

*Н.И. НИКИТИН*, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ" (г. Харьков),  
*А.Е. МОРОЗОВ*, НТУ "ХПИ" (г. Харьков)

## **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОДУЛЬНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕЙ**

У цей час широке застосування одержало математичне моделювання складних технологічних процесів. Правильний вибір методики проведення експериментів на фізичній і математичній моделях модульних відцентрових систем для переробки вугілля, які досліджуються, повинне привести до адекватності даних моделювання й звести до мінімуму час на проведення експериментів. Для цього при розробці методики побудови математичної моделі використані сучасні методи моделювання із застосуванням ЕОМ.

Nowadays mathematical modeling of complex technological processes has acquired wide application. The right choice of a technique for carrying out experiments on physical and mathematical models of the researched modular centrifugal systems for processing coal should result in adequacy of the data of modeling and to the reduction of time for carrying out the experiments to a minimum. For this purpose the modern computer-based methods of modeling are used for developing a technique of construction of the mathematical model.

**Постановка проблеми.** В настоящее время бурно развивается методология математического моделирования и вычислительного эксперимента. Сущность этой методологии состоит в замене исходного объекта из различных сфер жизнедеятельности человечества его математической моделью и её исследование с применением современных вычислительных средств. Без применения этой методологии в развитых странах не реализуется ни один крупномасштабный технологический, экологический или экономический проект [1 – 3].

Разрабатываемые модульные центробежные системы переработки углей трудно поддаются теоретическим методам исследования в нужной полноте и точности, поэтому проводятся в больших количествах натурные эксперименты, на которые требуется продолжительное время и большие экономические затраты. Вычислительный эксперимент позволяет провести исследование более быстро и дешево.

Применяемые в данное время методики проведения математического моделирования модульных центробежных систем переработки углей, например, центробежных классификаторов [4, 5] и гидроциклонов [6, 7], имеют возможность усовершенствования и переработки, благодаря развитию аппаратной части ЭВМ и прикладного программного обеспечения, которые значительно расширили возможности их математического моделирования.

**Анализ литературы.** Основу математического моделирования составляет триада “модель – алгоритм – программа” [1].

На первом этапе вычислительного эксперимента строится модель исследуемого объекта, отражающая в математической форме важнейшие его свойства – законы, которым он подчиняется и связи, присущие составляющим его частям. Она исследуется традиционными аналитическими средствами прикладной математики для получения предварительных знаний об объекте. Математические модели реальных исследуемых процессов сложны и включают системы нелинейных функционально-дифференциальных уравнений или уравнений с частными производными [4 – 7].

На втором этапе для реализации модели на компьютере разрабатывается вычислительный алгоритм, который должен обеспечить нахождение искомым величин с заданной точностью. Этот алгоритм не должен искажать основные свойства модели физического объекта и должен быть адаптирован к особенностям решаемых задач средствами вычислительной техники.

На третьем этапе создается программное обеспечение для реализации математической модели и алгоритма на компьютере. Программный продукт должен учитывать многовариантность расчетов. Это подразумевает использование имеющихся прикладных комплексов и пакетов или разрабатываемых программ.

Успех математического моделирования определяется глубокой проработкой всех трех этапов вычислительного эксперимента.

**Цель статьи.** Разработка методики проведения вычислительного эксперимента с использованием теоретических и экспериментальных способов научных исследований модульных центробежных систем переработки углей.

**1. Модель исследуемого объекта.** Для исследуемого объекта сначала строится математическая модель. В случае невозможности её исследования традиционными методами прикладной математики осуществляем модельные упрощения. При этом проводим исследования на более простых, содержательных по отношению к исходной модели задачах [1].

Для математической модели, описывающей процессы, происходящие в модульных центробежных системах переработки углей, в качестве базовой модели выбираем детерминистскую модель [7]. При этом рассматриваем сложную траекторию движения суспензии в исследуемых аппаратах как взаимодействие жидкости и среднестатистической твердой частицы в потоке жидкости. В связи со сложностью процессов

движения суспензии в центробежных аппаратах детерминистская модель дополняется стохастической, а случайные воздействия на происходящий процесс учитываются двумя способами – как за счет стесненности движения, так и за счет разброса результатов расчета детерминистской модели.

