УДК 543.082:54

Д.С.ЛЕВАШОВ
Горно-электромеханический факультет,
аспирант кафедры автоматизации производственных процессов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОИЗОТОПНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПЛОТНОСТИ И ФАЗОВОГО СОСТАВА ПОТОКА НЕФТИ

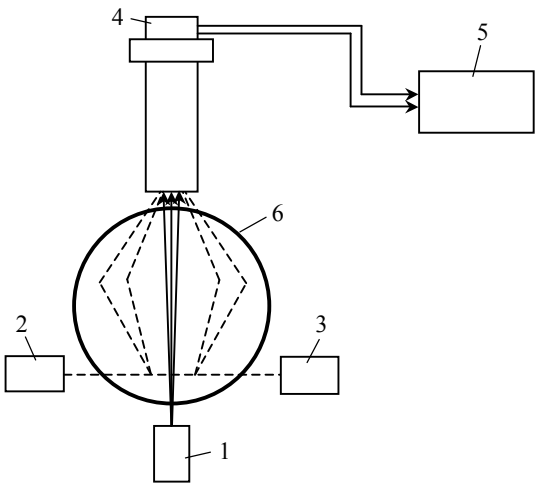
В статье рассматривается радиоизотопный прибор для измерения плотности и фазового состава потоков в магистральных нефтепроводах. Прибор использует прямое излучение и рассеянный в пространстве пучок гамма-излучения для получения информации о составе потока (наличие свободного газа, воды, сгустков и твердых примесей) во всем сечении трубопровода. Описана процедура моделирования таких пучков излучения методом Монте-Карло: допущения, принимаемые при моделировании, и последовательность операций. Дальнейшие предполагаемые результаты работы – определение пространственного распределения рассеянного излучения в трубопроводе и распределения регистрируемого излучения по энергиям.

The article studies a radioisotope device to measure density and phase composition of flows in oil pipelines. The device uses direct radiation and scattered gamma-ray beam to collect data on flow composition (presence of free gas, water, concentrations and solid impurities) in the entire pipeline profile. Application of the Monte-Carlo method to simulate such radiation beams is described as well as admissions accepted in simulation and the operation sequence. Expected results of further investigation are determination of the scattered beam spatial dispersion in the pipeline and distribution of the registered radiation according to energies.

Радиоизотопные измерительные системы давно применяются в нефтяной промышленности. В последнее время разработка таких систем приобрела особую важность в связи с проблемой нематериальных потерь нефти.

Чувствительным элементом прибора бесконтактного измерения плотности и фазового состава потоков нефти в магистральных нефтепроводах является трехлучевой радиоизотопный первичный преобразователь (РПП)*. Блок-схема РПП (см. рисунок) состоит из трех коллимированных источников гамма-излучения 1, 2, 3 и сцинтилляционного блока детектирования 4, расположенных в одном и том же поперечном сечении трубопровода 6. Обработка информации производится в вычислительном устройстве 5.

Источник 1 установлен соосно с детектором, формируемый им пучок излучения, проходя через трубопровод с контролируемым потоком, попадает в кристалл сцинтиллятора. Два других источника (2 и 3) расположены таким образом, что излучаемые ими фотоны не попадают в детектор без взаимодействия с контролируемой средой. Излуче-



Расположение блоков РПП

* Патент 20986955 РФ. Способ измерения параметров газожидкостного потока / В.А.Кратиров, М.М.Гареев, И.И.Логоша, Е.В.Исаев. Опубл. 10.08.1997.

ние рассеивается стенками трубопровода и контролируемой жидкостью, в результате чего формируется широкий пучок гамма-излучения, позволяющий контролировать практически все сечение потока. Рассеянное излучение, прошедшее через контролируемую среду, также регистрируется сцинтилляционным детектором. Сигналы, соответствующие прямому и рассеянному пучкам, лежат в разных областях спектра и поэтому регистрируются независимо. Комбинированное использование как прямого, так и рассеянного пучка позволяет измерять плотность и фазовый состав потока независимо от его химического состава.

В настоящее время взаимное расположение источников ионизирующего излучения выбирается произвольно, исходя из того, что рассеянный пучок гамма-излучения должен формироваться в нижней части стенки трубопровода. Расчетов оптимального расположения источников по вертикали и угла между осями блока детектирования и источниками излучения не проводилось. Математическое моделирование позволит рассчитать эти точки для более полного использования возможностей радиоизотопного прибора.

Процесс формирования многократно рассеянного излучения весьма сложен и не описывается точными аналитическими выражениями. Поэтому для расчета характеристик прибора применяется метод Монте-Карло.

Моделирование должно осуществляться при следующих допущениях:

- излучение источника считается моноэнергетическим с энергией 661 кэВ. Источник считается точечным. Рассеяние гамма-излучения в самом источнике не учитывается;
- угловое распределение первичного излучения считается равномерным в пределах угла коллимации источника. Защита источника считается абсолютной (т.е. излучение вне угла коллимации не учитывается);
- рассеяние гамма-излучения в воздухе не учитывается;
- рассматривается не более чем 25-кратное рассеяние фотонов в среде.

Последовательность операций при расчетах следующая:

1. Моделируются углы выхода фотона из источника и вычисляются координаты точки входа в контролируемую среду.

2. Моделируется длина свободного пробега фотона в среде и определяются координаты точки взаимодействия. Если координаты лежат вне контролируемой среды, это означает, что фотон прошел сквозь среду. Для такого фотона выполняется проверка, пересекается ли его траектория с входным окном детектора. В случае пересечения он считается зарегистрированным, в противном случае – потерянным. После этого выполняется переход к п.1 и начинается аналогичный цикл для следующего фотона.

3. Исходя из сечений фотопоглощения и комптоновского рассеяния для данной среды при данной энергии фотона, определяется характер взаимодействия (поглощение или рассеяние). Если фотон поглотился, то текущий цикл завершается и выполняется переход к п.1.

4. Моделируются углы рассеяния и энергия рассеянного фотона.

5. Выполняется переход к п.2.

Условием окончания вычислений является достижение требуемой статистической погрешности, которая оценивается как

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{N}},$$

где N – число зарегистрированных фотонов.

Для фотонов, попавших в детектор, осуществляется запись энергии и координат всех точек взаимодействия в файл на жестком диске компьютера. Это позволяет получить пространственное распределение излучения в контролируемой среде и энергетический спектр регистрируемого излучения.

Результатами вычислений будут пространственное распределение рассеянного излучения в трубопроводе и распределение регистрируемого излучения по энергиям (энергетический спектр).

Научный руководитель д.т.н. проф. *Р.М.Проскуряков*