

УДК 622.794

А.С. Голиков, ассистент кафедры «Обогащение полезных ископаемых»  
Донецкий национальный технический университет

Энергетическая интерпретация динамических свойств водно-шламовых систем  
углеобогащительных фабрик.

**Аннотация.** В работе исследовано влияние процесса накопления шлама на эффективность работы насосного оборудования водно-шламовых систем. Установлена связь между затратами энергии насосных установок и инерционными свойствами аппаратов и соединительных потоков. Разработан критерий оценки динамических свойств технологических схем и отдельных маршрутов обработки шламовых потоков.

**Ключевые слова:** накопление шлама, инерционность, равновесная концентрация, рабочая характеристика насоса, динамические свойства, энергия, мощность, напор.

О.С. Голіков, асистент кафедри «Збагачення корисних копалин»  
Донецький національний технічний університет

Енергетична інтерпретація динамічних властивостей водно-шламових  
систем вуглезбагачувальних фабрик.

**Анотація.** В роботі досліджено вплив процесу накопичення шламу на ефективність роботи насосного устаткування водно-шламових систем. Встановлено зв'язок між витратами енергії насосних установок та інерційними властивостями апаратів і потоків, що їх з'єднують. Розроблено критерій оцінки динамічних властивостей технологічних схем та окремих маршрутів обробки шламових потоків.

**Ключові слова:** накопичення шламу, інерційність, рівноважна концентрація, робоча характеристика насосу, динамічні властивості, енергія, потужність, натиск.

A.S. Golikov assistant of department «Enriching of minerals» the Donetsk  
national technical university

Power interpretation of dynamic properties of the water-slime systems of coal  
preparation factories.

**Summary.** In work influence of process of slime accumulation on overall performance of the pumping equipment of water and slurry systems is investigated. Connection between expenses of energy of pumping installations and inertial properties of devices and connecting streams is established. The criterion of an

assessment of dynamic properties of technological schemes and separate routes of processing of slurry streams is developed.

**Keywords:** slime accumulation, lag effect, equilibrium concentration, performance data of the pump, dynamic properties, energy, capacity, pressure.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Для обработки шламовых потоков в узлах и аппаратах схемы расходуется определенное количество энергии на доставку порции шлама и ее дальнейшее разделение. Это энергия, затрачиваемая на привод механизмов, аппаратов, насосов и др. С каждым циклом работы водно-шламовой системы содержание шлама увеличивается, что приводит к изменению рабочих характеристик насосных установок, а так же к изменению разделительных свойств аппаратов. В результате системой затрачивается больше энергии на обработку и вывод шлама из системы. При наличии переходных процессов изменяется содержание твердой фазы в питании, плотность, растет критическая скорость потока, изменяются напорные характеристики насосов. Такие процессы отрицательно сказываются на работе всех технологических узлов и гидротранспортных сетей, так как на преодоление всех изменений системой расходуется энергия, определяющая величину капитальных и производственных затрат. Наличие в схеме инерционных аппаратов, а также трубопроводов с высокими транспортными задержками значительно увеличивают длительность нестационарного режима работы ВШС. Инерционные свойства системы задерживают процесс вывода шлама, снижая скорость обработки шламовых потоков, что негативно сказывается на работе гидротранспортных систем, так как при этом значительно увеличивается продолжительность затрат энергии приводных установок оборудования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследованию эффективности работы замкнутых технологических схем, обрабатывающих шламовые потоки, посвящены работы: Н.Г. Бедрань, В.С. Бутовецкий, В.А. Глембоцкий, И.И. Зозуля, В.И. Кармазин, П.И. Пилов, Т.Г. Фоменко, Г.В. Самойлик, О.С. Богданов, М.А. Борц, Е.Г. Тресков, Г. Травинский и др. Методы оценки эффективности обработки шламовых потоков в этих работах основываются на величине равновесной концентрации или коэффициента циркуляции шлама. Работы многих исследователей не затрагивают распределение шлама по узлам системы, по соединяющим их потокам. Не учитываются при оценке процесса накопления шлама. При этом оценить скорость обработки и вывода шлама из системы не возможно. Исследование эффективности работы ВШС необходимо проводить с учетом динамических свойств схемы, так как они влияют на продолжительность процесса стабилизации содержания шлама [1.2].

**Постановка задач исследования.** Продолжительность процесса стабилизации содержания шлама в оборотной воде является определяющим фактором при оценке эффективности работы водно-шламовых систем, так как для достижения установившегося режима работы схемы расходуется энергия основного и вспомогательного оборудования. К равновесному состоянию

исследуемая схема может прийти на первых циклах работы и по истечении значительного времени стабилизации концентрации шлама. Динамические свойства системы и эффективность ее работы будут разными. Поэтому возникает необходимость в оценки скорости процессов обработки и вывода шлама из системы.

