

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИКЛИЧНО-ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА ПРОМЫВКИ ПАСТ НА ФИЛЬТРОВАЛЬНОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПИГМЕНТОВ

А.И. Леонтьева, М.А. Колмакова, В.С. Орехов

*Кафедра «Химические технологии органических веществ», ГОУ ВПО «ТГТУ»;
htov@mail.tambov.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: азопигменты; водорастворимые соли; отмывка; фильтр-пресс; циклично-импульсный режим отмывки.

Аннотация: Для обеспечения высокого качества паст пигментов предложен циклично-импульсный режим отмывки паст на фильтровальном оборудовании. Представлены физическая модель процесса и его математическое описание, позволяющее определить необходимое количество циклов промывки для достижения заданной степени чистоты продукта.

Азопигменты, применяемые в полиграфической промышленности, должны иметь высокую концентрацию целевого продукта и низкое содержание примесей. Примеси, которые формируются на стадии выделения как побочные продукты, подразделяются на примеси, растворимые в жидкой фазе суспензии (водорастворимые примеси – органические и неорганические), и примеси, нерастворимые в жидкой фазе суспензии (твердые примеси – органические и неорганические).

Содержание солей (CaCl_2 , NaCl , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, BaSO_4 , CH_3COONa , Na_2SO_4) в твердой и жидкой фазах зависит от технологических параметров процесса, структуры растворителя, наличия органических примесей.

Из всего многообразия методов удаления водорастворимых примесей из осадков можно выделить промывку на фильтровальном оборудовании [1].

Промывка на фильтрах является наиболее распространенным способом удаления водорастворимых примесей, позволяющим извлекать 80–85 % от их массы. Более высокая степень очистки не достигается ввиду наличия большого количества тупиковых пор и образования промоин, через которые уходит основная часть промывной жидкости [2]. Для снижения концентрации водорастворимых примесей в осадке (пасте) требуется либо изменение способа промывки, либо значительное (в 2–3 раза) увеличение количества промывной жидкости. Для увеличения эффективности отмывки паст предложен циклично-импульсный режим подачи технологических потоков (промывная жидкость, воздух), который позволяет снизить количество водорастворимых солей в пасте пигмента при сокращении расхода промывной жидкости.

Процесс отмывки паст можно вести при различных сочетаниях составляющих цикла и при различных их длительностях: промывка – продувка; цикличная подача промывной жидкости и воздуха; цикличная подача промывной жидкости и воздуха с отключением технологических потоков.

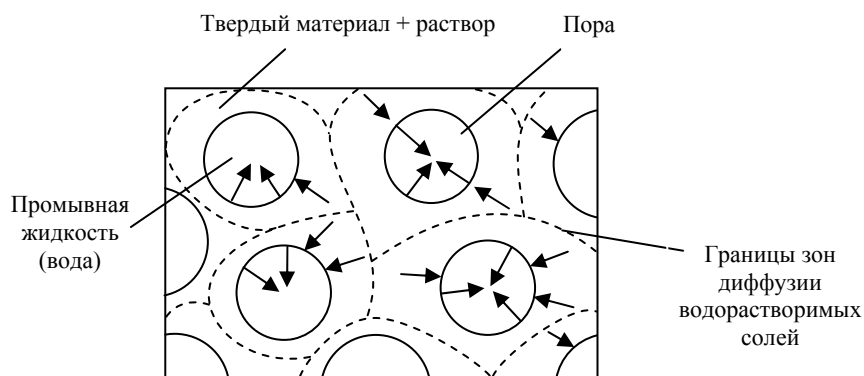


Рис. 1. Сечение пасты в направлении, перпендикулярном движению промывной жидкости, воздуха

С целью определения количества циклов, необходимых для обеспечения высокой концентрации целевого продукта, была разработана математическая модель процесса циклично-импульсной отмывки паст на фильтровальном оборудовании, в основу которой легла следующая физическая модель.

Паста представляет собой структуру, состоящую из твердого материала, раствора и промывной жидкости (рис. 1). При промывке поры заполнены промывной жидкостью и из окружающего материала осуществляется диффузия водорастворимых солей. Объем материала разбивается на зоны диффузии: каждой зоне соответствует пора и определенный участок твердого материала, из которого водорастворимые соли переносятся к поверхности поры.

