

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГЛУБОКОВОДНЫХ ГИДРОПОДЪЕМАХ

Романюков А.В., аспирант, Татуревич А.А., студент, Бирюков А.А., студент
(*Национальный горный университет, г. Днепрпетровск, Украина*)

Исследования ученых, занимающихся изучением глубоководной добычи полезных ископаемых, сконцентрированы на создании эффективных способов и средств добычи, транспортирования и переработки минерального сырья. В плане транспортировки добытых твердых полезных ископаемых на базовое средство выделяют конкурирующие на сегодняшний день эрлифтный и насосный варианты гидроподъема. Опыт их эксплуатации в шахтных условиях показывает, что в различных нештатных (аварийных) ситуациях, а также переходных режимах, работа установок часто сопровождается быстрыми нестационарными процессами, среди которых наиболее опасным в плане целостности и работоспособности оборудования является гидроудар. Дополнительные трудности возникают при эксплуатации горного оборудования в сложных условиях больших глубин в связи с жесткими требованиями, предъявляемыми к работоспособности и живучести трубного става гидроподъема, силовых агрегатов, запорно-регулирующей арматуры и др. Численные методы решения уравнений нестационарного движения жидкости позволяют, в отличие от аналитических, получать решения без упрощения исходных уравнений, задаваясь при этом граничными условиями, которые присущи сложным гидравлическим системам [1].

Для получения конкретных значений динамических параметров течения при заданных начальных и граничных условиях используются различные методы расчета. В основе разработанного авторами программно-алгоритмического комплекса лежит численный метод характеристик применительно к решению уравнений, описывающих одномерное нестационарное движение вязкой жидкости.

Численный метод характеристик позволяет достаточно точно описывать процессы в гидравлических системах со значительным количеством запорно-регулирующей арматуры различного типа, учитывать сжимаемость жидкости, а также дает возможность относительно простой реализации многовариантных расчетов по различным функциям цели на ЭВМ.

Запишем дифференциальные уравнения движения реальной жидкости

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + V \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{c^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \\ \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{(I + z_i)V|V|}{2gd} + g \sin a = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где h – потенциальный напор; V – скорость жидкости, м/с; x – координата вдоль трубопровода, м; t – время, с; C – скорость распространения волны возмущения, м/с; I – безразмерный коэффициент трения; z_i – безразмерный коэффициент местных сопротивлений; g – ускорение силы тяжести, м/с²; d – диаметр трубопровода круглого сечения, м; a – угол наклона.

Разработанный программный комплекс позволяет оценить степень динамического прироста основных параметров гидравлической системы при быстрых

нестационарных процессах в горизонтальных и вертикальных трубопроводных системах большой протяженности, решая уравнения (1) при различных задаваемых пользователем граничных и начальных условиях.

Визуализация задачи происходит при помощи интеграции расчетного алгоритма в программный комплекс SolidWorks. Для создания программно-алгоритмического комплекса использовались также следующие ресурсы: среда программирования C#, SolidWorks API, а также библиотеки OpenGL.

Достоверность результатов, полученных при помощи разработанного программно-алгоритмического обеспечения, подтверждается их полным или частичным совпадением с результатами ранее проведенных экспериментов. Однако в ходе анализа имеющихся в открытой печати результатов экспериментов авторам не удалось найти экспериментальных работ, объектом исследования которых был бы гидроудар в системе вертикальных трубопроводов достаточно большой протяженности. Поэтому сравнение проводилось для горизонтальных трубопроводов.

Каждый из численных экспериментов дублировался авторами на электрической модели исследуемой системы, составленной при помощи программы Multisim по ранее разработанной методике электрического моделирования [1, 2]. Основное отличие этой методики от существующих аналоговых электрических моделей состоит в том, что электрическая схема-аналог моделируемой гидравлической системы составляется виртуально при помощи специальной программы-симулятора. Методика позволяет в короткие сроки оценивать основные параметры гидродинамических процессов и наблюдать за их течением в реальном времени, однако, в силу ограниченности набора структурных элементов, не дает возможности моделирования не прямых гидравлических ударов.

Пики давления расчетной кривой довольно точно совпадают по времени с экспериментальной. Форма колебаний расчетной кривой несколько иная, однако максимальное отклонение расчетных значений давления по методу характеристик от экспериментальных составило 14-16% (для первых четырех периодов). Аналогичное отношение результатов с использованием программы Multisim составило 18-20%. Следует отметить, что колебания в расчетной зависимости затухают несколько медленнее, нежели в экспериментальной, и это расхождение становится заметным начиная с 10-12 периода.

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что разработанный программно-алгоритмический комплекс с достаточной для технических расчетов степенью точностью отображает реальную картину быстрых нестационарных процессов в трубопроводных гидротранспортных системах.

Перечень ссылок

1. Кириченко Е.А., Трояновская Ю.М., Романюков А.В. К вопросу о перспективах метода электрического моделирования нестационарных процессов в шахтных трубопроводах // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №1. – с. 54-60.
2. Исследование параметров гидроудара в рамках виртуальной электрической модели / Кириченко Е.А., Гоман О.Г., Корсун Ф.А., Романюков А.В. // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №6. – с. 67-74.