

Введение.

В настоящее время более 90% мирового производства синтетического полипропилена (ПП) основано на применении, открытых К. Циглером и Дж. Натта комплексных металлоорганических катализаторы, которые принято называть катализаторами первого поколения. Катализаторы Циглера-Натта представляют собой тетрахлорид титана, нанесенный на дихлорид магния и алюмоорганическое соединение (АОС) (в качестве сокатализатора) [3]. Полученные катализаторы Циглера вызывали образование макромолекул с регулярным атомным пространственным соотношением - так называемые стереорегулярные полимеры [4]. Используя $\text{TiCl}_3 + \text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl}$ в качестве каталитической системы итальянская фирма «Montecatini» в городе Ферраре [5], установила низкую производительность и низкую стереоспецифичность, поэтому позднее были разработаны более эффективные каталитические системы (II и выше поколений) с использованием носителя и электронодонорных добавок. В настоящее время полипропилен производится с использованием различных титан-магниевых каталитических систем, отличающихся друг от друга, прежде всего, комбинацией входящих в их состав электронодонорных соединений – внутренних и внешних доноров.

К настоящему моменту основными катализаторами промышленного получения ПП являются титан-магниевые системы, которые представляют собой $\text{TiCl}_4/\text{D}_1/\text{MgCl}_2 - \text{AlR}_3/\text{D}_2$, где D_1 и D_2 – стереорегулирующие добавки. D_1 – внутренний донор в составе твердого катализатора и, соответственно, D_2 - внешний донор. 80% мирового производства полипропилена осуществляется на катализаторах, использующих в качестве D_1 фталаты. В качестве D_2 используют различные алкоксисиланы [3].

Комбинации « MgCl_2 /фталат/ TiCl_4 - AlR_3 -алкоксисилан» являются в настоящее время наиболее распространёнными в производстве широкого ассортимента марок полимеров общего назначения: гомополимеры,

статистические и гетерофазные сополимеры пропилена с этиленом, -
характеризуемые средним ММР ($M_w/M_n=7...8$) .

1. Теоретическая часть.

1.1 Характеристика производимой продукции

Готовым продуктом узла полимеризации является порошок полипропилена.

Полипропилен получают полимеризацией пропилена на металлорганических (Al-Ti-Mg) катализаторах Циглера-Натта. Титанмагнийевый катализатор – основной компонент каталитической системы полимеризации пропилена. Молекулярная масса получаемого порошка полипропилена в зависимости от марки находится в пределах 30000-1000000.

Решающее значение имеет пространственное расположение боковых CH_3 групп по отношению к главной цепи. Существует изотактический, синдиотактический и атактический полипропилен.

Основной стерической разновидностью является изотактический полипропилен. Изотактический полипропилен (гомополимер) – это продукт полимеризации пропилена с массовой долей изотактики не менее 96 %.

Изотактический полипропилен обладает большой степенью кристалличности, высокой прочностью, твердостью и теплостойкостью

Полипропилен обладает высокой химической стойкостью. Заметное воздействие на него могут оказывать только сильные окислители (азотная кислота). При комнатной температуре незначительно набухает в органических растворителях (ацетон, бензол, толуол, бензин), при температуре выше 100°C растворяется в толуоле, бензоле.

В связи с тем, что в полипропилене каждый второй углеродный атом основной цепи третичный, все углерод - водородные связи в нем менее прочны. Это определяет его низкую термическую стабильность, особенно при одновременном воздействии тепла и кислорода. Окисление полипропилена сопровождается снижением молекулярной массы и, как следствие, ухудшением механических показателей. Чтобы существенно

снизить термоокислительную деструкцию полипропилена, в него вводят стабилизаторы на стадии грануляции порошка.

Разнообразные свойства полипропилена (гомополимера) дополняются сополимерами пропилена с этиленом (эластичность, морозостойкость, ударопрочность и др.). Производится статистический сополимер пропилена с этиленом и блоксополимер пропилена с этиленом.

Статистический сополимер пропилена с этиленом получают добавлением в реакционную систему от 1 до 5 % этилена, происходит внедрение его случайным образом в цепочку полипропилена. Этилен понижает общую кристалличность полимера и приводит к понижению температуры плавления полипропилена.

Статсополимер получают в процессе совместной полимеризации пропилена и этилена.

Типы полипропилена:

- P - P - P - P - P - P - P - P - гомополимер

- P - E - P - P - P - E - E - P - E - P - статистический сополимер

- P - P - P - P - + - E - P - P - E - E - P - P - блок-сополимер

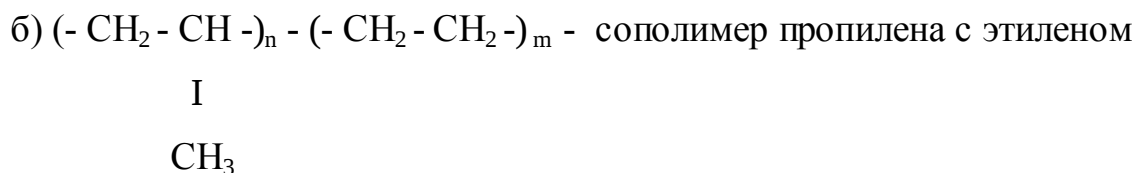
где, P: $\text{C} = \text{C} - \text{C}$ - пропилен E: $\text{C} = \text{C}$ - этилен

Структурные формулы полипропилена:

а) $(-\text{CH}_2 - \text{CH} -)_n$ - гомополимер пропилена

I

CH_3



Порошок полипропилена является сырьем для получения гранулированного стабилизированного полипропилена (гомополимера и сополимера) на узле гранулирования.

1.2 Свойства порошка полипропилена:

1	Внешний вид	- порошок белого цвета
2	Температура плавления для	
	гомополимера пропилена	- (160 -168) °С
	блоксополимера пропилена с этиленом	- (160 -165) °С
	статсополимера пропилена с этиленом	- (130 -155) °С
3	Плотность для гомополимера пропилена	- (900-910) кг/м ³
	блоксополимера пропилена с этиленом	- 900 кг/м ³
	статсополимера пропилена с этиленом	- (890-910) кг/м ³
4	Удельное объемное электрическое сопротивление	- (10 ¹⁶ - 10 ¹⁸) Ом*см

Порошок гомополимера пропилена и сополимера пропилена с этиленом выпускается в соответствии с данным технологическим регламентом и должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Требования к порошку пропилена и сополимера.