Границы зон диффузии водорастворимых солей из материала в поток промывной жидкости представляют собой произвольно замкнутые кривые, и решение уравнения диффузии при таких границах представляет определенные трудности, поэтому предположим, что граница раздела условных участков твердый материал + раствор представляют собой окружность с радиусом R_M (рис. 2).

Решаем уравнение диффузии для водорастворимых солей, принимая среднестатистический радиус поры R_{Π} и радиус идеализированной зоны диффузии водорастворимых солей в твердом материале R_M .

Радиус R_M находим, зная радиус поры R_{Π} и относительное объемное распределение пор в пасте:

$$R_M = R_{\Pi} / \sqrt{\omega}, \quad (1)$$

где ω – относительная объемная доля пор в пасте.

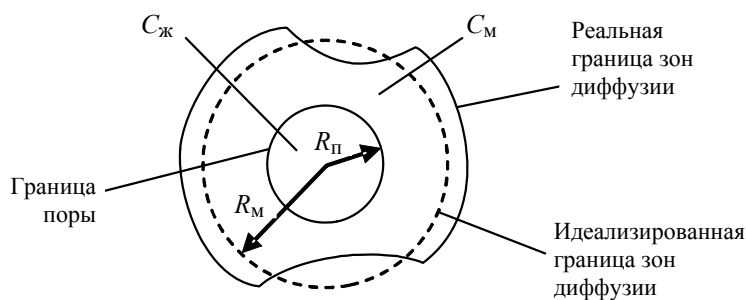


Рис. 2. Границы зоны диффузии водорастворимых солей отдельно взятой поры

Математическое описание процесса удаления водорастворимых солей составлено при следующих допущениях:

- 1) диффузия водорастворимых солей осуществляется через границы окружности радиусом R_{Π} ;
- 2) поры в пасте одинаковы по размеру;
- 3) поры в пасте распределены равномерно;
- 4) границы зон диффузии водорастворимых солей из твердого материала представляют собой окружность;
- 5) диффузией водорастворимых солей в потоке промывной жидкости по сечению поры пренебрегаем.

Количество водорастворимых солей, перешедших из твердого материала в поток промывной жидкости поры запишем в виде

$$j = K(C_M - EC_{\text{ж}}) = \partial^2 v / (\partial F \partial \tau) = \partial^2 v / (2\pi R_{\Pi} \partial \ell \partial \tau), \quad (2)$$

где K – коэффициент массопередачи, м/с; C_M – концентрация солей в твердом материале, моль/м³; $C_{\text{ж}}$ – концентрация солей в промывной жидкости, моль/м³; F – площадь массообмена, м²; τ – время, с; ℓ – длина поры, м; v – количество водорастворимой соли, моль; E – коэффициент пропорциональности.

Изменение количества водорастворимой соли при скорости подачи промывной жидкости, равной нулю,

$$\partial v = C \partial \ell = C_M \pi (R_M^2 - R_{\Pi}^2) \partial \ell. \quad (3)$$

Изменение количества водорастворимой соли с учетом движущегося потока промывной жидкости

$$\partial v = C \frac{\partial V}{\partial \tau} d\tau = C_{\text{ж}} \frac{\partial (\pi R_{\Pi}^2 \ell)}{\partial \tau} d\tau = C_{\text{ж}} \pi R_{\Pi}^2 \frac{\partial \ell}{\partial \tau} d\tau, \quad (4)$$

где V – объем жидкости в пасте.

Из уравнений (2) – (4) получаем систему дифференциальных уравнений первого порядка для определения граничных условий на границе раздела фаз:

$$\begin{cases} \partial C_{\text{ж}}(\ell, \tau) / \partial \ell = 2K [C_M(\ell, \tau) - EC_{\text{ж}}(\ell, \tau)] / (R_{\Pi} w); \\ \partial C_M(\ell, \tau) / \partial \tau = -2R_{\Pi} K [C_M(\ell, \tau) - EC_{\text{ж}}(\ell, \tau)] / (R_M^2 - R_{\Pi}^2), \end{cases} \quad (5)$$

где $w = \partial \ell / \partial \tau$ – скорость движения промывной жидкости, м/с.

