

УДК 66.02

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭМАЛИ****Данилкин Андрей Павлович,**

студент направления подготовки «Химическая технология», Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, (Россия, г. Муром), gatts25@mail.ru

**Ермолаева Вера Анатольевна,**

кандидат химических наук, доцент, Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, (Россия, г. Муром), ermolaevava2013@mail.ru

**Аннотация**

В данной статье приведено описание процесса и технологические расчеты производства эмали. Дана характеристика исходных веществ и материалов для получения эмали. Произведен практический расчет материального баланса поступления сырья с учетом потерь и расчет теплового баланса пигмента (диоксида титана).

**Ключевые слова:** эмаль, диоксид титана, годовой расход, дневной расход.

**TECHNOLOGICAL CALCULATIONS OF ENAMEL PRODUCTION****Danilkin Andrey Pavlovich,**

student of the specialty "Chemical Technology", Murom Institute (branch) Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, (Russia, Murom), gatts25@mail.ru

**Vera A. Ermolaeva,**

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Murom Institute (branch) Vladimir State University named after A. G. and N. G. Stoletov, (Murom, Russia), ermolaevava2013@mail.ru

**ABSTRACT**

This article describes the process and technological calculations of enamel production. The characteristics of the initial substances and materials for obtaining enamel are given. A practical calculation of the material balance of the input of raw materials, taking into account losses, and calculation of the thermal balance of pigment (titanium dioxide) has been performed.

**Keywords:** enamel, titanium dioxide, annual consumption, daily consumption.

Введение. Эмалевые краски состоят из высокодисперсных пигментов, пленкообразующих основ (лаков) и добавок (растворители, пластификаторы, отвердители). Эмалевые краски ценятся за прочность, долговечность, эстетичность покрытия и устойчивость к внешним воздействиям. Эмаль ПФ-115 популярна благодаря универсальности и надежности.

Цель и задачи работы. Описать технологический метод производства эмали с использованием алкидного лака для получения эмали, включая этапы: подготовка сырья, полимеризация и фасовка. Охарактеризовать эмаль ПФ-115 по химическому составу и техническим свойствам, а также исходное сырьё по характеристикам. Произвести технологические расчеты поступления материалов на стадии с учетом потерь [1].

Характеристика исходного сырья и целевого продукта.

