

Список літератури

1. ДСТУ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального користування.
2. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 253 с.
3. Шипилло В.П. Влияние тиристорного электропривода на питающую сеть / В.П. Шипилло // Электротехническая промышленность. Электропривод, 1970. – №1. – С. 5–10.
4. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Сыромятников И.А. // под ред. Л.Г. Мамикомянца. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
5. Иванов В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Поспелов Г.Е. Компенсирующие и регулирующие устройства в электрических системах / Г.Е. Поспелов, Н.М. Сыч, В.Т. Федин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 112 с.
7. Перетворювальна техніка : Підручник. Ч.2 / [Ю.П. Гончаров, О.В. Будьоний, В.Г. Морозов та ін.] : За ред. В.С. Руденка.– Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.

Рукопис подано до редакції 10.04.12

УДК 622.793.2

А.С. ГОЛИКОВ, ассистент, Донецкий национальный технический университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ИНЕРЦИОННЫХ СВОЙСТВ УЗЛОВ И СОЕДИНЯЮЩИХ ПОТОКОВ

Предложены математические модели, позволяющие оценить работу замкнутых циклов с позиции затрат энергии на обработку и вывод шламовых потоков.

Проблема и ее связь с практическими задачами. От эффективности работы водно-шламовой системы (ВШС) предприятия зависит качество продуктов обогащения. Предложены различные подходы и критерии для оценки этого параметра [1-4]. Критерий должен учитывать влияние изменений процесса накопления шлама. Таким критерием считается коэффициент циркуляции шлама, который вычисляется по зависимости

$$K_{\tau} = (F+G)/(f_o+g_o), \quad (1)$$

где K_{τ} - коэффициент циркуляции; F и G - соответственно количество шлама крупностью меньше и больше граничного зерна разделения в подрешетных водах при установившемся равновесии в системе, т/ч; и f_o и g_o - то же самое, но в подрешетных водах после первого цикла.

Анализ исследований и публикаций. К основным характеристикам критерия относятся равновесная концентрация твердой фазы в питании узлов и продолжительность стабилизации ее содержания в потоках. Минимальное значение критерия соответствует максимальной эффективности работы основных узлов и аппаратов системы. Обычно сгустительно-осветлительные устройства не обеспечивают полное извлечение шлама в сгущенный продукт, и в ВШС происходит накопление тонких частиц [1].

Анализ зависимости (1) показал, что чем меньше количество твердого возвращается с оборотной водой в технологический процесс, тем выше эффективность работы ВШС. Сокращение количества шлама, циркулирующего в системе, достигается при обеспечении его максимального вывода с конечными продуктами. При этом снижается содержание шлама в питании основных узлов и аппаратов и снижается время достижения равновесной концентрации твердого в системе.

Коэффициент циркуляции характеризует работу ВШС только с позиции максимального содержания шлама после установившегося режима работы и не позволяет оценить влияние продолжительности накопления. Высокая продолжительность нестационарного режима говорит о неэффективной работе системы.

Постановка задачи. С учетом изложенного выше необходимо разработать универсальный критерий, учитывающий влияние продолжительности накопления шлама в оборотной воде, которая зависит и от инерционных свойств исследуемой системы.

Изложение материала и результаты. Оценка накопления шлама в ВШС с позиции содержания твердой фазы в оборотной воде после установившегося равновесия не является полной, так как процесс изменяется во времени и длительность этого изменения влияет на эффективность работы узлов и системы в целом. Изменение этих параметров можно проследить, ис-

следуя скорость накопления шлама и его вывода. При этом скорость накопления шлама может быть одинаковой при разных значениях его концентрации и времени накопления.

Для обработки шламовых потоков расходуется определенное количество энергии на доставку порции шлама и ее дальнейшее разделение. При повышенном содержании шлама в питании узлов затрачивается больше энергии. С каждым циклом работы содержание шлама увеличивается за счет его накопления, что приводит к изменению рабочих характеристик насосных установок и разделительных свойств аппаратов. В результате затрачивается больше энергии на обработку и вывод шлама. При прочих равных условиях можно считать, что суммарная энергия, затрачиваемая на вывод шлама, пропорциональна его концентрации в узлах вывода, и принять ее за критерий оценки эффективности работы системы.