Наименование показателя	Норма		
	Гомополимер	Блоксополимер	Статсополимер
1 Показатель текучести расплава, г за 10 мин.	0,2 – 4,0	0,2 - 4,0	0,02- 4,0
2 Массовая доля летучих, %, не более	0,2	0,2	0,2
3 Массовая доля золы, %, не более	0,015	0,015	0,015

не более			
4 Массовая доля атактической фракции, %, не более	3,0	-	-
5 Насыпная плотность, г/дм ³ , не менее	450	450	440
6 Массовая доля порошка с размером частиц менее 63 мкм, %, не более	1	1	1

[2][1]

1.3 Характеристика исходного сырья.

Характеристика исходного сырья представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика исходного сырья

Наименование сырья, материалов, полупродуктов, энергоресурсов	ГОСТ, ОСТ, СТО, ТУ или методика на подготовку сырья	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
1	2	3	4
1 Азот	Постоянный технологический регламент производства азота и кислорода азотно-кислородного цеха, управления главного энергетика № 3	1 Объемная доля кислорода, %, не более 2 Объемная доля азота, %, не более	0,001 99,99
2 Водород	Постоянный технологический регламент № 103-1-03 производства водорода методом электролиза	1 Точка росы, °С, не выше 2 Объемная доля кислорода, %, не более	- 60 0,001
3 Донор Catylen D 300	импорт	1 Массовая доля основного вещества, %, не менее 2 Массовая доля воды, промилле, не	99,5 100 5

		более 3 Массовая доля хлора, промилле, не более	
4 Пропилен сорт высший сорт первый сорт (только по показателям 1, 6)	ГОСТ 25043-87, изм.1, Технологический регламент 101-1-2012	1 Объемная доля пропилена, %, не менее - высший сорт - первый сорт 2 Объемная доля этилена, %, не более высший сорт 3 Объемная доля ацетилена и метилацетилена, %, не более высший сорт 4 Объемная доля диеновых углеводородов (пропадиена и бутадиена), %, не более высший сорт 5 Объемная доля углеводородов C ₄ , %, не более высший сорт 6 Объемная доля этана и пропана, %, не более - высший сорт - первый сорт 7 Содержание свободной воды 8 Массовая концентрация серы, мг/м ³ , не более 9 Массовая доля воды, % , не более 10* Объемная доля окси углерода, %, не более 11* Объемная доля двуокси углерода, %, не более	99,8 99,5 0,005 0,0005 0,001 0,002 0,2 0,5 Отсутствие 1 0,0005 0,0005 0,001
5 Раствор триэтилалюминия (ТЭА)	Постоянный технологический регламент №103-3- 07	1 Массовая концентрация триэтилалюминия, г/дм ³	55 - 65

6 Титанмагнийевый катализатор (ТМК) марки Lynx 1010 НА	импорт	1 Производительность, кг ПП/г сухого катализатора 2 Массовая доля растворимых в ксилоле, % 3 Массовая доля титана, % 4 Массовая доля донора, % 5 Средний размер частиц катализатора, микрон 6 Массовая доля летучих, %	45 - 53 1,7 – 2,7 1,4 – 2,0 12,0 – 18,0 10 - 12 8 - 12
7 Этилен	ГОСТ 25070-87	1 Объемная доля этилена, %, не менее 2 Объемная доля этана и метана, %, не более 3 Объемная доля ацетилен, %, не более 4 Объемная доля диеновых углеводородов (пропадиена и бутадиена), %, не более 5 Объемная доля окиси углерода, %, не более 6 Объемная доля двуокиси углерода, %, не более 7 Массовая доля воды, %, не более 8 Массовая концентрация сернистых соединений в пересчете на серу, мг/м ³ , не более	99,9 0,1 0,001 0,0005 0,0005 0,001 0,001 1

2. Описание технологической схемы.

2.1 Полимеризация пропилена с этиленом

Получение статсополимера пропилена с этиленом по однореакторной схеме или в реакторах, работающих параллельно.

Процесс сополимеризации пропилена и этилена в реакторе ведется при температуре не более 80°C и давлении $(0.4-0.7) \text{ МПа}$ ($(4-7) \text{ кгс/см}^2$)

Пропилен и этилен подаются в реактор одновременно. Этилен подается из расчета не более 5 % от массы подаваемого пропилена. Давление этилена в коллекторе поддерживается не менее $0,6 \text{ МПа}$ (6 кгс/см^2). При получении статистического сополимера пропилена с этиленом активность катализатора выше, чем при получении гомополимера пропилена на $(20-25) \%$.

Нефрас в реакторы подается из расчета: массовое соотношение пропилен/нефрас $(0,4 - 0,9)$ для поддержания модуля ванны в реакторах в пределах не более 500 г/дм^3 .

Для регулирования показателя текучести расплава (далее по тексту ПТР) статсополимера в реактор подается водород. В зависимости от требуемого ПТР статсополимера объемная доля водорода в газовой фазе поддерживается в пределах $(0,1-5,0) \%$.

Суспензия статсополимера выгружается из реакторов в дегазатор, где при снижении давления до $0,04 \text{ МПа}$ ($0,4 \text{ кгс/см}^2$) уменьшается растворимость мономеров. Вместе с непрореагирующими мономерами удаляется водород, азот и часть нефраса.

Суспензия самотеком стекает в центрифугу. Центрифуга отделяет влажный полимер от нефраса и каталитического комплекса. Далее влажный полимер поступает на сушку, где сушится до влажности $0,5\%$.

На рисунке 1 представлена полная блок-схема получения статсополимера пропилена с этиленом.

