

УДК 622.794

Е.И. НАЗИМКО (д-р техн. наук, проф.)**А.Н. КОРЧЕВСКИЙ** (канд. техн. наук, доц.)**А.С. ГОЛИКОВ** (ассистент)**А.В. КОПАРЕВ** (ст. гр. ЗККск-13з)

Донецкий национальный технический университет, Донецк

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ШЛАМА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ ЦОФ «КУРАХОВСКАЯ»

Проведено численное моделирование процесса накопления шлама в схеме с помощью схем замещения, выполненных на основе ориентированных графов. Получены диаграммы накопления шлама в основных узлах и аппаратах исследуемой схемы. Проведен анализ кинетики стабилизации содержания шлама. На основании полученных данных рассчитаны коэффициенты разделения тонкого и зернистого шлама, которые далее используются при моделировании схемы замещения. Результаты имитационного моделирования позволяют сделать анализ изменения концентрации шлама в оборотной воде и кинетики процесса накопления.

Ключевые слова: шлам, ориентированный граф, циркуляция потоков, оборотная вода, коэффициенты распределения, кинетика накопления, гранулометрический состав, извлечение.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. На сегодняшний день проблема накопления шлама в замкнутых технологических циклах имеет весьма актуальный характер. Повышенное содержание шлама в оборотной воде приводит к снижению эффективности работы основного и вспомогательного оборудования. При этом увеличивается продолжительность процесса стабилизации содержания шлама в потоках схемы и замедляется его скорость вывода. Научно-исследовательский подход к рассмотрению данной проблемы основан на рассмотрении технологических схем с позиции теории графов как совокупности объектов, между которыми происходит одностороннее взаимодействие. При этом работу сложных схем замещения водно-шламовых схем удобно воспроизводить с помощью итерационного численного моделирования, когда необходимо рассчитать множество циклов работы исследуемой схемы. Такой подход приобрел распространение, когда аналитическими методами выполнить расчет сложной схемы не возможно.

Анализ последних исследований и публикаций. Существующие методы оценки работы замкнутых циклов рассматривают процессы накопления шлама с позиции изменения его начальной концентрации до момента выхода на равновесный режим работы. Некоторыми авторами разработаны математические модели, в которых учитываются продолжительность процесса стабилизации, скорость вывода шлама из системы [1-3,5]. Однако существующее разнообразие технологических схем, состоящих из разветвленных маршрутов и множества аппаратов, нельзя анализировать с помощью определенной универсальной модели или метода. Сложные системы характеризуются более длительной продолжительностью процесса накопления по сравнению с простыми схемами и, как правило, равновесная концентрация в таких схемах значительно превышает начальную. Поэтому при оценке работы замкнутых циклов существующие методы не позволяют выявить разницу в сложности исследуемых схем, их многопоточности, стадий обработки шламовых вод и топологии основных узлов.

Постановка задач исследования. Исследуемая схема ЦОФ «Кураховская» представляет собой сложный технологический комплекс, не предусматривающий обогатительных операций для зернистого и тонкого шлама и включающий в себя только классификационные и обезвоживающие операции. Для точности воспроизведения работы схемы выполняется схема замещения, которая включает в себя абсолютно все технологические показатели водно-шламовой системы. Далее необходимо выполнить обработку результатов накопительного опробования по всем потокам исследуемой схемы. На основании полученных данных рассчитываются коэффициенты разделения тонкого и зернистого шлама, которые далее используются при моделировании схемы замещения. Результаты имитационного моделирования позволят проанализировать изменения концентрации шлама в оборотной воде и кинетики процесса накопления.

Основные материалы и результаты.

При замещении ВШС точной моделью - ориентированным графом – необходимо учесть все узлы и соединяющие их потоки. Для задания графа и последующего его восприятия ЭВМ наиболее удобным является способ определения множеств смежностей, при котором для каждой вершины составляется список входящих и выходящих вершин. Далее для выявления взаимодействия между узлами схемы учитываются направления всех потоков и их весовые коэффициенты. В узлах системы происходят разделительные операции. При этом сложные процессы во всех основных узлах сводятся к распределению шламовых потоков в определенных соотношениях, определяемых на базе расчетов коэффициентов распределения тонкого и зернистого шлама. Это позволяет воспроизводить разделительные свойства в определенном узле системы, т.к. коэффициенты распределения рассчитываются на основании данных опробования всех шламовых потоков [3].

