

6. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
7. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
8. Евдокимов, И.Н. Молекулярные механизмы вязкости жидкости и газа. Основные понятия / И.Н. Евдокимов, Н.Ю. Елисеев. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – Ч.1. – 59 с.
9. Бурцев, С.И. Влажный воздух. Состав и свойства: учеб. пособ / С.И. Бурцев, Ю.Н. Цветков. – Санкт-Петербург: СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.
10. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л.: Химия, 1982. – 592 с.

**УДК 622. 742:621. 926:621.3. 06**

Д-р техн. наук Е.С. Лапшин  
(ИГТМ НАН Украины им. Н.С. Полякова)

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ШАРА ПРИ ВИБРОУДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Визначено час зволоження кулі, яка під віброударним впливом здійснює стохастичні обертання на поверхні, що просіває. Рішення отримано на основі аналізу випадкового блукання на сфері з використанням методу Монте-Карло. Наведені приклади чисельного моделювання.

## **METHOD DEFINITION OF THE TIME OF MOISTENING STOCHASTICALLY A GYRATING SPHERE AT VIBROIMPACT EFFECT**

The time of moistening of a sphere which under vibroimpact effect makes stochastic twirls on the deck. The solution is gained on the basis of the assaying of a random walk on sphere with use of a Monte-Carlo method. Instances of a numerical modeling are resulted.

При вибрационном тонком и сверхтонком грохочении влажного сырья одна из основных проблем – залипание отверстий просеивающей поверхности и комкование сырья, приводящие к снижению эффективности и производительности. Обзор путей ее решения приведен в работах [1, 2]. Представляется перспективным воздействие на просеивающую поверхность и сырье дополнительными импульсами, которые создаются за счет шаров, перемещающихся в виброударном режиме. При реализации этого способа важно знать время, за которое шар покрывается жидкостью, ибо оно характеризует продолжительность переходного процесса перемещения жидкости, влияющее на кинетику грохочения. В этой связи цель работы - разработка метода определения времени увлажнения шара при виброударном воздействии.

Видеозапись показала, что в режиме вибротранспортирования с подбрасыванием, шар совершает пространственные стохастические вращения, в результате которых он покрывается жидкостью. Поместим в центр шара сферическую систему координат (рис.1), в которой положение точки контакта с просеивающей поверхностью определяется радиусом  $\rho$ , азимутальным  $\varphi$  и  $\theta$  полярным углом.

Для конкретной точки условимся координаты записывать с индексом, соответствующим обозначению точки. Для упрощения вычислений будем считать, что шар неподвижен, а по его поверхности случайным образом перемещается точка. Таким образом, будем рассматривать случайное блуждание точки по

сфере. Примем, что сфера имеет единичный радиус. При блуждании меняются только координаты  $\varphi$  и  $\theta$ .

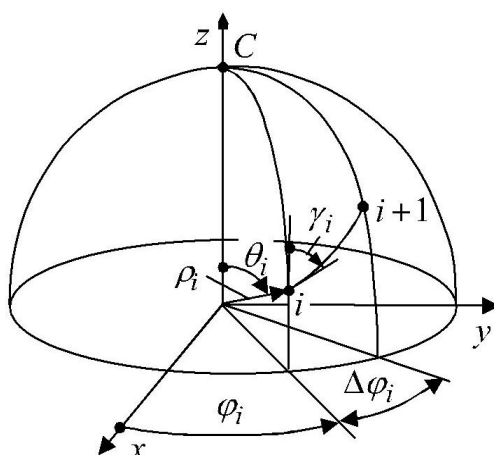


Рис. 1 – Расчетная схема при описании случайного блуждания на сфере

Пусть точка  $i$  имеет координаты  $\varphi_i$  и  $\theta_i$ . При очередном падении шара точка переместится в положение  $(i+1)$ . Математическое ожидание длины дуги  $i(i+1)$  (в радианах) назовем шагом блуждания  $\lambda$ . Шаг может быть совершен под произвольным углом  $\gamma_i$  к меридиану. Примем, что  $\gamma_i$  имеет равномерное распределение в интервале от 0 до  $2\pi$ . Необходимо определить координаты точки  $i+1$ .

Из сферического треугольника  $iC(i+1)$  следует, что длины дуг (в радианах) связаны с координатами следующим образом:

$$iC = \theta_i, \quad i(i+1) = \lambda, \quad (i+1)C = \theta_{i+1},$$

а сферический угол  $iC(i+1)$  равен двугранному углу  $\Delta\varphi_i$ . Таким образом, необходимо найти элементы сферического треугольника по известным сторонам  $iC$ ,  $i(i+1)$  и углу  $\gamma_i$  между ними. На основании теоремы косинусов и формулы синусов имеем [3]

$$\theta_{i+1} = \arccos(\cos \theta_i \cos 2\pi\lambda^* + \sin \theta_i \sin 2\pi\lambda^* \cos \gamma_i), \quad (1)$$

$$\Delta\varphi_i = \arcsin(\sin \gamma_i \sin 2\pi\lambda^* / \sin \theta_{i+1}),$$