Суммарная энергия переработки потоков на первых циклах работы равна единице и пропорциональна количеству шлама. Оценка эффективности работы системы проводится по скорости изменения энергии E , затрачиваемой на обработку и вывод шлама. Данная формулировка идентична определению мощности объекта или системы, выполняющих какую-либо работу в течение определенного времени. Работа является мерой изменения энергии, следовательно, мощность можно определить как скорость изменения энергии системы

$$= dE/dt \quad , \quad (2)$$

где V - скорость изменения энергии, затрачиваемой на вывод порции шлама из системы.

Этот показатель реагирует на изменение и количества шлама и продолжительности стабилизации его содержания. Для оценки эффективности работы ВШС можно применить следующее выражение

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{\tau_i} \cdot \kappa_{fi} + \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{\tau_i} \cdot \kappa_{gi} \quad . \quad (3)$$

Здесь F_i и G_i - количества тонкого и зернистого шлама в i -м узле или аппарате соответственно, k_{fi} и k_{gi} - коэффициенты распределения тонкого и зернистого шлама в данном i -м узле, τ_i - инерционность узла или аппарата, i - количество аппаратов системы.

Инерционность узла определяется с учетом транспортного запаздывания питающего потока. Компьютерная программа, моделирующая работу ВШС, учитывает распределение тонкого и зернистого шлама по всем узлам, аппаратам и потокам системы. Анализ показывает, что на обработку и вывод шлама затрачивается суммарное количество энергии, расходуемой в каждом разделительном аппарате. Скорость вывода тонкого шлама, как правило, ниже скорости зернистого, и системой затрачивается больше энергии на его обработку и вывод. Поэтому первое слагаемое выражения (3) больше второго. Чем больше затрачивается энергии на вывод шлама, тем большее его количество выводится из системы. Это означает, что в возвратных потоках концентрация шлама будет незначительной и при возврате они не будут провоцировать существенное увеличение энергии на дальнейшую обработку потока. Таким образом, необходимо стремиться к быстрому и объемному выводу шлама на первых циклах работы замкнутой системы. При этом достигается экономия энергии во всех узлах системы за счет быстрой стабилизации содержания шлама в оборотной воде. Продолжительность нестационарного режима работы схемы можно сократить при высоких затратах энергии на вывод шлама именно на первых циклах ее работы.

Эффективность работы замкнутых циклов необходимо оценивать в период времени, когда из системы выводится максимальное количество шлама. Далее приращения концентрации выводимого шлама уменьшаются, и скорости изменения затрачиваемой на процесс энергии сближаются. Для каждой исследуемой ВШС следует установить графическую зависимость изменения энергии при выведении всего шлама из системы. Для численного выражения эффективности достаточно соотнести скорости вывода шлама (или скорости изменения энергии, затрачиваемой на его вывод) в данной системе с работой системы при полном выводе шлама. Скорости вывода тонкого и зернистого шлама могут различаться значительно, необходимо проводить дифференцированную оценку эффективности работы схемы. Для расчета предложены следующие математические зависимости

$$E_{\text{тонк}} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{if}}{\tau_i} / \sum_{i=1}^n \frac{C_{if \max}}{\tau_i} \quad (4)$$

$$E_{зерн} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{C_{if}}{\tau_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{C_{ig\max}}{\tau_i}} \quad (5)$$

Здесь C_{if} и C_{ig} – концентрация тонкого и зернистого шлама, выводимого из системы на первых циклах работы; $C_{if\max}$ и $C_{ig\max}$ – то же самое при работе схемы накопления; τ_i – суммарная инерционность маршрутов вывода шлама; i – количество узлов вывода шлама.

Для оценки эффективности работы ВШС необходимо знать, сколько системой выводится шлама на первых циклах работы и как долго шлам доходит до узлов вывода. В практических условиях обеспечивать полный вывод шлама нецелесообразно. Скорость вывода шлама резко снижается из-за появления циркулирующих нагрузок. В результате выход на стационарный режим значительно замедляется. Чем ближе суммарное количество выводимого шлама к 100%, тем ближе числитель к знаменателю в зависимостях (4) и (5) при постоянных инерционных характеристиках системы.

Рассмотрим гипотетическую упрощенную ВШС (рис. 1).