После анализа всех параметров, влияющих на эффективность работы ВШС, блочная схема замещается ориентированным графом с весовыми значениями дуг, равными коэффициентам распределения шлама. Далее компьютерная программа воспроизводит реальную топологию системы и моделирует разделение исходного потока шламовых вод по узлам и аппаратам в установленных маршрутах. При этом соблюдается не только заданная последовательность, но и соответствующая задержка всех операций, входящих в состав технологической цепочки. Другими словами полностью моделируется работа исследуемой схемы (рис. 1) с максимально приближенными к производственным условиям.

Зернистый и тонкий шламы имеет различную кинетику накопления и вывода из системы, поэтому при анализе работы ВШС необходимо проводить оценку процесса накопления отдельно для тонких и зернистых частиц. Для этого определяются коэффициенты распределения тонкого и зернистого шлама по результатам накопительного опробования.

Схема расчета коэффициентов распределения на основе данных накопительного опробования для тонкого и зернистого шламов на примере гидроциклонов ГЦ-240 (9) представлена на рис. 2.

Следующим шагом в определении разделительных соотношений является выбор граничного зерна разделения, по которому работает аппарат. Другими словами, необходимо выяснить крупность тонкого и зернистого шлама. Такой подход позволяет изменять пределы крупности тонкого и зернистого шлама в каждом узле или аппарате схемы, если ситовый анализ представлен узкими классами крупности.

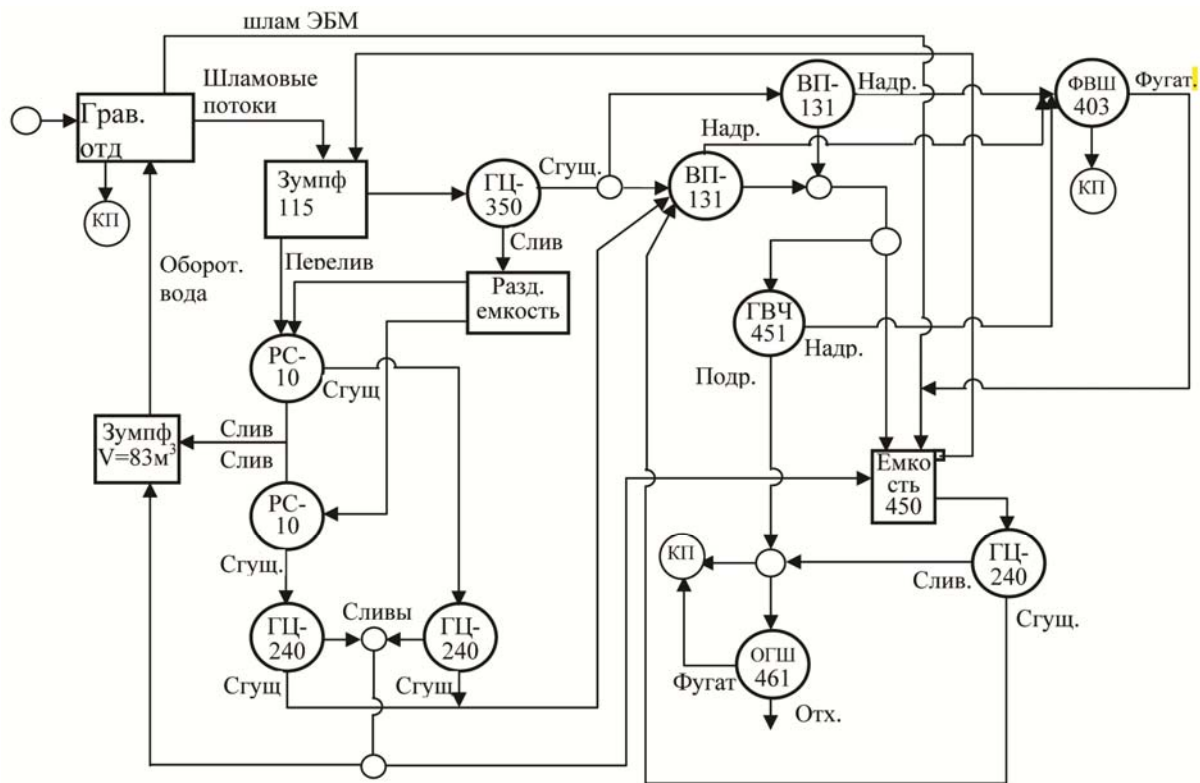


Рис. 1. Граф замещения реальной ВШС ЦОФ «Кураховская»

Далее по результатам опробования определяются суммарные выходы $+0,125$ мм и $-0,125$ мм для питания и продуктов разделения.