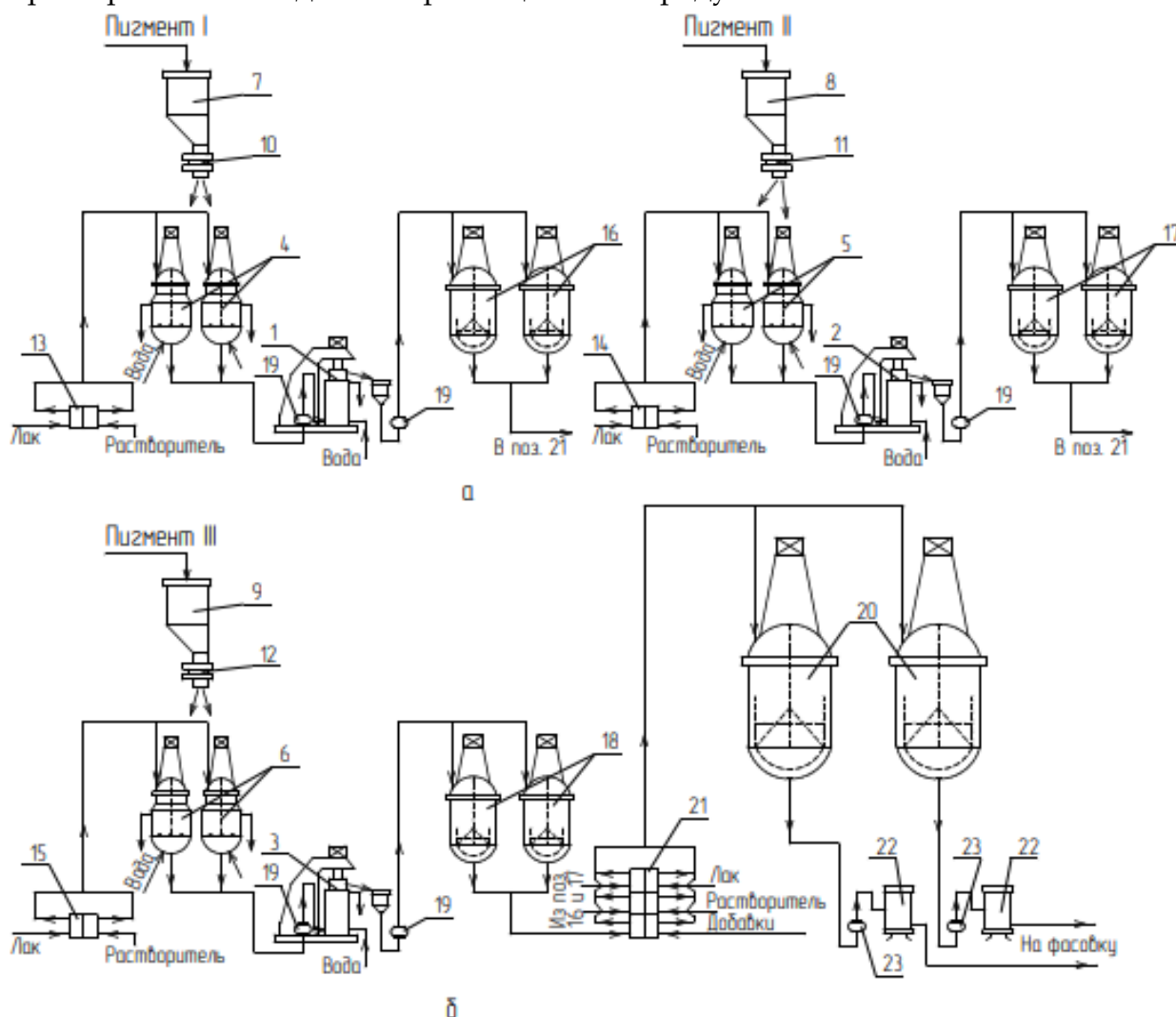


Рис.1. Технологическая схема непрерывного производства цветных эмалей способом однопигментных паст [2]:

1-3 - бисерные диспергаторы; 4-6 - дисольверы; 7-9 - бункера; 10-12 - шнековые дозаторы; 13-15, 21 - дозировочные агрегаты; 16-18 накопители; 20 - смеситель; 19, 23 - насос; 22 - фильтр

Исходным сырьем для производства являются следующие вещества:

1. Лак ПФ-060 - пленкообразующая основа - алкидная смола (пентафталевая), растворённая в органических растворителях, с умеренной вязкостью, обеспечивает хорошее нанесение, образует твёрдую плёнку при комнатной температуре или при нагреве, хорошо

сцепляется с металлическими и другими поверхностями, устойчив к воде, маслам, умеренно устойчив к агрессивным средам.

В эмали выполняет функцию связующего вещества (объединяет все компоненты, формирует прочное покрытие), придаёт блеск и эластичность, предотвращает растрескивание, обеспечивает устойчивость к внешним воздействиям (влаге, УФ-излучению, механическим нагрузкам).

2. Диоксид титана ( $TiO_2$ ) – белый пигмент с высокой кроющей и отражательной способностью, устойчив к кислотам, щелочам, не разлагается при нагреве, УФ-стабилен – защищает покрытие от выцветания [3].

В эмали обеспечивает укрывистость и белизну (маскирует подложку, придаёт яркость), повышает атмосферостойкость, увеличивает прочность покрытия.

3. Кальцит ( $CaCO_3$ ) – белый порошок, дешёвый и доступный, с низкой абразивностью, химически стабилен – нейтрален в большинстве сред, повышает твёрдость. Уменьшает стоимость эмали (частично заменяет дорогие пигменты), регулирует вязкость и плотность – улучшает технологичность нанесения, увеличивает износостойкость, но в больших количествах может снижать прочность и эластичность.

4. Сиккатив - катализатор высыхания (ускоряет окисление и полимеризацию алкидных смол), содержит соли металлов (кобальт, марганец, свинец, цирконий), хорошо смешивается с органическими связующими, добавляется в небольших количествах (0,5–3% от массы эмали). В эмали ускоряет отверждение, улучшает твёрдость покрытия, глянец и устойчивость [4].