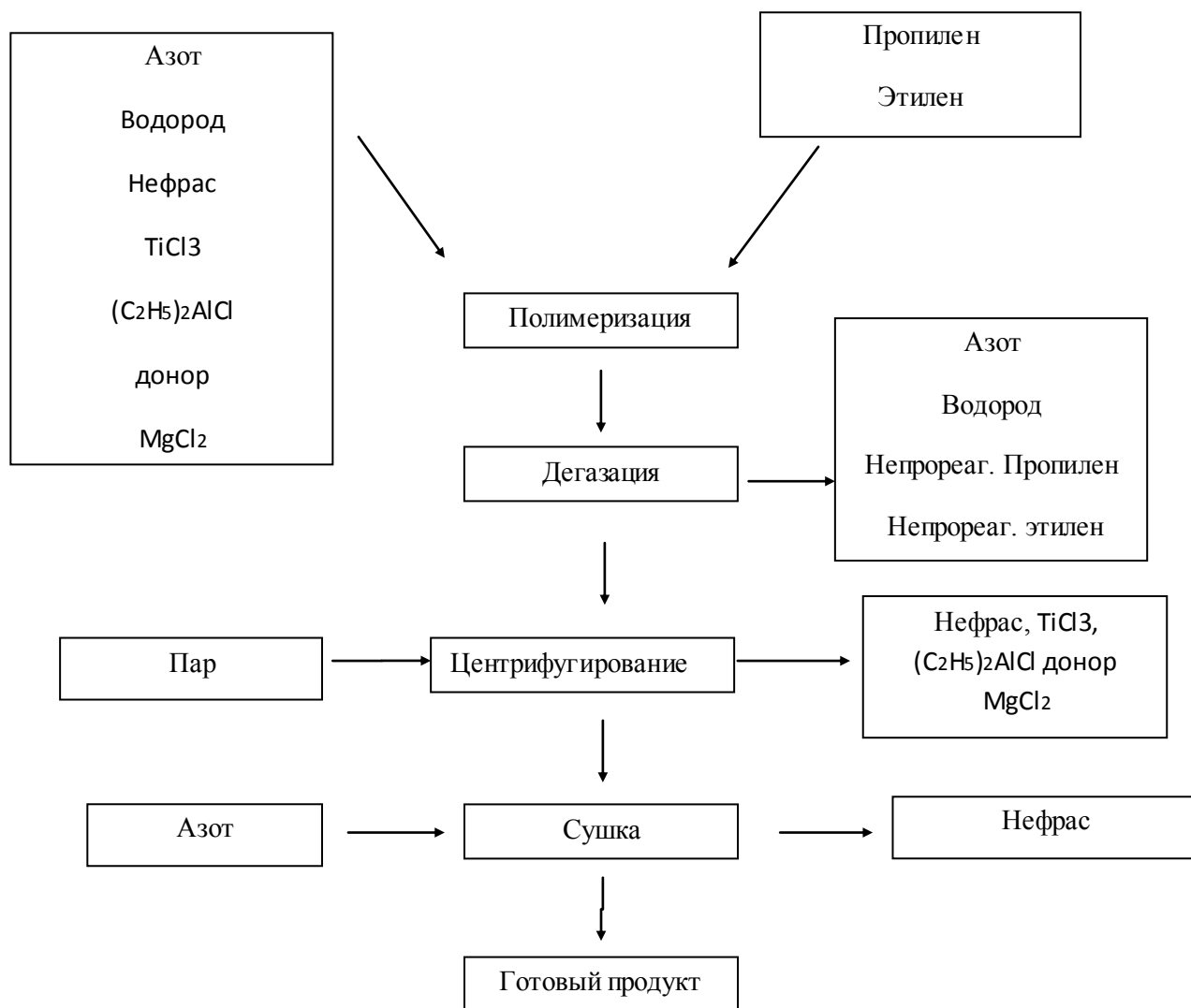


Рисунок 1 - Блок-схема.

3. Расчетная часть.

3.1. Материальный баланс

Годовая производительность 12000 т/год

Годовой фонд рабочего времени $365 - 24 = 341$ дней

24 дня - на капитальный ремонт и профилактику производства.

Производительность в сутки без учета потерь составляет:

$$P_c = \frac{12000}{341} = 35,2 \frac{\text{т}}{\text{сутки}} = 1466,67 \text{ кг/ч}$$

Потери сополимера по стадиям равны:

- потери при полимеризации – 0,7 %
- потери при дегазации – 0,3 %
- потери при центрифугировании и промывке – 0,1 %
- потери при сушке – 0,2 %
- потери при упаковке – 0,2 %

Итого $\alpha = 1,5\%$. Тогда производительность в сутки с учетом потерь составляет:

$$P_{\text{сп}} = \frac{35,2}{1 - 1,5/100} = 35,7 \frac{\text{т}}{\text{сутки}} = 1487,5 \text{ кг/ч}$$

Производительность в сутки без учета потерь на абсолютно сухой полимер (влажность готового продукта – 0,5 %):

$$P'_c = \frac{35,2}{\left(1 + \frac{0,5}{100}\right)} = 35,03 \frac{\text{т}}{\text{сутки}} = 1459,58 \text{ кг/ч}$$

Производительность в сутки с учетом потерь на абсолютно сухой полимер составляет:

$$P_c^{\text{п}} = \frac{35,7}{\left(1 - \frac{0,5}{100}\right)} = 35,5 \frac{\text{т}}{\text{сутки}} = 1479,16 \text{ кг/ч}$$

Общие потери составляют:

$$П = P_c^{\text{п}} - P'_c = 35,5 - 35,03 = 0,47 \text{ т/сутки} = 19,58 \text{ кг/ч}$$

Потери полимера по стадиям в весовых единицах составляет:

- полимеризация: $0,47 * 0,7/1,5 = 0,219 \text{ т/сутки} = 9,125 \text{ кг/ч}$
- промывка и центрифугирование: $0,47 * 0,1/1,5 = 0,031 \text{ т/сутки} = 1,292 \text{ кг/ч}$
- сушка: $0,47 * 0,2/1,5 = 0,063 \text{ т/сутки} = 2,625 \text{ кг/ч}$
- упаковка: $0,47 * 0,2/1,5 = 0,063 \text{ т/сутки} = 2,625 \text{ кг/ч}$

Потери мономера при транспортировки и загрузки 0,1%, тогда суточный расход мономера с учетом всех потерь:

$$\frac{35,03}{1 - \frac{0,1}{100}} = 35,06 \text{ т/сутки} = 1460,8 \text{ кг/ч}$$

Рецептура загрузки сырья на полимеризацию:

- Этилен 5% от пропилена
- Массовое соотношение Нефрас/пропилен – 0,9:0,4
- Н₂ – в газовой фазе от 0,1 до 5%
- Температура
- Давление 0,4-0,7МПа (4-7 кгс/м²)
- Время прибывания реакционной смеси в реакторе – 2ч

Таблица 3 – Материальный баланс стадии получения стат-сополимера.