Для гидроциклонов ГЦ-240 питание операции:

$$\gamma_{+0,125}^{\text{пит}} = \gamma_{0,25-0,125}^{\text{пит}} + \gamma_{0,5-0,25}^{\text{пит}} + \gamma_{1-0,5}^{\text{пит}} + \gamma_{+1}^{\text{пит}} = 1,8 + 1,8 + 9,3 + 38,25 = 51,2 \text{ гр}$$

$$\gamma_{-0,125}^{\text{пит}} = \gamma_{0,125-0,063}^{\text{пит}} + \gamma_{0-0,063}^{\text{пит}} = 55,4 + 857 = 912,4 \text{ гр}$$

Слив аппарата:

$$\gamma_{+0,125}^{\text{сл}} = \gamma_{0,25-0,125}^{\text{сл}} + \gamma_{0,5-0,25}^{\text{сл}} + \gamma_{1-0,5}^{\text{сл}} + \gamma_{+1}^{\text{сл}} = 1,3 + 0 + 0 + 0 = 1,3 \text{ гр}$$

$$\gamma_{-0,125}^{\text{сл}} = \gamma_{0,125-0,063}^{\text{сл}} + \gamma_{0-0,063}^{\text{сл}} = 8,6 + 545 = 553,6 \text{ гр}$$

Сгущенный продукт аппарата:

$$\gamma_{+0,125}^{\text{сгущ}} = \gamma_{0,25-0,125}^{\text{сгущ}} + \gamma_{0,5-0,25}^{\text{сгущ}} + \gamma_{1-0,5}^{\text{сгущ}} + \gamma_{+1}^{\text{сгущ}} = 1,8 + 1,8 + 9,3 + 37,0 = 49,9 \text{ гр}$$

$$\gamma_{-0,125}^{\text{сгущ}} = \gamma_{0,125-0,063}^{\text{сгущ}} + \gamma_{0-0,063}^{\text{сгущ}} = 46,8 + 312 = 358,8 \text{ гр}$$

По результатам рассчитанных выходов определяются извлечения тонкого и зернистого шлама в продукты исследуемого аппарата.

Извлечение класса $< 0,125$ мм (тонкий шлам) в сгущенный продукт составит:

$$\varepsilon_{<0,125}^{\text{сг}} = \gamma_{<0,125}^{\text{сг}} / \gamma_{<0,125}^{\text{пит}} = 358,8 / 912,4 = 0,3933$$

Извлечение класса $< 0,125$ мм в слив:

$$\varepsilon_{<0,125}^{\text{сл}} = 1 - \varepsilon_{<0,125}^{\text{сг}} = 1 - 0,3933 = 0,6067$$

Извлечение класса $> 0,125$ мм (зернистый шлам) в сгущенный продукт составит:

$$\eta_{>0,125}^{\text{сг}} = \gamma_{>0,125}^{\text{сг}} / \gamma_{>0,125}^{\text{пит}} = 49,9 / 51,2 = 0,9756$$

Извлечение класса $> 0,125$ мм в слив:

$$\eta_{>0,125}^{\text{сл}} = 1 - \eta_{>0,125}^{\text{сг}} = 1 - 0,9756 = 0,0244$$

Аналогичным образом рассчитываются коэффициенты распределения для всех узлов исследуемой водно-шламовой системы. Результаты расчетов приведены в таблице 1.



Рис. 2. Схема для расчета коэффициентов распределения тонкого и зернистого шлама

По полученным значениям можно сделать предварительный вывод о засорении продуктов имеющимися классами. В лучшем варианте тонкий шлам должен уходить в слив и коэффициент извлечения близок к 1, а зернистый шлам должен преимущественно уходить в сгущенный продукт и соответственно коэффициент извлечения шлама при этом так же будет равен около 1. Но в реальных условиях эффективность разделения не совершенна, поэтому имеют место засорения тонким шламом сгущенного продукта и зернистым – сливного потока. Значения коэффициентов распределения шлама позволяют сделать вывод об эффективности работы исследуемого аппарата.