**Основные материалы и результаты.** Для обработки шламовых потоков в узлах и аппаратах схемы расходуется определенное количество энергии на доставку порции шлама и ее дальнейшее разделение. Это энергия, затрачиваемая на привод исполнительных органов аппаратов, насосов и др. При повышенном содержании шлама в питании основных узлов регенерации для вывода шлама из системы затрачивается больше энергии. С каждым циклом работы содержание шлама увеличивается, что приводит к изменению рабочих характеристик насосных установок, а так же к изменению разделительных свойств аппаратов. В результате системой затрачивается больше энергии на обработку и вывод шлама из системы.

Для определения затрат энергии при изменении содержания твердой фазы в шламовом потоке в работе выполнен расчет фрагмента трубопровода гипотетической ВШС, обеспечивающего подачу пульпы в гидроциклоны ГЦ-630. Для напорного пульпопровода энергия, запасенная в его сечении, расходуется на покрытие потерь по длине трубопровода, в местных сопротивлениях и на создание скоростного напора [3-5].

$$H = \left[ \lambda_{см} \frac{l}{d} + \sum \xi + 1 \right] \left[ \frac{4Q_{см.расч}}{\pi d^2} \right]^2 \frac{1}{2g} \quad (1)$$

Здесь

$\lambda_{см}$  – коэффициент Дарси для рассматриваемой смеси;

$Q_{см.расч}$  – расчетный расход смеси.

Эти параметры определяются по формулам:

$$\lambda_{см} = \lambda_0 + \frac{U_{кр}}{U} \left( \frac{1}{1 + \frac{Ж}{T}} \right)^{0,8} \quad (2)$$

$$Q_{см.расч.} = K_m \left[ \frac{Q_{мт}}{3600\rho_t} + \frac{Q_{мт}}{3600\rho_0} \cdot \frac{Ж}{T} \right], \quad (3)$$

где

$\lambda_0$  – коэффициент Дарси при движении воды в трубопроводе,

$U_{кр}$  – критическая скорость движения смеси, при которой происходит осаждение частиц на дно трубопровода,

$\rho_0$  и  $\rho_t$  – плотность воды и твердой фазы, соответственно.

Геометрические размеры трубопровода определяются по данным замеров потоков схемы. Плотность твердой фазы  $\rho_m$  принята  $2000 \text{ кг/м}^3$ , высота нагнетания  $H = 20 \text{ м}$ ,  $T = 1$ ,  $Ж = 5$ ,  $g = 9.81 \text{ кг/с}^2$ , плотность воды  $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ , местные сопротивления трубопровода  $\xi_1 = 1$ ,  $\xi_2 = 2$ ,  $\xi_3 = 3$ .

Результаты расчета характеристик гидравлической сети выполнены по методике [2-3] и представлены на рис. 1. Как видно из полученных характеристик, с увеличением содержания твердого в потоках схемы растет энергия, затрачиваемая на обеспечение напора и преодоление сопротивлений, и характеристика сети становится более крутой. При этом происходит снижение заданного расхода смеси, в результате чего повышается давление в трубопроводе, мощность электродвигателя и создаваемый насосом напор увеличиваются (рис. 1.). Каждая из точек пересечения (рабочих точек насоса) появляется после очередного скачка концентрации шлама, вызванного доставкой в зумпф порции шлама с учетом инерционных характеристик.