Стадия полимеризации

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Пропилен	1387,760	57,62	Сополимер	1426,856	59,24
			Потери сополимера	9,125	0,38
Этилен	69,390	2,88	Непрореагировавший пропилен	20,820	0,86
Нефрас	861,872	35,78	Непрореагировавший этилен	0,350	0,02
Водород	7,304	0,30	Нефрас	861,872	35,78

Азот	73,04	3,03	Водород	7,303	0,30
TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,26	Азот	73,040	3,03
MgCl ₂	3,087	0,13	TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,26
			MgCl ₂	3,087	0,13
Всего	2408,626	100	Всего	2408,626	100

Таблица 4 – Материальный баланс стадии получения стат-сополимера. Стадия дегазации

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Сополимер	1426,856	59,46	1.Суспензия сополимера в нефрасе в т.ч.		
Непрореагировавший пропилен	20,820	0,87	Сополимер	1426,856	59,46

Непрореагировавший этилен	0,350	0,02	Нефрас (95%)	818,782	34,12
Нефрас	861,872	35,92	TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,26
Водород	7,303	0,30	MgCl ₂	3,087	0,13
Азот	73,040	3,04	2. Этилен	0,350	0,02
TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,26	Пропилен	20,820	0,87
MgCl ₂	3,087	0,13	Нефрас (5%)	43,09	1,79
			Азот	73,040	3,04
			Водород	7,303	0,30
Всего	2399,501	100	Всего	2399,501	100

Таблица 5 – Материальный баланс стадии получения
 стат-сополимера. Стадия центрифугирования

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Сополимер	1426,856	63,28	Сополимер(влажность 1,5%)	1437,844	63,76
Нефрас	818,782	36,31	Потери сополимера	1,292	0,06
TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,27	Нефрас (98,5%)	806,502	35,77
MgCl ₂	3,087	0,14	TiCl ₃ (C ₂ H ₅) ₂ AlCl донор	6,173	0,27
			MgCl ₂	3,087	0,14
Всего	2254,898	100	Всего	2254,898	100

Таблица 6 – Материальный баланс стадии получения стат-сополимера. Стадия сушки

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Сополимер (влажность 1,5%)	1437,84	100	Сополимер (влажность 0,5%)	1427,02	99,25
			Потери сополимера	2,63	0,18
			Нефрас	8,19	0,57
Всего	1437,84	100	Всего	1437,84	100

Таблица 7 – Материальный баланс стадии упаковки стат-сополимера

Приход	кг/ч	%	Расход	кг/ч	%
Сополимер (влажность 0,5%)	1427,02	100	Сополимер (влажность 0,5%)	1424,395	99,81
			Потери сополимера	2,625	0,19
Итого	1427,02	100	Итого	1427,02	100

3.2. Тепловой расчет.

Во время пуска в реактор загружается 2408,626 кг смеси.

1. Количество тепла, которое необходимо подвести для разогревания реакционной массы до 75°C, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{пр.}} = \sum G_i \cdot C_{pi} \cdot t_i,$$

где G_i – количество, кг;

C_{pi} – теплоемкость, кДж/кг·С°;

t_i – температура поступающая в реактор, С°.

В таблице 8 приведены значения прихода, теплоемкости и температуры поступающих веществ в реактор.

Таблица 8 – Тепловые характеристик поступающих в реактор веществ

Поступающее вещество	Количество, кг	Теплоемкость, кДж/кг·С°	Температура, С°
1.Пропилен	1387,760	1,136	75
2. Этилен	69,390	1,727	75
3.Гептан	861,872	2,4	75
4.Водород	7,304	14,3	30
5.Азот	73,040	1,05	30
6.ТМК	3,087	0,702	18
7.ТЭА	6,173	2,43	18

Исходя из значений приведенных в таблице 8, расчетное количество тепла прихода составит, $Q_{\text{прихода}} = 288105,04 \text{ кДж/ч} = 80,029 \text{ кВт}$.

Количество тепла химической реакции:

$$Q_{\text{х.р}} = \Delta H^0 \cdot n = 93,2 \text{ кДж/моль} \cdot \frac{1460,8}{28 + 42} \text{ моль} = 1944,95 \text{ кДж} \\ = 0,540 \text{ кВт};$$

Количество тепла выделяемое в процессе синтеза:

$$Q_{\text{проц.}} = Q_{\text{прих.}} + Q_{\text{х.р}} + Q_{\text{мешал.}} = 80,029 + 0,540 + 16,0058 = 96,5748 \text{ кВт} \\ = 347669,28 \text{ кДж};$$

Количество тепла расходуемое рассчитываем по формуле:

$$Q_{\text{расх.}} = \sum G_i \cdot C_{pi} \cdot t_i + Q_{\text{потерь}},$$

где G_i – количество, кг;

C_{pi} – теплоемкость, кДж/кг·С°;

t_i – температура поступающая в реактор, С°.

$$Q_{\text{потерь}} = 17383,46 \text{ кДж}$$

Следовательно, количества тепла расходуемое составит:

$$Q_{\text{расх.}} = 376727,32 + 17383,46 = 394110,78 \text{ кДж} = 109,475 \text{ кВт}.$$

Значит:

$$Q_{\text{нагр.}} = Q_{\text{расх.}} - Q_{\text{проц.}} = 46440,72 \text{ кДж} = 12,9 \text{ кВт};$$

Рассчитаем расход воды для разогревания реакционной массы:

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q_{\text{нагр}}}{C_{\text{р воды}} \cdot \Delta t_{\text{ср.}}} = \frac{46440,72}{4,19 \cdot 10} = 1108,3 \text{ кг/ч},$$

где $\Delta t_{\text{ср.}} = \frac{(80-60)}{2} = 10^{\circ}\text{C}$; $C_{\text{р воды}} = 4,19 \text{ кДж/кг} \times \text{К}$.

Площадь поверхности нагрева:

$$F = \frac{Q_{\text{нагр.}}}{\Delta t_{\text{ср.}} \cdot K} = \frac{12900}{94 \cdot 10} = 13,4 \text{ м}^2$$

где $K = 94 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \text{ К})$

По справочнику «Основы конструирования и расчета химической аппаратуры» принимаем поверхность теплообмена $F = 13,4 \text{ м}^2$ [7]

3.3. Аппаратурный расчет.

3.3.1 Основной аппарат.

На рис. 2 изображен реактор для полимеризации этилена с пропиленом в присутствии гетерогенного катализатора Циглера-Натта. Процесс получения статсополимера проводят в растворе гептана при температуре 75°C и давлении $0,4 \dots 0,9 \text{ МПа}$.

Реактор объемом $6,3 \text{ м}^3$, представляет собой вертикальный цилиндрический емкостной аппарат смешанного типа с мешалкой 13 и рубашкой 8, который успешно сочетает в себе достоинства как РИС, так и РИВ.

Так как главными особенностями данного процесса являются: гетерофазность и большой реакционный объем, то существует опасность возникновения градиента температур по сечения аппарата, что снижает стереоспецифичность и, следовательно, качество продукта.

В связи с этим в реакторе установлена многоярусная лопостная мешалка 13.