Начальные условия:

– концентрация водорастворимых солей в твердом материале в любой наперед заданный момент времени

$$C_M(\ell, 0) = C_M; \quad (6)$$

– концентрация в промывной жидкости при $\tau = 0$

$$C_{\text{ж}}(\ell, 0) = C_M \left(1 - e^{-2KE\ell/R_{\Pi}} \right) / E. \quad (7)$$

Рассматриваем концентрацию водорастворимой соли в промывной жидкости, входящей в пору при $\ell = 0$

$$C_{\text{ж}}(0, \tau) = 0. \quad (8)$$

Концентрация водорастворимой соли в твердом материале при $\ell = 0$

$$C_M(0, \tau) = C_M e^{-2R_{\Pi} K \tau / (R_M^2 - R_{\Pi}^2)}. \quad (9)$$

Решим систему уравнений (5) методом последовательных приближений, для чего приведем систему к независимым уравнениям второго порядка:

$$A_{\text{ж}} \partial^2 C_{\text{ж}} / (\partial \ell \partial \tau) + B_{\text{ж}} \partial C_{\text{ж}} / \partial \ell + E \partial C_{\text{ж}} / \partial \tau = 0; \quad (10)$$

$$A_{\text{м}} \partial^2 C_{\text{м}} / (\partial \ell \partial \tau) + B_{\text{м}} \partial C_{\text{м}} / \partial \ell + E \partial C_{\text{м}} / \partial \tau = 0; \quad (11)$$

$$A_{\text{м}} = (R_{\text{м}}^2 - R_{\text{п}}^2) / (2R_{\text{п}} EK);$$

$$A_{\text{ж}} = R_{\text{п}} w / (2K);$$

$$B_{\text{м}} = (R_{\text{м}}^2 - R_{\text{п}}^2) / (R_{\text{п}}^2 w);$$

$$B_{\text{ж}} = R_{\text{п}}^2 w / (R_{\text{м}}^2 - R_{\text{п}}^2).$$

Уравнения (10), (11) являются уравнениями гиперболического типа с заданными условиями на границе по времени и по координате, которые решаются методом последовательных приближений.

В связи с тем, что диффузией водорастворимых солей по сечению потока промывной жидкости пренебрегаем, принимаем концентрацию водорастворимых солей в центре потока промывной жидкости равной концентрации водорастворимых солей на границе поры.

Концентрацию водорастворимых солей в пасте находим, решая уравнение

$$\partial C_{\text{м}} / \partial \tau = D_{\text{м}} \left(\partial^2 C_{\text{м}} / \partial r^2 + (1/r) (\partial C_{\text{м}} / \partial r) \right), \quad (12)$$

где $D_{\text{м}}$ – коэффициент диффузии водорастворимых солей из твердого материала в поток промывной жидкости, м²/с.

Граничные условия:

$$\partial C_{\text{м}}(R_{\text{п}}, \tau) / \partial r = 0; \quad (13)$$

$$(\partial C_{\text{м}}(R_{\text{п}}, \tau) / \partial r) - (K C_{\text{м}}(R_{\text{п}}, \tau) / D_{\text{м}}) = -KE C_{\text{ж}}(R_{\text{п}}, \tau) / D_{\text{м}}, \quad (14)$$

где $C_{\text{ж}}(R_{\text{п}}, \tau)$ – концентрация водорастворимых солей в промывной жидкости на границе радиуса $R_{\text{п}}$, определяется из уравнения (10).

