в 1 тн каучука в составе наполнителей, как зола

#### 4.4 Схема материальных потоков для каучука СКМС-30АРКМ-15



- 1- Бутадиен из цеха Д-12-13,И-15
- 2- Потери бутадиена в цехе Д-12-13,И-15
- 3- Альф аметилстирол из цеха Д-12-13,И-15
- 4- Потери альф аметилстирола в цехе Д-12-13,И-15
- 5- Наполнители на стадии сополимеризации
- 6- Коагулянт из аппаратов полимеризации и отгонки
- 7- Потери бутадиена на стадиях отмывки, отгонки и компримирования
- 8- Потери альф аметилстирола на стадиях отмывки, отгонки и дистилляции
- 9- Латекс СКМС-30АРК в цех Е-2-12
- 10- Масло ПН-6к
- 11- Антиоксидант ВС-1

- 12- Хлористый натрий (солевой раствор)
- 13- Серная кислота
- 14- Едкий натр
- 15- Отходы каучука
- 16- Крошка каучука в ХЗК
- 17- Альф аметилстирол из сушилок на печи Д-6
- 18- Коагулянт из емкостей № 1/1-9
- 19- Наполнители в канализацию
- 20- Солевой раствор в ХЗК
- 21- Сульфаты и вода, образующиеся при коагуляции латекса и нейтрализации кислых стоков
- 22- Каучук СКМС-30АРКМ-15 на склад

## Заключение

В бакалаврской работе рассмотрен процесс приготовления антиоксиданта марки ВС-1 бутадиен - альфаметилстирольного каучук на производстве ООО «СИБУР Тольятти» и были получены следующие результаты:

1) Анализ существующего производства синтетического бутадиен-альфаметилстирольного каучука, на установке приготовления антиоксиданта ВС-1 на предприятии ООО «СИБУР Тольятти» показал, что поступают значительные объемы выбросов вредных продуктов в атмосферу и слива их в канализацию. В результате значительно увеличивается количество отходов образующихся в результате очистки сточных вод, а так же выбросы образовавшихся при синтезе ВС-1 газообразный аммиак, вследствие сброса стоков с низким качеством очистки.

2) Существующие способы на данной установке приготовления антиоксиданта ВС-1 устарели. Пары аммиака и воды, выделяющиеся при синтезе антиоксиданта ВС-1 в аппарате через промежуточный аппарат, где отделяется механически уносимая жидкость, поступают в скруббер и орошаемый водой, через гидрозатвор сливается в ХЗК, а газообразный продукт вентилятором подается на сжигание в печи установки Д-6. При невозможности подать газы на сжигание их вентилятором подают в атмосферу. Таким образом, увеличивается фактор на экологическую нагрузку окружающей среды.

3) В результате предложенного технологического решения, а именно установки колпачковой тарелки для контактирования газа и жидкости, включающая паровые патрубки, колпачки и сливные устройства и дополнительно змеевиком в виде параллельных трубных пучков, уложенных в пространстве между колпачками. Таким образом, предлагаемая модель будет способствовать полностью, поглотить пары аммиака.

## Список используемых источников

1. Амирханов Д.Г., Амирханов Р.Д. Техническая термодинамика: учебное пособие / Издательство КИНТУ, Казань, 2014. – 264 с. – ISBN 978-5-7882-1664-5.
2. Афанасьев С.В. Пожарная безопасность технологических процессов. Учебное пособие, с.382. Самара: АНО «Издательство СНЦ» 2015г.
3. Афанасьев Сергей Васильевич, Махлай Сергей Владимирович, Салабаев Евгений Алексеевич; Патент №117304(РФ).
4. Афанасьев С.В, Назарова Ф.А. [электронный ресурс] Статья: О закономерностях термоокисления СКМС\_30АРКМ-15, стабилизированного ВС-1.
5. Барабанова О.А. Экология: учеб. для вузов / О.А. Барабанова. Изд.: Библиотечно-издательский комплекс Сибирского федерального университета, 2011. – 333 с.
6. Банных О.П. Оборудование для нефтехимических производств. Часть I: учебное пособие / Университет ИТМО, Санкт Петербург, 2014. – 40 с.
7. Банных О.П. Оборудование для нефтехимических производств. Часть II: учебное пособие / Университет ИТМО, Санкт Петербург, 2015. – 44 с.
8. Башкатов, Т.В., Жигалин, Я.Л. Технология синтетических каучуков: Учебник для техникумов. 2-е изд., перераб. Л: Химия, 1987. 360.
9. Брянский Б.Я. Лекции по химической термодинамике [Электронный ресурс]: учебное пособие / Вузовское образование, Саратов, 2017. – 118 с. – ISBN 978-5-4487-0036-1.