**2. Описание методики вычислительного эксперимента.** Теоретические и экспериментальные исследования обладают большой степенью автономности. Но в условиях, когда фундаментальные модели известны и апробированы, возможно их более тесное взаимодействие. Речь идет о новой объединяющей технологии научных исследований, на основе математического моделирования и вычислительного эксперимента [1].

При проведении вычислительного эксперимента используется разработанная в НТУ «ХПИ» математическая модель [5, 7]. Она базируется на известных фундаментальных моделях. Вначале строится простая, но достаточно содержательная, а затем и полная с точки зрения описания исследуемых процессов и близости к экспериментальным данным модель. В процессе проведения вычислительного эксперимента, модель уточняется и учитываются все новые влияющие на неё факторы.

Для проведения вычислительного эксперимента с модульными центробежными системами для переработки углей предлагается следующая последовательность действий:

1. Задание начальных условий для вычислительного эксперимента.
2. Выбор плана проведения многофакторного эксперимента, влияющих факторов и интервалов их варьирования. При этом для каждого экспериментального исследования проводится статистическая обработка опытных данных. Количественная оценка влияющих факторов применяется для построения эмпирических зависимостей, интерполирующих с той или иной точностью экспериментальные данные.
3. Математическое моделирование на ЭВМ. С помощью численных методов на ЭВМ исследуются сложные нелинейные многопараметрические модели [3]. В отличие от аналитического решения, которое может давать явную параметрическую зависимость решения от тех или иных условий задачи, при численном решении требуется многократное её решение с изменением того или иного параметра. Но при этом возможно получить численное решение и для задач, не имеющих аналитического решения.
4. Физическое моделирование на реальной установке.
5. Верификация данных математического и физического моделирования. При одинаковых начальных параметрах для физической и математической моделей производится сравнение данных эффективности классификации. Если данные адекватны, то разрешается оптимизация параметров, иначе уточняются коэффициенты математической модели.
6. Оптимизация параметров моделирования. Производится нахождение экстремумов целевой функции для выявления оптимальных параметров и режимов работы исследуемых аппаратов.

Выше предложенная методика предполагает итерационный процесс, при котором в случае неадекватности результатов этапа моделирования с результатами физической модели уточняются параметры и коэффициенты математической модели или изменяются условия проведения опытов на этапе планирования эксперимента с привлечением основ математической теории оптимального эксперимента и математической теории планирования эксперимента [8, 9].

### **3. Программное обеспечение для реализации модели и алгоритма на компьютере.**

Вычислительный эксперимент характеризуется двумя особенностями: многовариантностью расчетов в рамках фиксированной математической модели и многомодельностью [1].

Программное обеспечение вычислительного эксперимента базируется на использовании комплексов и пакетов прикладных программ. Они рассматриваются как технология для решения задач и позволяют резко поднять производительность труда исследователей. Но в наибольшей степени особенности вычислительного эксперимента учитываются при создании собственного программного продукта с использованием объектно-ориентированного программирования.

**Выводы.** Разработанная методика вычислительного эксперимента позволяет:

1. С новых позиций рассмотреть методологию научных исследований сложных математических моделей с применением ЭВМ.
2. Создавать сложнейшие математические модели с более тесным взаимодействием экспериментальных и теоретических исследований.
3. При помощи математического моделирования модульных центробежных систем по переработке углей получить оптимальные конструктивные и технологические параметры работы аппаратов.

**Список литературы:** 1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 320 с. 2. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. XXI. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 496 с. 3. Рубинштейн Ю.Б., Волков Л.А. Математические методы в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра, 1987. – 296 с. 4. Никитин Н.И., Поворозюк А.И. Математические закономерности движения угольной суспензии в центробежном поле // Уголь Украины. – К.: Техніка, 2001. – № 4. – С. 50 – 52. 5. Никитин Н.И. Математическая модель движения суспензии в центробежном классификаторе. Ее реализация на персональной ЭВМ // Кокс и химия. – 1998. – № 4. – С. 6 – 10. 6. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1978. – 232 с. 7. Никитин Н.И., Поворозюк А.И., Ивашико А.В. Закономерности движения твердых частиц угольной суспензии в центробежном поле гидроциклона // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – № 19. – С. 111 – 114. 8. Блохин В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с. 9. Ермаков С.М. Математическая теория планирования эксперимента. – М.: Наука, 1983. – 392 с.

*Поступила в редакцию 15.09.2005*