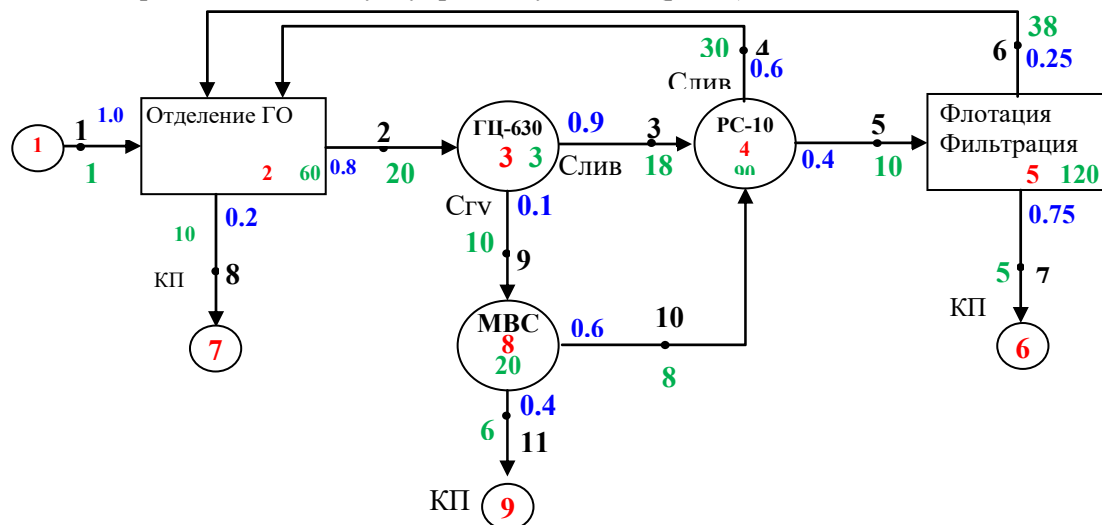


Рис. 1. Гипотетическая водно-шламовая система в блочном изображении

Каждый узел и поток в схеме пронумерованы, возле каждой связи указаны коэффициенты распределения шлама, а также транспортные задержки. Работа схемы моделируется с помощью программы, учитывающей распределение шлама по узлам в соответствии с реальными разделительными характеристиками аппаратов. При этом учитывается инерционность поступления потоков, определяемая временем обработки шлама в аппарате и транспортным запаздыванием потоков.

Результатом работы программы является большой массив данных, содержащий информацию о количестве тонкого и зернистого шлама в узлах и потоках в любой момент времени. Обработка результатов позволяет определить скорости вывода шлама из системы по изменению его концентрации C

$$U_{выв} = \Delta C / \Delta T \quad (6)$$

Вначале определяется изменение скорости вывода шлама, когда в схеме не происходит накопления. Расчеты показывают, что на первых циклах выводится 0,462 дол.ед. от начального количества шлама, а 0,538 дол. ед. возвращается с циркулирующими потоками. Эффективность работы такой схемы далека от максимальной, так как количество циркулирующего шлама превышает количество выводимого.

Для установления зависимости изменения скорости вывода шлама во времени для случая, когда накопление не происходит, предполагаем, что все количество шлама выводится из системы на первых циклах. Тогда имеются два варианта работы ВШС, для которых рассчитаны скорости вывода шлама и результаты в графической форме представлены на рис. 2.

Верхняя диаграмма соответствует варианту, когда через узлы вывода уходит полностью весь шлам, поступающий в систему; нижняя отображает скорость вывода для исследуемой схемы. Вертикальные скачки соответствуют очередному приращению количества выводимого шлама. Когда количество выводимого шлама постоянно, кривая имеет плавное снижение скорости вывода. Из сравнения видно, что исследуемая гипотетическая схема далека от условий эффективной работы, так как в оборот возвращается значительное количество шлама.

Как отмечалось выше, оценку эффективности работы ВШС лучше проводить на первых циклах работы, так как в начале работы приращения концентраций шлама в узлах и аппаратах системы максимальны. Далее, если эффективность разделительных аппаратов достаточно велика и системой возвращается в оборот незначительное количество шлама, то эти приращения сокращаются по величине.