10. Бутова С.В., Воронцов В.В., Шахова М.Н., Королькова Н.В., Котик О.А. Тепло- и хладотехника. ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, Воронеж, 2016. – 247 с.
11. Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М. Тепломассообмен: учебное пособие / Санкт Петербург, 2016. – 244 с. – ISBN 978-5-9227-0690-2.
12. Дытнерский, Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. -М.: Химия, 1983. -400.
13. Дьяконов В.Г., Лонцаков О.А. Основы теплопередачи и массообмена: учебное пособие / Издательство КНИТУ, Казань, 2015. – 244 с. – ISBN 978-5-7882-1813-7.
14. Евстифеев Е.Н., Кужаров А.А., Кужаров А.С. Процессы на поверхности раздела фаз [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ай Пи Эр Медиа, Саратов, 2018. – 287 с. – ISBN 987-5-4486-0208-5.
15. Епифанов В.С., Степанов А.М. Техническая термодинамика и теплопередача: методические рекомендации / Алтайр-МГАВТ, Москва, 2013. – 40 с.
16. Калыгин В.Г. Промышленная экология. Защита окружающей среды. Учебное пособие. Издательский центр Москва 2016г.
17. Комиссаров Ю.А., Гордеев Л.С., Вент Д.П. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие для вузов / ХИМИЯ, Москва, 2011. – 1230 с. – ISBN 978-5-98109-082-0.
18. Краснянский М. Е.К 78 Энергосбережение. Учебное пособие. Харьков: «Бурун КНИГА», 2014. — 126 с.
19. Кудинов И.В., Стефанюк Е.В. Теоретические основы теплотехники. Часть I. Термодинамика: учебное пособие / СГАСУ, Самара, 2013. – 172 с. – ISBN 978-5-9585-0553-1, ISBN 978-5-9585-0554-8.
20. Ларионов А.Н., Кураков Ю.И., Воищев В.С. Теоретические основы термодинамики и теплопередачи: учебное пособие / Воронеж, 2015. – 199 с. – ISBN 978-5-7267-0836-2.

21. Леонтьев А.И. Оборудование химических производств. Часть I [Электронный ресурс]: учебное пособие / Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Тамбов, 2012. – 232 с.
22. Леонтьев А.И. Оборудование химических производств. Часть II [Электронный ресурс]: учебное пособие / Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», Тамбов, 2012. – 280 с.
23. Маркин А.Н., Агеев М.А. Тепломассообменные процессы и установки промышленной теплотехники [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов вузов / Ай Пи Эр Медиа, Саратов, 2018. – 229 с. – ISBN 978-5-4486-0115-6.
24. Мартыненко Г.Н., Исакова А.В., Лукьяненко В.И. Основы автоматизации тепловых процессов: учебное пособие / Воронежский ГАСУ, Воронеж, 2015. – 70 с.
25. Официальный сайт ООО «СИБУР Тольятти»  
<https://www.sibur.ru/togliatti/>.
26. Производственная инструкция ПИ-Е-2-07-09.
27. Производственная инструкция ПИ-Е-12-27-12.
28. Романов П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М. Массообменные процессы химической технологии: учебное пособие / ХИМИЗДАТ, Санкт Петербург, 2017. – 440 с. – ISBN 978-5-93808-289-2.
29. Скаков С.В. Термодинамика: курс лекций / Издательство Липецкий ГТУ, Липецк, 2014. – 122 с. – ISBN 978-5-88247-698-3.
30. Стоянов Н.И., Смирнов С.С., Смирнова А.В. Теоретические основы теплотехники: учебное пособие / Издательство СКФУ, Ставрополь, 2014. – 225 с.
31. Технологический регламент ТР-Е-2-27-10.
32. Технология мономеров для синтетических каучуков общего назначения А. Г. Ликумович, Р. А. Ахмедьянова, Г. Р. Котельников 2016г.



33. Федоров А.Ф., Кузьменко Е.А. Контроль и регулирование параметров технологического процесса [Электронный ресурс]: учебное пособие для СПО / Профобразование, Саратов, 2017. – 233 с.
34. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»: ХИМИЗДАТ, Санкт Петербург, 2017. – 608 с. – ISBN 978-5-93808-304-2.
35. <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/321.html>
36. <http://www.medwelljournals.com/archive.php?jid=1816-949x> – журнал Journal of Engineering and Applied Sciences (Medwell Journals).
37. <http://www.journal-ijeee.com> - журнал International Journal of Energy.