5. Уайт-спирит - органический растворитель (смесь углеводородов ( $C_{10}-C_{16}$ ), подходит для алкидных смол, масел, каучуков. В эмали регулирует вязкость (облегчает нанесение кистью, валиком или распылением), обеспечивает равномерное распределение компонентов – предотвращает расслоение, участвует в плёнообразовании – испаряется после нанесения, оставляя твердое покрытие.

Эти компоненты критически важны для технологичности и эксплуатационных характеристик эмали. Их сочетание позволяет получить качественную эмаль с хорошими защитными и декоративными свойствами.

Технологические расчеты. Рассчитано количество сырья, необходимого для производства 2000 кг эмали с учетом годовой производительности цеха 9100 т. Рецепт эмали указана в таблице 1.

Таблица 1. Рецепт эмали ПФ-115

Наименования компонентов	Состав пасты %	Состав эмали %		
		Компоненты	Пасты и компоненты, добавляемые при постановке на тип	
Лак ПФ-060	52.0	58.2	23.2	
Диоксид титана	22.0	14.0	Пасты	35.0
Кальцит	26.0	21.0		14.0
Сиккатив		4.0	40	70.0

Уайт-спирит		2.8	2.8
Итого	100.0	100.0	100.0

Стадии процесса

№1 – изготовление замеса пигментной пасты;

№2 – диспергирование пигментов;

№3 – составление эмали;

№4 – фильтрация и фасовка эмали.

Материальные потоки: 1 и 4 – лак ПФ-060, 2 – диоксид титана, 3 – кальцит, 5 – уайт-спирит, 6 – сиккатив, 7 и 8 – пигментная паста, 9 – эмаль ПФ-115.

Потери по стадиям принимаем равными: на первой стадии П1, третьей П3 четвертой П4 – 1%; на второй П2 – 0.7%.

Расчёт ведем по алгоритму [5], начиная с конечной стадии №4 (фильтрация и фасовка) с учетом потерь (1.0 %).

На стадию поступает эмали  $X_4$ , кг:

2000	(100 -
1)%	)
$X_4$	100%

$$X_4 = \frac{2000 \cdot 100\%}{99\%} = 2020,3$$

Потери составляют: П4 = 2020,3 – 2000 = 20,3 кг.

На стадию №3 (составление эмали) с учетом потерь (1.0 %) должно поступить материалов (пигментной пасты со стадии №2 и оставшихся компонентов эмали)  $X_3$ , кг:

2020,2	(100 -
1)%	)
$X_3$	100%

$$X_3 = \frac{2020,2 \cdot 100\%}{99\%} = 2040,6$$

Потери эмали П3 составляют: П3 = 2040.6 – 2020.2 = 20.4 кг.

Расчет количества загружаемых на данной стадии компонентов, а именно оставшегося лака, сиккатива и уайт-спирита может быть произведен различными способами.

Один из способов расчета по компоненту, входящему в состав пасты (не добавляемому на данной стадии), например, диоксиду титана. Количество диоксида титана, содержащееся в 2040.60 кг эмали в соответствии с рецептурой эмали, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 14\%}{100\%} = 285,684$$

Диоксид титана поступает на стадию составления эмали в составе пасты. Следовательно, зная массу диоксида титана (285,684 кг) и его процентное содержание в пасте (22.0 %), можно определить общее количество пасты, кг:

$$\frac{285,684 \cdot 100\%}{22\%} = 1298,56$$

В пасте содержится 52 % лака ПФ-060, что составляет, кг:

$$\frac{1298,58 \cdot 52\%}{100\%} = 675,25$$

Общее количество лака в 2040.6 кг эмали, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 58,2\%}{100\%} = 1187,62$$

Следовательно, на стадии составления эмали должно быть подано лака ПФ-060, кг:

$$1187,62 - 675,25 = 512,17$$

Уайт-спирит подается на стадию составления эмали в количестве, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 2,8\%}{100\%} = 57,13$$

Сиккатив, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 4,0\%}{100\%} = 81,62$$

Второй способ расчета по компонентам, добавляемым на данной стадии. Алкидный лак входит и в состав пасты и добавляется на стадии постановки эмали на тип. Содержание его с 50 % в пасте увеличивается до 58.2 % в эмали. В поступивших на эту стадию материалах доля пасты составляет 70.0 %, следовательно, пасты должно быть подано, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 70\%}{100\%} = 1428,42$$

Количество добавляемого на данной стадии лака составляет 23.2 %, следовательно, лака должно быть подано, кг:

$$\frac{2040,6 \cdot 23,2\%}{100\%} = 473,41$$

Расчет количества уайт-спирита и сиккатива совпадает со значениями, полученными по способу А.