При этом диаграммы изменения скоростей вывода будут иметь небольшое количество вертикальных скачков и характеризоваться плавными убывающими кривыми. Такие системы быстро выходят на стационарный режим работы. Для рассматриваемой гипотетической схемы оптимальный период для оценки эффективности работы - от начала работы до 250 с. Далее скорости вывода сравниваются в значениях и разница в работе незначительна. Для момента времени 170 с определяем скорости вывода шлама $U_{\text{выв}}^{\text{max}}$ и $U_{\text{выв}}^{\text{дейст}}$ (рис. 3) и эффективность, определяемая по выражению (3), составит 58,3 %.

При неизменной топологии схемы и тех же аппаратах любые рациональные технологические изменения будут приближать расчетное значение эффективности к 100 %, а нижняя диаграмма скорости изменения энергии вывода шлама будет приближаться к верхней.

Рассмотрим случай, когда после определенных технологических мероприятий удалось повысить эффективность работы разделительных операций. В результате системой обеспечивается больший вывод шлама на первых циклах работы (0,8 доли.ед.) и в оборот возвращается незначительное содержание шлама (0,2 доли.ед.).

Для исследуемой схемы корректируются коэффициенты распределения шлама для аппаратов, слив которых направляется в оборот, таким образом, чтобы суммарное содержание шлама в этих потоках составило именно 0,2 доли.ед. Остальное количество распределяется через узлы вывода пропорционально долевым коэффициентам. Таким образом, воспроизводится теоретическая модель для схемы с заданными показателями. Сравнение результатов расчета приведено на рис. 3 (для удобства сравнения полученная диаграмма добавлена на имеющуюся область построения на рис. 2). Как и предполагалось, работа ВШС в этом случае намного эффективнее работы гипотетической схемы. Диаграмма расположилась выше диаграммы для случая с меньшим выводом шлама и ближе к идеальному варианту, когда накопления нет. При этом количество резких скачков в скорости вывода шлама незначительное. Скорости вывода шлама: $U_{\text{выв}}^{\text{max}}$ остается неизменным 0,006 доли.ед./с, а $U_{\text{выв}}^{\text{дейст}} = 0,0051$ доли.ед./с. При этом эффективность составляет 85 %. Рассмотренная схема характеризуется высокой интенсивностью вывода шлама и быстрым выходом на стационарный режим работы.

Выводы и направления дальнейших исследований. Оценка эффективности работы ВШС с использованием коэффициента циркуляции шлама является неполной, коэффициент только количественно оценивает накопление без учета продолжительности процесса, зависящей от инерционности системы. Скорость изменения энергии, затрачиваемой на вывод шлама, растет с увеличением приращений содержания шлама в узлах вывода. Оценка эффективности работы ВШС по этому параметру является более точной и объективной, так как при этом учитывается и количество выводимого шлама, и длительность его вывода. Количество выводимого шлама определяется полнотой извлечения твердой фазы в сгущенные продукты разделительных аппаратов, а длительность - инерционными свойствами аппаратов и соединительных потоков. Максимальные приращения концентраций шлама в узлах вывода наблюдаются на первых циклах работы, поэтому для оценки эффективности работы ВШС наиболее подходит момент достижения максимальной скорости вывода шлама. Высокие инерционные свойства узлов и потоков системы снижают скорость вывода шлама, увеличивая продолжительность его транспортирования по технологическим маршрутам. При этом продолжительность достижения равновесного содержания шлама увеличивается, работа основных узлов и аппаратов неустойчива и нестабильна.

Список литературы

1. Назимко Е.И. Совершенствование работы систем осветления оборотных вод / Е.И. Назимко, Е.Е. Гарковенко / Днепропетровск, 2002. – 226с.
2. Рекомендации по водно-шламовому хозяйству углеобогатительных фабрик. Луганск 1989 (УкрНИИУглеобогашение). – 68с.
3. Благов И.С. Обратное водоснабжение углеобогатительных фабрик. – М.: Недра, 1990. – 208с.
4. Зозуля И.И. Методика расчета замкнутых равновесных систем осветления мочных вод углеобогатительных фабрик / И.И. Зозуля, И.Е. Штейнберг, Г.А. Володин, Т.И. Никифоров / – М, 1974, ЦНИЭИУголь, № 31, с. 37 – 41.

Рукопись поступила в редакцию 31.03.12