В таблице 1. представлены разделительные соотношения аппаратов ВШС ЦОФ «Кураховская», определенные по результатам опробования реальных потоков схемы. Исходный шламовый поток, поступающий в схему и содержащий тонкий и зернистый шлам, будет разделяться в установленных соотношениях в каждом узле. Разделение будет происходить в определенной последовательности, определяющейся технологической схемой.

Таблица 1 – Коэффициенты распределения тонкого и зернистого шлама в узлах и аппаратах действующей схемы ЦОФ «Кураховская»

№ п/п	Аппарат	Наименование продуктов	Коэффициент распр. шлама	
			Тонкого	Зернистого
1	ГЦ-350 (5)	Слив	0,49	0,12
		Сгущенный	0,51	0,88
2	РС-10 (нижн)	Слив	0,54	0,18
		Сгущенный	0,46	0,82
3	РС-10 (верхн)	Слив	0,48	0,16
		Сгущенный	0,52	0,84
4	ГЦ-240 (9)	Слив	0,57	0,28
		Сгущенный	0,43	0,72

Окончание таблицы 1

5	ГЦ-240 (11)	Слив Сгущенный	0,61 0,39	0,33 0,67
6	ВП-131 АА	Подрешетный Надрешетный	0,77 0,23	0,1 0,9
7	ВП-131 АВ	Подрешетный Надрешетный	0,82 0,18	0,14 0,86
8	ГВЧ-451,452	Подрешетный Надрешетный	0,91 0,09	0,08 0,92
9	ФВШ 403	Фугат Обезв. продукт	0,91 0,09	0,18 0,82
10	ГЦ-240 (23)	Слив Сгущенный	0,58 0,42	0,29 0,71
11	ОГШ 461	Фугат Осадок	0,63 0,37	0,11 0,89

Особенно важным моментом является то, что вся технологическая схема работает в замкнутом цикле, то есть имеют место возвраты и циркуляции потоков, что неизбежно приведет к накоплению шлама в узлах системы. Исследовать процесс накопления аналитическим путем - весьма сложная задача, поэтому возникает необходимость использования компьютерных программ, позволяющих спрогнозировать изменение концентрации тонкого и зернистого шлама в соответствии с установленными распределительными соотношениями путем многократного счета последовательности определенных операций.

Разработанная сотрудниками ДонНТУ компьютерная программа позволяет выполнить расчет изменения концентрации шлама во всех узлах исследуемой схемы в течении заданного периода времени. Рассчитанные коэффициенты распределения шлама, список узлов и потоков, схема замещения в виде ориентированного графа являются исходными данными для моделирования работы ВШС.

Результаты работы программы представляются в виде диаграмм накопления тонкого и зернистого шлама во всех узлах исследуемой ВШС. На рис. 3 приведены диаграммы накопления шлама в оборотной воде и в питании основных аппаратов исследуемой схемы.

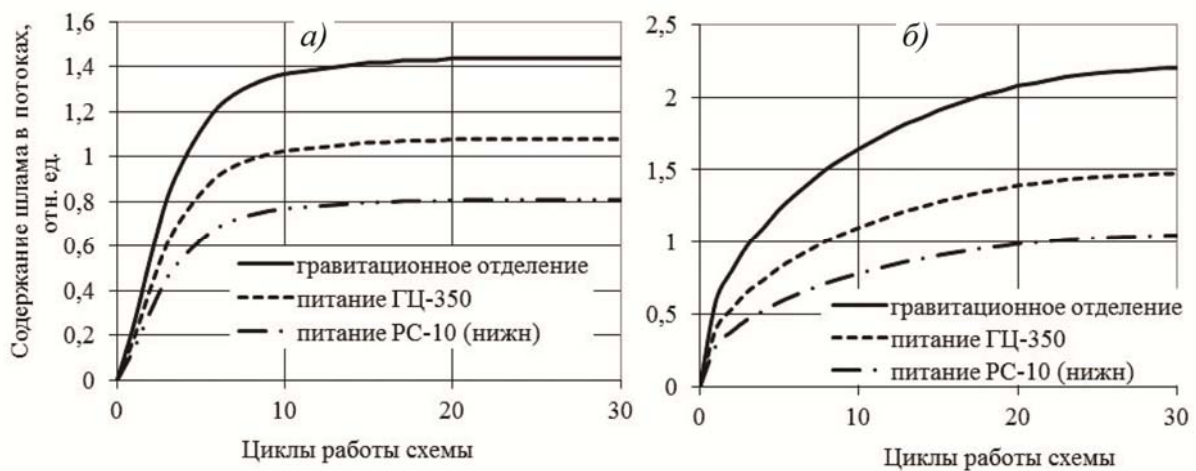


Рис. 3. Диаграммы накопления шлама по результатам численного моделирования исследуемой схемы: а) зернистого шлама, б) тонкого шлама