Для предотвращения оседания образующегося сополимера нижняя часть мешалки снабжена скребками. Реактор снабжен электродвигателем с редуктором 1, и дополнительной поверхностью теплообмена в виде встроенных в аппарат пучков труб 9, которые играют также роль волнорезов (устраняют появление воронок около стенок аппарата).

Наличие в реакционной среде токсичных, пожаровзрывоопасных веществ приводит к необходимости уплотнения всех соединений в реакторе. В связи с этим вращающийся вал 12 уплотнен торцевым уплотнением 3. Для исключения радиального биения вала используются двухрядные радиально-упорные роликовые подшипники, закрепленные в стойке 2.

Поддержание температурного режима осуществляется подачей теплоносителя в рубашку аппарата. При сравнительно невысоких параметрах процесса ($50 \pm 2^\circ\text{C}$) в качестве теплоносителя используют подогретую острым паром воду, что позволяет применить несъемную рубашку 8 с гладкими стенками и перегородками. Для контроля температурного режима реактор имеет термогильзу 14 для размещения датчика температуры.

Реактор снабжен нижними опорами 10 для установки на фундамент.

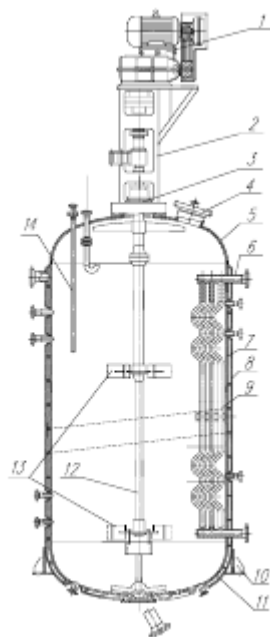


Рисунок 2 - Реактор для синтеза сополимера этилена с пропиленом:

1 – мотор-редуктор; 2 – стойка; 3 – торцевое уплотнение; 4 – люк; 5 – крышка; 6 – штуцер; 7 – обечайка; 8 – рубашка; 9 – волнорез; 10 – опора; 11 – днище; 12 – вал; 13 – мешалка; 14 – гильза.

Расчет размеров аппарата

Плотность суспензии находим по формуле:

$$\frac{1}{\rho_{\text{сусп.}}} = \frac{x_1}{\rho_{\text{проп.}}} + \frac{x_2}{\rho_{\text{этил.}}} + \frac{x_3}{\rho_{\text{к.к.}}} + \frac{x_4}{\rho_{\text{неф.}}} + \frac{x_5}{\rho_{\text{п}}}$$

$$= \frac{0,0086}{3} + \frac{0,0002}{1260} + \frac{0,0039}{974} + \frac{0,3578}{720} + \frac{0,5924}{850} = 0,0012$$

Следовательно, $\frac{1}{\rho_{\text{сусп.}}} = 0,0012 \Rightarrow \rho_{\text{сусп.}} = 833,3 \text{ кг/м}^3$.

Находим секундный (объемный) расход

$$q_c = \frac{G \cdot t}{\rho_{\text{сусп.}} \cdot 3600} = \frac{2408,626 \cdot 7200}{833,3 \cdot 3600} = 5,78 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

Находим площадь поперечного сечения

$$f = \frac{q_c}{\omega} = \frac{5,78}{1,5} = 3,85 \text{ м}^2$$

Найдем внутренний диаметр обечайки:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,85}{3,14}} = 2,2 \text{ м}$$

Объем рубашки:

$$V = \frac{G \cdot \tau}{\rho_{\text{сusp.}}} = \frac{2408,626 \cdot 7200}{833,3} = 5,7 \text{ м}^3$$

В соответствии с ГОСТ 13372-78, принимаем $V_a = 6,3 \text{ м}^3$ со следующими геометрическими размерами: диаметры $D = 1800 \text{ мм}$, $D_1 = 1900 \text{ мм}$ и поверхность теплообмена $F = 13,4 \text{ м}^2$ [7]

Расчет штуцеров

Диаметр штуцеров рассчитываем по формуле:

$$D_{\text{штуц.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

где G – массовый расход, кг/ч;

ω – скорость потока, м/с;

ρ – плотность смеси, кг/м³.

1. Штуцер для ввода нефраса.

Примем, что скорость загрузки 2 м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 861,872}{3,14 \cdot 720 \cdot 2 \cdot 3600}} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 20 \text{ мм}$.

2. Штуцер для ввода греющего агента .

Примем, что скорость загрузки 1,5 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 0,2 / (3,14 * 998 * 1,5)} = 0,013 \text{ м} = 13 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 20 \text{ мм}$.

3. Штуцер для выгрузки суспензии.

Примем, что скорость выгрузки 0,5 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 2408,626 / (3,14 * 833,3 * 0,5 * 3600)} = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 50 \text{ мм}$.

4. Штуцер для выхода греющего агента.

$$d = \sqrt{4 * 0,2 / (3,14 * 998 * 1,5)} = 0,013 \text{ м} = 13 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 20 \text{ мм}$.

5. Штуцер для ввода пропилена .

Примем, что скорость загрузки 20 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 1387,76 / (3,14 * 3 * 20 * 3600)} = 0,09 \text{ м} = 90 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 100 \text{ мм}$.

6. Штуцер для ввода этилена .

Примем, что скорость загрузки 20 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 69,39 / (3,14 * 1260 * 20 * 3600)} = 0,001 \text{ м} = 1 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 20 \text{ мм}$.

7. Штуцер для ввода азота .

Примем, что скорость загрузки 20 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 73,04 / (3,14 * 1,25 * 20 * 3600)} = 0,032 \text{ м} = 32 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 32 \text{ мм}$.

8. Штуцер для ввода водорода .

Примем, что скорость загрузки 20 м/с.

$$d = \sqrt{4 * 7,304 / (3,14 * 0,09 * 20 * 3600)} = 0,037 \text{ м} = 37 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 40 \text{ мм}$.

9. Штуцер для ввода кат. комплекса

$$d = \sqrt{4 * 6,173 / (3,14 * 974 * 0,2 * 3600)} = 0,003 \text{ м} = 3 \text{ мм}$$

Примем штуцер с условным проходом $D_y = 20 \text{ мм}$.

В таблице 9 приведены значения расхода, плотности, скорости и рассчитанные диаметры штуцеров для всех вводимых компонентов и вывода суспензии из реактора.

Таблица 9 – Диаметры штуцеров.