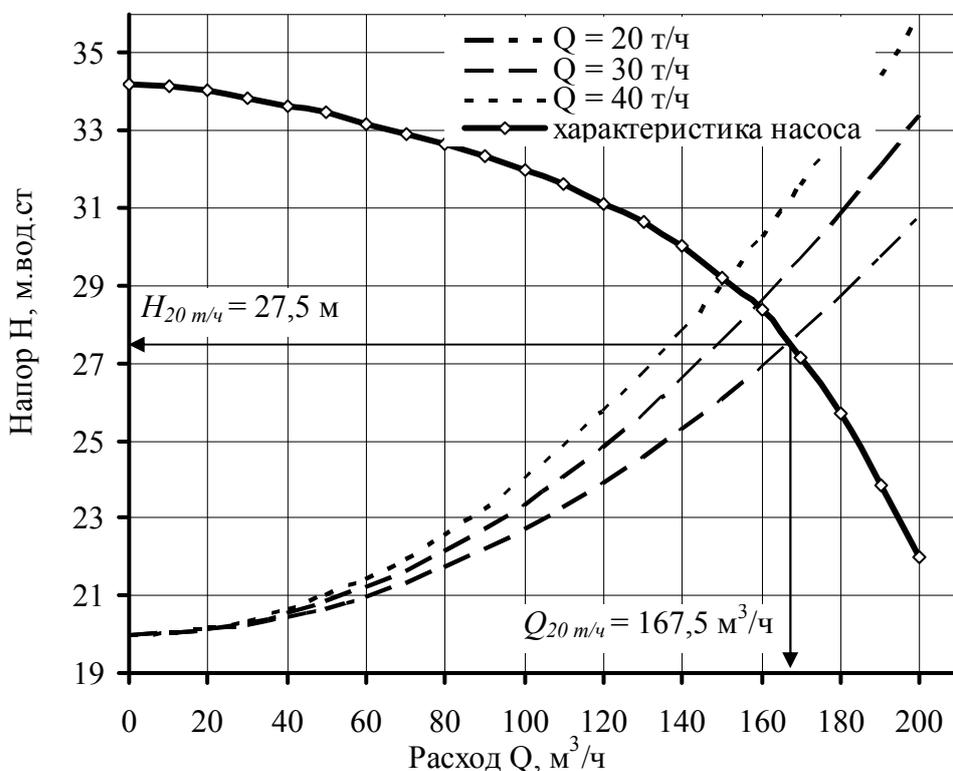


Рис. 1. Напорная характеристика насоса и характеристика исследуемой гидравлической сети при различном содержании твердой фазы в потоке

Таким образом, во время нестационарного режима, когда накапливается шлам в системе, происходит изменение режимных рабочих характеристик насосных установок из-за увеличения плотности смеси с каждым циклом работы схемы:

$$\rho_{см} = \frac{T + Ж}{\frac{T}{\rho_m \cdot 1000} + \frac{Ж}{\rho_0}} \quad (4)$$

При  $Q = 20; 30$  и  $40$  т/ч плотность смеси составит  $1104; 1150$  и  $1193$  кг/м<sup>3</sup> соответственно. В результате с повышением плотности при количестве твердого в потоке  $Q = 40$  т/ч увеличивается мощность привода насоса, зависящая от напора, расхода и плотности перекачиваемой смеси.

$$N = Q \cdot H \cdot g \cdot \rho_{см} \quad (5)$$

Значения расхода смеси и напора при различном содержании твердой фазы определяются по рис. 1.

При  $Q = 20; 30$  и  $40$  т/ч мощность установки для перекачивания потоков составит  $49737,9; 51122,1$  и  $51243,1$ Вт соответственно.

Таким образом, с момента запуска насосной установки ее привод работает с повышением мощности, которое вызвано негативными последствиями накопления шлама. Скачки повышения мощности происходят так же резко, как и скачки концентрации шлама в потоках. Насосная установка работает с затратами энергии для перекачки смеси, затем с увеличением содержания твердой фазы в питании, мощность также растет до следующего приращения количества твердой фазы в шламовом потоке и так далее до выхода на стационарный режим работы.

В общем случае мощность определяется как физическая величина, равная в скорости изменения энергии системы.

$$N = \Delta E / \Delta t \quad (6)$$

Эта формулировка более выгодна для анализа изменения энергии в системе, где инерционные свойства ее составляющих определяют продолжительность неустойчивой работы системы в целом. Чем быстрее происходят в системе все промежуточные процессы, тем быстрее система выходит на равновесный режим работы, и при этом скорость изменения затраченной энергии будет высокой. Именно этот параметр важно учитывать при анализе и сравнении различных схем по инерционным свойствам.

Энергия изменяется с такой же периодичностью, как и мощность привода насоса в зависимости от продолжительности периодов нестабильной работы. С помощью диаграмм накопления шлама, полученных по результатам моделирования, можно определить точную продолжительность переходного процесса для исследуемой установки и время каждого конкретного скачка содержания твердой фазы (рис. 2).

Общая энергия, затрачиваемая насосной установкой на преодоление переходного процесса, оценивается как сумма энергий на всех промежутках, которые входят в состав нестационарного режима работы и определяются по зависимости:

$$E = E_0 + \sum N_i \cdot \Delta t_i \quad (7)$$

Здесь

$E_0$  – энергия, затрачиваемая сетью без переходных процессов, когда накопления в системе не происходит и характеристики шламовых потоков не изменяются;

$N_i$  и  $\Delta t_i$  - мощность и время  $i$ -го промежутка переходного процесса.