Выводы и направления дальнейших исследований

Таким образом, моделирование работы исследуемой водно-шламовой схемы позволяет выполнить дифференциальный подход к накоплению шлама в потоках схемы. Такой метод является наиболее эффективным, так как водно-шламовые схемы могут иметь очень сложную структуру. При этом графические результаты моделирования отражают изменение концентрации шлама до момента выхода на стационарный режим работы, что является весьма важной информацией при оценке кинетики процесса накопления и вывода шлама из системы. Анализ полученных результатов позволяет выявить проблемные узлы и аппараты исследуемой схемы с критическим содержанием шлама в питании, после чего разрабатывается комплекс мероприятий по усовершенствованию работы исследуемой схемы. Одним из дальнейших направлений исследований может являться анализ работы исследуемой схемы с позиции инерционных свойств ее компонентов, которые оказывают определяющую роль на скорость обработки и вывод шламовых потоков.

Список использованной литературы

1. Назимко Е.И. Исследование кинетики накопления шламов / [Е.И. Назимко, А.Н. Корчевский, А.С. Голиков и др.] // Збагачення корисних копалин. – 2008. – вип. 34(75). – С. 167-173.
2. Nazimko L.I. Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation / L.I. Nazimko, E.E. Garkovenko, A.N. Corchevsky // Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. – China. – 2006. – Vol 2. – P. 785-798.
3. Гарковенко Е.Е. Совершенствование работы систем осветления оборотных вод углеобогачительных фабрик / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко. – Днепропетровск, 2000. – 174 с.
4. Голиков А.С. Исследование работы водно-шламовой системы ГОФ «Луганская» в неустановившемся режиме / А.С. Голиков // Сборник докладов «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». – 2006. – С. 108 – 109.
5. Nazimko E.I. Simulation of Kinetics of Slime Accumulation in the Circulating Water With Consideration of Flow Inertia. Proceedings of the 17-th International Coal Preparation Congress / E.I. Nazimko, A.S. Golikov, K.V. Gumenyuk, E. Frohnwieser, U. Limpert. – Istanbul: Turkey. – 1-6 October 2013.

Надійшла до редакції 27.12.2013

О.І. Назимко, О.М. Корчевський, О.С. Голиков, О.В. Копарев

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАКОПИЧЕННЯ ШЛАМУ В ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СХЕМІ ЦОФ «КУРАХІВСЬКА»

Проведено чисельне моделювання процесу накопичення шламу в схемі за допомогою схем заміщення, виконаних на основі орієнтованих графів. Отримані діаграми накопичення шламу в основних вузлах і апаратах досліджуваної схеми. Проведений аналіз кінетики стабілізації вмісту шламу. На підставі отриманих даних розраховано коефіцієнти поділу тонкого та зернистого шламу, які далі використовуються при моделюванні схеми заміщення. Результати імітаційного моделювання дозволяють зробити аналіз зміни концентрації шламу в оборотній воді та кінетики процесу накопичення.

Ключові слова: шлам, орієнтований граф, циркуляція потоків, оборотна вода, коефіцієнти розподілу, кінетика накопичення, гранулометричний склад, витягання.

L.I. Nazimko, A.N. Korchevskiy, A.S. Golikov, A.V. Koparev

MODELING OF PROCESS OF SLIME ACCUMULATION IN THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF PF "KURAKHOVSKAYA"

The numeral design of the process of slime accumulation is made using the charts of substitution based on oriented counts. The diagrams of accumulation of slime in basic knots and vehicles of the chart are obtained. The analysis of kinetics of slime content stabilization is presented. Based on the modeling data, separation coefficients of fine and granular slime were calculated. These coefficients were then used for modeling of the equivalent circuit. Simulation results allow analyzing the changes in the concentration of sludge in the circulating water and the kinetics of accumulation.

Keywords: slime, oriented count, circulation of streams, circulating water, distributing coefficients, kinetics of accumulation, particle-size, extraction.