Для первого цикла промывки пасты

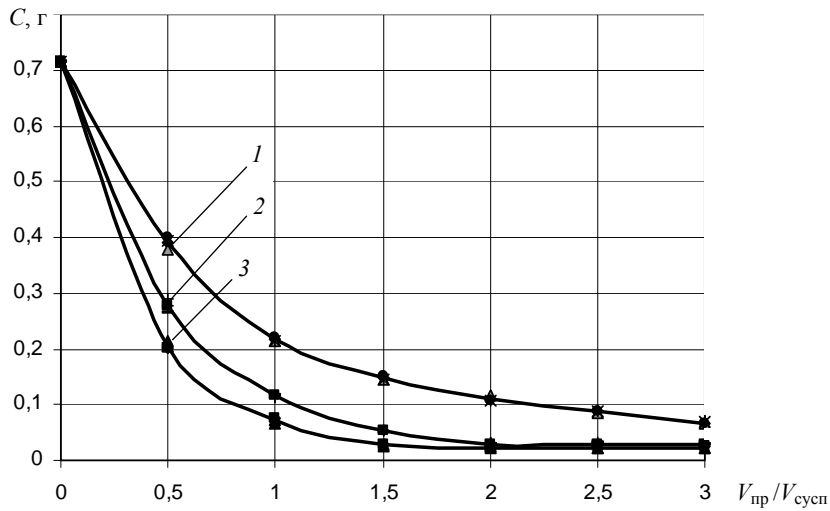
$$C_{\text{м}}(r, 0) = C_{\text{м}}. \quad (15)$$

Для последующих циклов начальная концентрация водорастворимых солей $C_{\text{м}}$ в материале задается как конечная для предыдущего цикла отмывки.

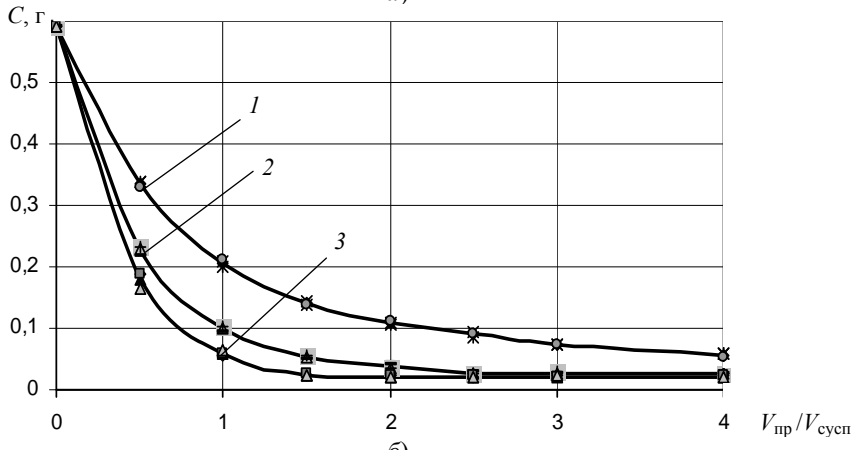
Концентрация водорастворимых солей в пасте и промывной жидкости измеряли кондуктометрическим методом, с использованием прибора иономер Startorius PP-50.

На ОАО «Пигмент» при производстве азопигментов используют непрерывный режим отмывки пасты на фильтр-прессах, который для достижения требуемой концентрации водорастворимой соли в пасте требует значительного расхода промывной воды.

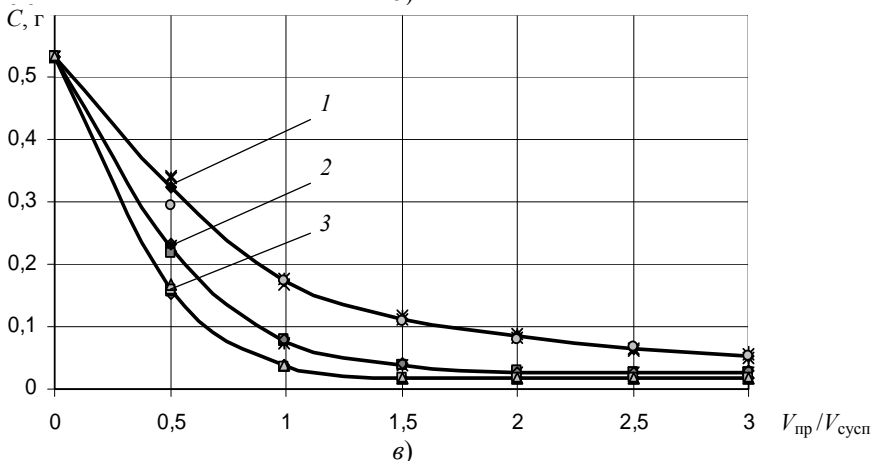
Как показали теоретические расчеты и результаты экспериментальных исследований, предполагаемые режимы циклической отмывки позволяют значительно сократить расход промывной воды при сохранении высокого качества продукта (пасты).