На стадию №2 (диспергирование пигментов) с учетом потерь (0.7 %) должно поступить пигментной пасты со стадии №1  $X_2$ , кг:

1428,42	(100 - 0,7)%
$X_2$	100%

$$X_2 = \frac{1428,42 \cdot 100\%}{99,3\%} = 1438,48$$

Потери пасты П2 составляют:  $P_2 = 1438,48 - 1428,42 = 10,08$  кг. На стадию №1 (изготовление замеса пигментной пасты) с учетом потерь (1.0 %) должно поступить материалов  $X_1$ , кг:

1438,48	(100 - 0,7)%
$X_2$	100%

$$X_2 = \frac{1438,48 \cdot 100\%}{99,3\%} = 1453,01$$

Потери пасты П1 составляют:  $P_1 = 1453,01 - 1438,48 = 14,53$  кг. Согласно рецептуре пигментной пасты (табл. 2) на стадию №1 изготовления эмали подаются исходные компоненты в количестве, кг:

- лак ПФ-060  $\frac{1453,01 \cdot 52\%}{100\%} = 755,56$

- диоксид титана  $\frac{1453,01 \cdot 22\%}{100\%} = 319,66$

- кальцит  $\frac{1453,01 \cdot 26\%}{100\%} = 377,78$

Таблица 3. Материальный баланс на 2000 кг эмали ПФ-115

Приход, кг		Расход, кг	
Лак ПФ-060 в пасту	755,56	Эмаль	2000.0
Диоксид титана	319.66	Потери: из них по стадиям	65.63
Кальцит	377,78		

Лак ПФ-060 при постановке на тип	473,41	пасты	1	14.53
			2	10.6
Уайт-спирит	57,13	эмали	3	20.3
Сиккатив	81,62		4	20.2
Итого:	2065,16	Итого:	2065,63	

Расчёт сырья, необходимого для выполнения суточной и годовой программ [5].

Суточная производительность цеха –  $G_c$  (т) определяется по формуле:

$$G_c = \frac{N}{T_{рсж}},$$

где  $G_c$  – суточная производительность цеха, т

$N$  – годовая производительность цеха, т

$T_{рсж}$  – режимный фонд времени, сутки

Подставляя известные данные в формулу (1), получаем:

$$G_c = \frac{3100}{340} = 26,7 \text{ т}$$

Суточный расход сырья определяется исходя из данных, приведенных в табл. 3 материального баланса следующим образом:

На 2000кг эмали	Необходимо лака - ПФ 060 (755,56 + 473,41) Хт	+	$\frac{26,7\text{т} \cdot (755,56 + 473,41)\text{кг}}{2000 \text{ кг}} = 26,7 \cdot 0,61$ = 16,28 т
На 26,7 т эмали			

На 2000кг эмали	Необходимо диоксида титана 319,66 Хт	+	$\frac{26,7\text{т} \cdot 319,66}{2000 \text{ кг}} = 26,7 \cdot 0,15983 = 4,26 \text{ т}$
На 26,7 т эмали			

На 2000кг эмали	Необходимо кальцит 377,78 Хт	+	$\frac{26,7\text{т} \cdot 377,78}{2000 \text{ кг}} = 26,7 \cdot 0,1889 = 5,04 \text{ т}$
На 26,7 т эмали			

На 2000кг эмали	Необходимо уайт- спирит 57,13 Хт	+	$\frac{26,7\text{т} \cdot 57,13}{2000 \text{ кг}} = 26,7 \cdot 0,0285 = 0,7626\text{т}$
На 26,7 т эмали			