Вещество	Расход, кг/с	Плотность, кг/м ³	Скорость, м/с	Диаметр штуцера, мм
1. Этилен	0,019	1260	20	20
2. Пропилен	0,385	3	20	100
3. Нефрас	0,239	720	2	20
4. Азот	0,0202	1,25	20	32
5. Водород	0,002	0,09	20	40

6. Кат.комплекс	0,0017	974	0,2	20
7. Выгрузка суспензии	0,73287	833,3	0,5	50
8. Греющий агент	0,19	998	1,5	20

Расчет толщины обечайки:

Толщина обечайки рассчитывается по формуле [7]:

$$\delta = \frac{D \cdot P}{2\sigma_{\delta} \cdot \varphi} + C_{\kappa},$$

Т.к. среда является агрессивной и токсичной, то принимаем материал – сталь X18H10T.

где D – наружный или внутренний диаметр обечайки, м; $[\sigma] = 160$ МПа – допускаемое напряжение для стали; $\varphi = 1,0$ – коэффициент ослабления сварного шва. (Шов двусторонний с двойным проваром, стыковой или тавровый, выполненный автоматической или полуавтоматической сваркой при контроле от 10 до 50 % длины шва) [7];

$c = 0,002$ м – поправка на коррозию ;

$p = 0,4$ МПа;

$D = 1,8$ м.

$$\delta = \frac{1,8 \cdot 0,4}{2 \cdot 160 \cdot 1} + 0,002 = 0,00425 \text{ м},$$

Принимаем S=5 мм.

Расчет толщины днища

Составным элементом корпуса химического аппарата является днище, которое, как правило связано с корпусом аппарата и изготавливается из того же материала. Форма днища определяется сопрягаемой с ней формой обечайки, химико-технологическими требованиями, предъявляемые к тому или иному аппарату, давлением среды в нем, конструктивными соображениями и бывает эллиптической, полушаровой, сферической, конической, плоской (круглой и прямоугольной). В сварной и паяной аппаратуре днища обычно привариваются или припаиваются к обечайке.

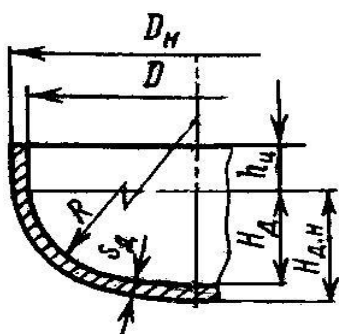


Рисунок 3 - Днище для стальных сварных аппаратов эллиптическое отбортованное

Наиболее рациональной формой для цилиндрических аппаратов является эллиптическая. Эллиптические днища изготавливаются из листового проката штамповкой и могут использоваться в аппаратах с избыточным давлением до 10 МПа.[7]

Принимаем толщину днища равной толщине обечайки $S = 5$ мм.

Подбираем стандартное эллиптическое отбортованное стальное днище.

Таблица10 – Размеры эллиптических отбортованных днищ

Внутренний диаметр днища, D , мм	Толщина днища, S_d , мм	Высота днища, H_d , мм	h_d , мм	Площадь днища, F_d , m^2	Объем днища, V_d , m^3	Масса днища, m , кг
1800	5	500	40	3,74	0,865	297

3.3.2 Подбор вспомогательной аппаратуры.

Расчет и выбор опор

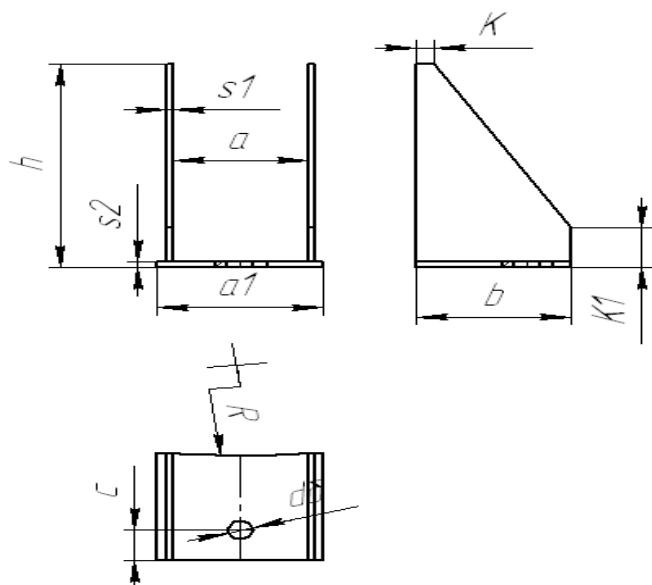


Рисунок 4 - Стандартная опора для стальных сварных вертикальных цилиндрических аппаратов.

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор.

Вертикальные аппараты обычно устанавливают или на стойках, когда их размещают внизу в помещении, или на подвесных лапах, когда аппарат размещают между перекрытиями в помещении или на специальных стальных конструкциях.

При конструировании опор, одним из основных элементов которых является ребро, рекомендуется отношение вылета к высоте ребра принимать равным 0,5:

$$\frac{b}{h} = 0,5$$

Расчетная толщина ребра s' определяется по формуле:

$$s' = \frac{2,24G}{knl\sigma_{с.д.}} + C_K + C_{ОКР}$$

где G – максимальный вес аппарата при гидроиспытании, МН;

n – число опор, используем 4 опор;

z – число ребер в опоре, принимаем 2;

$\sigma_{с.д.}$ – допускаемое напряжение на сжатие (примем равным 100 МН/м^2);

l – вылет опоры, м;

k – коэффициент, примем равным 0,6.

Для того чтобы выбрать опору, необходимо рассчитать вес всего аппарата в рабочем состоянии (при гидроиспытании).

Масса корпуса аппарата:

$$M_k = M_o + M_{кр} + M_{дн} + M_{руб};$$

где M_o – масса обечайки аппарата;

$M_{кр}$ – масса крышек аппарата;

Масса обечайки:

$$M_o = H\pi(D_n^2 - D_v^2)\rho/4;$$

где H – высота обечайки аппарата, м;

D_n – наружный диаметр обечайки, м;

D_v – внутренний диаметр обечайки, м;

ρ – плотность стали, кг/м^3 .

$$M_o = 1,476 \cdot 3,14 \cdot (1,8^2 - 1,79^2) \cdot 7900 / 4 = 328,6 \text{ кг};$$

$$M_{кр} + M_{дн} = 2 \cdot 297 = 594 \text{ кг};$$

$$M_{руб} = 2,099 \cdot 3,14 \cdot (1,9^2 - 1,89^2) \cdot 7900 / 4 = 493,3 \text{ кг};$$

Тогда масса корпуса будет равна:

$$M_k = 328,6 + 594 + 493,3 = 1415,9 \text{ кг}$$

Масса жидкости:

$$\text{Объем аппарата: } V_a = 6,3 \text{ м}^3;$$

Масса воды в аппарате (при гидроиспытании):

$$M_{в1} = V_a \cdot \rho_B,$$

где ρ_B – плотность воды.

$$M_{в1} = 6,3 \cdot 1000 = 6300 \text{ кг}$$

Таким образом, суммарная масса аппарата (при гидроиспытании):

$$\Sigma M = M_k + M_{bl} = 1415,9 + 6300 = 7715,9 \text{ кг}$$

Вес всего аппарата:

$$G = \Sigma M \cdot g = 7715,9 \cdot 9,8 = 75615,82 \text{ Н}$$

Для установки аппарата используем четыре опоры, значит вес, приходящийся на одну опору – 18903,95 Н.