a)



б)



в)

Рис. 3. Концентрация C водорастворимых солей в зависимости от количества циклов промывки в пастах различных пигментов:
a – красный FGR; *б* – оранжевый Ж; *в* – желтый 23.
 Режимы отмывки: 1 – непрерывный; 2 – циклично-импульсный; 3 – циклично-импульсный с отключением технологических процессов.
 $V_{\text{пр}}$ – объем промывной воды; $V_{\text{сусп}}$ – объем суспензии пигмента

Режимы циклической отмывки были апробированы на камерных фильтр-прессах «ДИЕММЕ» с поверхностью фильтрования 200 м² при давлении 8 атм. на следующих марках пигментов: красный FGR, оранжевый Ж, желтый 23.

Результаты оценки эффективности отмывки паст представлены на рис. 3.

Анализ результатов экспериментальных исследований по оценке эффективности отмывки паст пигментов оранжевого Ж, красного FGR, желтого 23 показал, что применение метода циклично-импульсной промывки позволяет снизить водопотребление в 3–4 раза.

Список литературы

1. Малиновская, Т.А. Разделение суспензий в промышленности органического синтеза / Т.А. Малиновская. – М. : Химия, 1972. – 320 с.
2. Жужиков, В.А. Фильтрация / В.А. Жужиков. – М. : Химия, 1980. – 400 с.

Pigment Qualitative Characteristics Improvement via Cyclic Pulse Mode of Paste Washing in Filter Equipment

A.I. Leontyeva, M.A. Kolmakova, V.S. Orekhov

*Department "Chemical Engineering of organic Substances", TSTU;
htov@mail.tambov.ru*

Key words and phrases: asopigments; cyclic pulse mode of washing; filter press; washing; water-soluble salts.

Abstract: The paper presents the cyclic pulse mode of paste washing in filter equipment to produce high quality pigment pastes. Physical model of the process and its mathematical description enabling to determine the required number of washing cycles to produce the given level of product purity are presented.

References

1. Malinovskaya, T.A. Separation of suspensions in the industry of organic synthesis / T.A. Malinovskaya. – Moscow : Khimiya, 1972. – 320 p.
2. Zhuzhikov, V.A. Filtering / V.A. Zhuzhikov. – Moscow : Khimiya, 1980. – 400 p.

Anwendung des zyklischimpulsiven Regimes der Pastenausspülung auf der Filterausrüstung für die Erhöhung der Qualitätscharakteristiken von Pigmenten

Zusammenfassung: Für die Gewährleistung der hohen Qualität der Pigmentpasten ist das zyklischimpulsiven Regime des Pastenwässers auf der Filterausrüstung vorgeschlagen. Es sind das physische Modell des Prozesses und seine mathematische Beschreibung dargelegt. Sie erlauben die nötige Menge der Ausspülungszyklen für die Erhaltung des nötigen Saubergrades des Produktes zu bestimmen.

Emploi du régime cyclique et impulsif du lavage des pâtes sur un équipement pour l'augmentation des caractéristiques qualitatives des pigments

Résumé: Pour assurer une haute qualité des pâtes des pigments est proposé le régime cyclique et impulsif du lavage des pâtes sur un équipement de filtration. Sont présentés le modèle physique du processus et sa description mathématique permettant de définir la quantité nécessaire des cycles de lavage pour obtenir une pureté donnée du produit.

Авторы: *Леонтьева Альбина Ивановна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химические технологии органических веществ»; *Колмакова Марина Анатольевна* – учебный мастер кафедры «Химические технологии органических веществ»; *Орехов Владимир Святославович* – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химические технологии органических веществ», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент *Гатапова Наталия Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химическая инженерия» ГОУ ВПО «ТГТУ».