На 2000кг эмали	Необходимо сиккатив	+	$\frac{26,7\text{т} \cdot 81,62}{2000 \text{ кг}} = 26,7 \cdot 0,0408 = 1,089\text{т}$

На 26,7 т эмали	81,62 Хт
--------------------	-------------

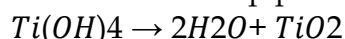
Расчёт годового расхода сырья, т:

Лак ПФ-060	$9100 \cdot 0,61 = 5551$
Диоксид титана	$9100 \cdot 0,15983 = 1454,453$
Кальцит	$9100 \cdot 0,1889 = 1718,99$
Уайт-спирит	$9100 \cdot 0,0285 = 259,35$
Сиккатив	$9100 \cdot 0,0408 = 371,28$

Таблица 4. Расход сырья в сутки и за год

Сырьё	Расход в сутки, т	Расход в год, т
Лак ПФ-060 всего	16,28	5551
Диоксид титана	4,26	1454,453
Кальцит	5,04	1718,99
Уайт - спирт	0,76	259,35
Сиккатив	1,08	371,28

Рассчитан тепловой баланс получения пигмента – диоксида титана. Для этого вычислим тепловой эффект реакции:



Используем стандартные энтальпии образования:

$$\Delta H^\circ Ti(OH)_4 = -598,8 \text{ кДж/ моль}$$

$$\Delta H^\circ H_2O = -285,8 \text{ кДж/ моль}$$

$$\Delta H^\circ TiO_2 = -944,75 \text{ кДж/ моль}$$

Рассчитаем тепловой эффект реакции:

$$\Delta H^\circ_r = (\Delta H^\circ TiO_2 + 2 \cdot \Delta H^\circ H_2O) - \Delta H^\circ Ti(OH)_4$$

$$\Delta H^\circ_r = (-944,75 \text{ кДж/ моль} + 2 \cdot (-285,8 \text{ кДж/ моль})) - (-598,8 \text{ кДж/ моль}) = -917,55 \text{ кДж}$$

Реакция экзотермическая

Из таблицы 4 известен расход диоксида титана 4,26 т, т.е. 53,34 кмоль.

Следовательно, расход теплоты в сутки для приготовления этого количества пигмента составляет

$$53,34 \cdot 917,55 = 48942,12 \text{ кДж}$$

Таким образом, в работе произведен практический расчет материального баланса поступления сырья с учетом потерь и расчет теплового баланса пигмента (диоксида титана).

**Список литературы:**

1. Брянкин К. В., Леонтьева А. И., Орехов В. С. Общая химическая технология. Часть 2: учебное пособие / Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. – 172 с.
2. Технология и оборудование для изготовления красок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kraska.biz/tehnologiya-lakov-i-krasok/proizvodstvo-emalej/>
3. Швалёв Ю. Б., Горлушко Д. А. Общая химическая технология. Ч.1. Химические процессы и реакторы: учебное пособие / Томск: Томский политехнический университет, 2019. – 187 с.
4. Журавлева У. А., Ермолаева В.А. Расчет и проектирование производства хлорида лития, Наукосфера, № 3 (1), 2023.
5. Вахин А.В., Зиганшина М.Р. Метод. указ. к практическим занятиям и курсовому проектированию по дисциплине «Технология лаков и красок» / Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2014. – 38 с.

**References:**

1. Bryankin K. V., Leontieva A. I., Orekhov V. S. General chemical technology. Part 2: Textbook / Tambov: Tambov State Technical University, EBS DIA, 2012. – 172 p.
2. Technology and equipment for the manufacture of paints [Electronic resource]. Access mode: <https://kraska.biz/tehnologiya-lakov-i-krasok/proizvodstvo-emalej>
3. Shvalev Yu. B., Gorlushko D. A. General chemical technology. Part 1. Chemical processes and reactors: a textbook / Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2019. – 187 p.
4. Zhuravleva U. A., Ermolaeva V.A. Calculation and design of lithium chloride production, Naukosphere, No. 3 (1), 2023.
5. Vakhin A.V., Ziganshina M.R. Method. the decree. for practical classes and course design in the discipline "Technology of lacquers and paints" / Kazan: Kazan Publishing House. University, 2014. 38 p.