Таблица 11 – Основные параметры опоры.

Q кН	A,м	a ₁ , мм	b, мм	C, мм	c ₁ мм	H, мм	h ₁ , мм	s ₁ мм	K, мм	k ₁ , мм	d, мм	дв	f _{max}
25	125	155	155	45	90	230	16	8	25	40	24	M20	40

3.4 Контроль производства

3.4.1 Аналитический контроль

Таблица 12 – Карта аналитического контроля

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
1	2	3	4	5	6	7	8
Катализатор Lунх 1010 НА импорт	1 Производительность	кг ПП/г сухого ка-тализатора	45 - 53	Технологический регламент 101-1-2012	Каждая партия при поступлении на склады СУЗ	Сравнение с данными сертификата поставщика	-
	2 Массовая доля растворимых в ксилоле	%	1,7 - 2,7	то же	то же	то же	то же
	3 Массовая доля титана	%	1,4 - 2,0	то же	то же	то же	то же
	4 Массовая доля донора	%	12,0 - 18,0	то же	то же	то же	то же
Донор Catylen D 300 Импорт	1 Массовая доля основного вещества	%	не менее 99,5	Технологический регламент 101-1-2012	Каждая партия при поступлении на склады СУЗ	Сравнение с данными сертификата поставщика	-

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Донор Catylen D 300 Импорт	2 Массовая доля хлора	промилле	не более 5	то же	то же	то же	то же
	3 Массовая доля воды	промилле	не более 100	то же	то же	то же	то же
Пропилен на входе на установку после фильтра	1 Объемная доля пропилена	%	не менее 99,5	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	1 раз в сутки и по требованию*	ГОСТ 24975.1-89, п.6.5 или МКХА 076-2009	Аппаратчик полимеризации
	2 Объемная доля углеводородов C ₄	%	не более 0,002	То же	1 раз в сутки и по требованию*	ГОСТ 24975.1-89, п.5.3 или МКХА 076-2009	То же
	3 Объемная доля диеновых углеводородов (пропадиена и бутадиена)	%	не более 0.001	То же	1 раз в сутки и по требованию*	ГОСТ 24975.1-89, п.5.4 или МКХА 076-2009	То же
	4 Объемная доля окиси углерода	%	не более 0,0005	То же	1 раз в сутки и по требованию*	п.5.7 ГОСТ 24975.1-89	То же
	5 Объемная доля двуокиси углерода	%	не более 0,001	То же	1 раз в сутки и по требованию*	п.5.7 ГОСТ 24975.1-89	То же
	6 Объемная доля этана и пропана	%	не более 0,5	То же	1 раз в сутки и по требованию*	п.5.1 ГОСТ 24975.1-89 или МКХА 076-2009	То же

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Пропилен на входе на установку после фильтра	7 Объемная доля этилена	%	не более 0,005	То же	1 раз в сутки и по требованию*	ГОСТ 24975.1-89 п.5.1 или МКХА 076-2009	То же
	8 Объемная доля ацетилена и метилацетилена	%	не более 0,0005	То же	1 раз в сутки и по требованию*	ГОСТ 24975.1-89 п.5.2 или МКХА 076-2009	То же
	9 Массовая концентрация серы	мг/м ³	не более 1	то же	по требованию	п.3 ГОСТ 2475.2-89	Аппаратчик полимеризации
	10 Массовая доля воды	%	не более 0,0005	то же	то же	п.2 ГОСТ 24975.5-91	Аппаратчик полимеризации
	11 Содержание свободной воды	%	отсутствие	то же	по требованию	п.3.2 ГОСТ 25043-87. изм.1	Аппаратчик полимеризации
Этилен на входе на установку после фильтра (при выпуске статсополимера)	1 Объемная доля этилена	%	не менее 99,9	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	1 раз в сутки	п.6.5 ГОСТ 24975.1-89 или МКХА 076-2009	Аппаратчик полимеризации
	2 Объемная доля этана и метана	%	не более 0,1	То же	1 раз в сутки	п.4.1 ГОСТ 24975.1-89 или МКХА 076-2009	То же
	3 Объемная доля ацетилена	%	не более 0,001	То же	1 раз в сутки	п.4.2 ГОСТ 24975.1-89 или МКХА 076-2009	То же
	4 Объемная доля диеновых углеводородов (пропадиена и бутадиена)	%	не более 0,0005	То же	1 раз в сутки	п.4.3 ГОСТ 24975.1-89 или МКХА 076-2009	То же

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Этилен на входе на установку после фильтра (при выпуске статсополимера)	5 Объемная доля окиси углерода	%	не более 0,0005	То же	1 раз в сутки	п.4.5 ГОСТ 24975.1-89	То же
	6 Объемная доля двуокиси углерода	%	не более 0,001	То же	1 раз в сутки	п.4.5 ГОСТ 24975.1-89	То же
Суспензия гомополимера из реактора	1 Показатель текучести расплава	г за 10 мин	По факту	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	через каждые 4 часа	ГОСТ 11645-73, изм.1,2,3; МКХА 30-14-01-76, изм.1	Аппаратчик полимеризации
	2 Модуль ванны	г/дм ³	не более 650	То же	1 раз в смену	РИ 04-2005	То же
	3 Массовая концентрация растворимой фракции полипропилена в нефрасе	г/дм ³	по факту	То же	1 раз в смену	МВИ № 105-2010	То же
	4 Массовая концентрация триэтилалюминия	г/дм ³	0,5-1,0	то же	по требованию, для R1A, R1A, R51, R52 не реже 1 раза в месяц	МИ № 128-2011	то же
	5 Массовая доля растворимых веществ в п-ксилоле	%	не более 3,0	То же	по требованию *	МВИ № 085-2010	то же