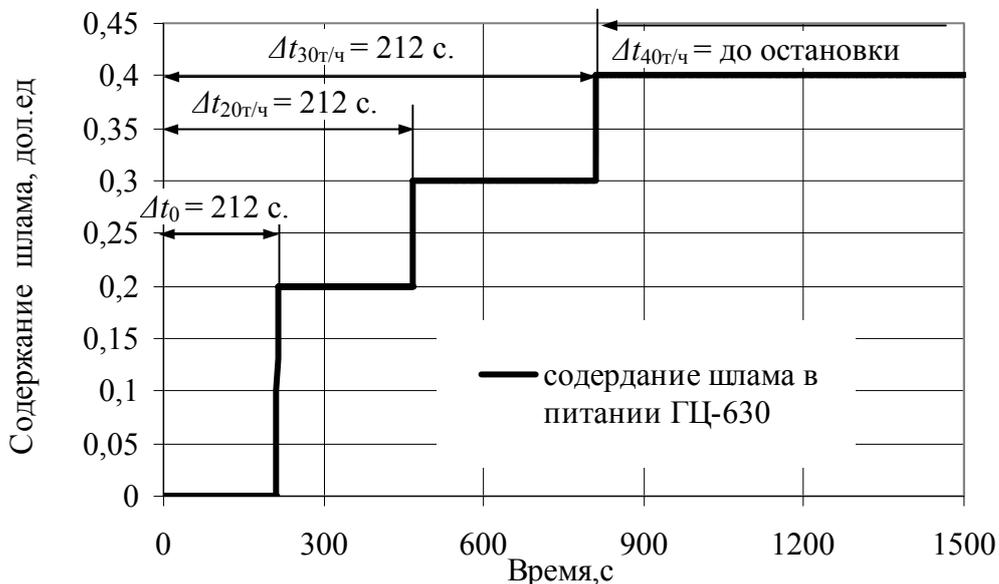


Рис. 2 Диаграмма накопления шлама в питании гидроциклонов ГЦ-630, принимающих поток исследуемой насосной установки

Зависимость (7) учитывает все основные технологические параметры шламовых потоков, а полученная суммарная энергия зависит от инерционных свойств системы. Для исследуемой гидравлической сети суммарная энергия будет:

$$E = E_0 + N_{20 \text{ м/ч}} \cdot \Delta t_{20 \text{ м/ч}} + N_{30 \text{ м/ч}} \cdot \Delta t_{30 \text{ м/ч}} + N_{40 \text{ м/ч}} \cdot \Delta t_{40 \text{ м/ч}} \quad (8)$$

$E_0$  определяется из начальных условий работы, когда характеристики шламовых потоков со временем не изменяются. Например, для насоса, подающего в процесс оборотную воду, это будет именно та энергия, которую необходимо затратить приводу на перекачку чистой воды, когда накопления шлама в системе не происходит.

Исследуемая установка обеспечивает перекачку нужного объема пульпы без накопления шлама: при  $Q = \text{const}$   $E_0 = 2,9 \text{ кВт}$ .

Из условий 20 часов работы в сутки расход энергии в соответствии с (8) составит 1024,6 кВт.

**Выводы и направления дальнейших исследований** Таким образом, энергия, затрачиваемая сетью на преодоление переходного процесса, зависит от начального значения, которое определяется затратами энергии на перекачивание смеси при ее постоянных параметрах, и от количества промежутков времени, при которых сеть работает с различной мощностью. Здесь учитываются все основные параметры шламовых потоков – концентрация, плотность смеси, скорость, расход, местные сопротивления,

геометрия трубопроводов. Изменение этих параметров отражается на гидравлических характеристиках сети, а, следовательно, и на мощности привода насосных установок. К тому же учитываются и инерционные характеристики шламовых потоков, так как продолжительность переходного процесса складывается из отдельных промежутков, при которых изменяются показатели работы сети. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методики интегральной оценки схемы, состоящей из множества гидротранспортных сетей и насосных установок.

### *Литература*

1. Назимко Е.И. Методика исследования поведения замкнутых технологических систем с учетом транспортного запаздывания потоков // Сб. Обогащение полезных ископаемых. Вып.19(60).Днепропетровск.–2004.–с.77-84.
2. Голиков А.С. Анализ существующих методов расчета водно-шламовых систем углеобогатительных фабрик // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2006. – вип. 25-26 (66-67). – С. 137-143.
3. Назимко Е.И. Исследование изменения скорости накопления шлама в водно-шламовой системе ЦОФ «Чумаковская» / Е.И.Назимко, А.С. Голиков // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ.–2007.– вип. 29-30.– С. 184-190
4. Трайнис В.В. Параметры и режимы гидравлического транспортирования шлама по трубопроводам / В.В. Трайнис. – Москва «Наука», 2000. – 191 с.
5. Гейер В.Г. Гидравлика и гидропривод / В.Г. Гейер. – Москва, 1998.
6. Батаногов А.П. Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик / А.П. Батаногов. – Москва: Недра, 1999. – 295 с.