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Суспензия статсополимера из реакторов	1 Показатель текучести расплава	г за 10 мин	по факту	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	через каждые 4 часа	ГОСТ 11645-73, изм. 1,2,3, МКХА 30-14-01-76, изм. 1	Аппаратчик полимеризации
	2 Модуль ванны	г/дм ³	не более 500	То же	1 раз в смену	РИ 04-2005	То же
	3 Массовая доля этиленовых звеньев	%	по факту	То же	по требованию	МИ № 025-2011	То же
	4 Температура плавления статсополимера	°С	138-154	То же	Через каждые 4 часа до выхода на режим, далее -по требованию*	МИ № 144-2011	То же
	5 Массовая концентрация растворимой фракции полипропилена в нефрасе	г/дм ³	по факту	То же	1 раз в смену	МВИ № 105-2010	То же
	6 Массовая концентрация триэтилалюминия	г/дм ³	0,5-1,0	то же	по требованию	МИ № 128-2011	то же
	7 Массовая доля растворимых веществ в п-ксилоле	%	не более 12,0	То же	по требованию *	МВИ № 085-2010	то же

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Газовая фаза из верхней части реакторов	1 Объемная доля кислорода	%	не более 0,2	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	По требованию после вскрытия реакторов	МКХА № 103-2010	Аппаратчик полимеризации
	2 Объемная доля водорода	%	0,02- 6,0	То же	1 раз в смену и по требованию*	МКХА № 056-2008, изм.1	То же
	3 Объемная доля инертнов (азота, метана)	%	Не более 10	То же	То же	МИ № 133-2011	То же
	4 Объемная доля этилена (при выпуске статсополимера)	%	0,5 - 3,0	то же	1 раз в смену и по требованию*	МИ № 146-2011	То же
Суспензия из разлагателя	Модуль ванны	г/дм ³	не более 370	То же	по требованию	РИ 04-2005	Аппаратчик полимеризации
Полимер после центрифуги	1 Массовая доля летучих	%	не более 40	То же	1 раз в смену	МКХА 040-2008	Аппаратчик полимеризации
	2 Гранулометрия порошка	%	по факту	то же	1 раз в неделю	МКХА 30-14-01-05, изм.1	Аппаратчик полимеризации

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Порошок гомополимера из поданализных бункеров	1 Показатель текучести расплава	г за 10 мин	согласно задания	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	каждый бункер при накоплении	МКХА 30-14-01-76, изм.1, ГОСТ 11645-73, изм.1,2,3	Аппаратчик полимеризации
	2 Массовая доля летучих	%	не более 0,2	То же	1 раз в смену	МКХА 040-2008	То же
	3 Массовая доля золы	%	не более 0,015	То же	1 раз в смену	МКХА 020-2007	То же
	4 Массовая доля растворимых веществ в п ксилоле	%	не более 3,0	То же	2 раза в неделю и по требованию*	МВИ 085-2010	То же
	5 Насыпная плотность	г/дм ³	не менее 450	То же	1 раз в смену	ГОСТ 11035.1-93	То же
	6 Гранулометрия порошка	%	по факту	То же	по требованию	МКХА 30-14-01-05, изм.1	То же
	7 Массовая доля хлора	%	не более 0,005	то же	по требованию	МКХА 30-14-01-17	То же
	8 Массовая доля железа	%	не более 0,001	то же	по требованию	МКХА 30-14-01-66	То же
	9 Массовая доля титана	%	не более 0,004	то же	по требованию	МКХА 30-14-01-18	То же
	10 Массовая доля алюминия	%	не более 0,012	то же	по требованию	МКХА 30-14-01-65	То же

Наименование сырья, материалов, продукта и место его отбора	Контролируемый параметр	Единица измерения	Норма контролируемого параметра	Документ, определяющий норму контролируемых параметров	Частота контроля	Методы контроля	Кто отбирает пробу
Порошок статсополимера из поданализных бункеров	1 Показатель текучести расплава	г за 10 мин	согласно задания	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	каждый бункер при накоплении	МКХА 30-14-01-76, изм. 1 ГОСТ 11645-73, изм. 1,2,3	То же
	2 Массовая доля летучих	%	не более 0,2	То же	1 раз в смену	МКХА № 040-2008	То же
	3 Массовая доля золы	%	не более 0,015	То же	1 раз в смену	МКХА № 020-2007	То же
	4 Насыпная плотность	г/дм ³	не менее 450	То же	1 раз в смену	ГОСТ 11035.1-93	То же
	5 Температура плавления статсополимера	°С	138-154	То же	по требованию	МИ № 144-2011	То же
	6 Массовая доля этиленовых звеньев	%	по факту	То же	по требованию	МИ № 025- 2011	То же
	7 Массовая доля растворимых веществ в п-ксилоле	%	не более 12,0	То же	1 раз в сутки и по требованию*	МВИ 085-2010	То же
	8 Гранулометрия порошка	%	по факту	То же	по требованию	МКХА 30-14-01-05, изм.1	То же
Азот из линии пневмотранспорта (всас газодувок)	1 Объемная доля кислорода	%	не более 2	Постоянный тех. регламент № 101-1-2012	по требованию	ГОСТ 9293-74, изм. 1,2,3	Аппаратчик полимеризации

Заключение.

В ходе проделанной работы произвели расчеты основного аппарата узла полимеризации стат-сополимера этилена с пропиленом.

Был выбран емкостной реактор с рубашкой, в котором для поддержания устойчивости суспензии выбрана двухъярусная лопастная мешалка. Для обеспечения заданной производительности был использован непрерывный способ проведения процесса. Так же в работе рассмотрены такие разделы как: «Финансовый менеджмент» и «Социальная ответственность».

Статистический сополимер пропилена с этиленом имеет важную роль в мировом производстве полимеров. В промышленности стат-сополимеры применяются для следующих целей:

- Изготовление емкостей и труб для перемещения рабочих сред в пищевой промышленности. Из стат-сополимера изготавливаются трубы для перемещения жиров, молока и прочих жидких пищевых продуктов. Также изготавливаются изделия, пригодные для контакта с пищевыми продуктами в бытовых условиях.
- Производство надежных труб для прокладки трубопроводов и систем отопления.
- Изготовление прозрачного упаковочного материала, пленки для ламинирования.
- Изготовление выдувных изделий различного типа, в том числе детских игрушек и товаров массового потребления.

Стат-сополимеры являются весьма востребованными и распространенными на российском рынке.