$$\varphi_{i+1} = \varphi_i + \Delta\varphi_i, \quad (2)$$

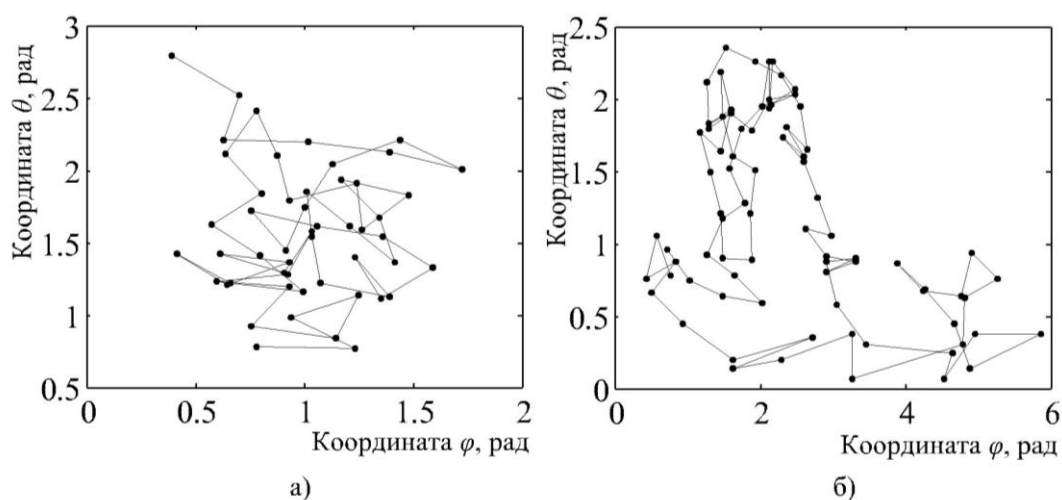
где  $\lambda^*$  – относительный шаг блуждания равный  $\lambda/2\pi$ .

Полученные формулы позволяют вычислить координаты точки  $(i+1)$  при изменении направления шага блуждания.

Случайное блуждание моделировалось методом Монте-Карло. Примем, что  $\gamma_i$  имеет равномерное распределение в интервале от 0 до  $2\pi$ . Генератор слу-

чайных чисел задает координаты  $\varphi_1$ ,  $\theta_1$  и угол  $\gamma_1$ . По формулам (1, 2) вычисляются координаты  $\varphi_2$  и  $\theta_2$ . Далее генератор случайных чисел задает следующее значение для угла  $\gamma_2$  и вычисления повторяются. Подобная процедура выполняется для последующих значений  $\gamma_i$  ( $i = 2 \dots I$ ) до тех пор, пока не будет обеспечено попадание точек с заданной плотностью в различные области сферы.

На рис. 2 в качестве примера приведены траектории случайного блуждания при  $\lambda^* = 0,05$ , из которого следует, что с увеличением  $I$  количества шагов область, занятая точками, увеличивается, т. е. область шара, покрытая жидкостью, возрастает.



а) и б) –  $I = 50$  и  $80$

Рис. 2 – Траектории случайного блуждания при  $\lambda^* = 0,05$

Плотность распределения точек при случайном блуждании оценивалась их количеством, приходящимся на площадь сферического двуугольника и шарового слоя (их назовем контрольными областями)

$$\begin{aligned} S_u &= 2\pi R^2 \Delta\varphi, \\ S_h &= 2\pi R h_s, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Delta\varphi$  – угол;  $h_s$  – высота шарового слоя.

Как видно из (3), площадь сферического двуугольника не зависит от текущего значения азимутального угла.

Рассмотрим влияние приращения полярного угла на площадь шарового слоя. Пусть задано сечение с полярным углом  $\theta_i$ . Если угол получил приращение  $\Delta\theta$ , то высота шарового слоя, с координатами  $\theta_i$  и  $\theta_i + \Delta\theta$  запишется так

$$h_s = R [\cos(\theta_i + \Delta\theta) - \cos\theta_i].$$

Отсюда следует, что для сохранения площади шарового слоя необходимо с изменением  $\theta_i$  также изменять  $\Delta\theta$  таким образом, чтобы удовлетворялось равенство

$$\cos(\theta_i + \Delta\theta) = \cos\theta_i + h_0/R, \quad (4)$$

где  $h_0$  – заданная постоянная.

Вычисления прекращают, когда совершается такое количество шагов, при котором в одной или в нескольких контрольных областях находится по одной точке, при этом в остальных может их быть и больше. Это количество шагов обозначим  $I_0$ . Иными словами,  $I_0$  – количество падений шара на просеивающую поверхность, при которых вся его поверхность будет покрыта жидкостью.

Для иллюстрации сказанного на рис. 3 представлены гистограммы, характеризующие распределение точек, причем интервалы по азимуту изменялись в соответствии с условием (4). Из них следует, что при количестве шагов 20 имеются «сухие» области, и только при 210 они отсутствуют.

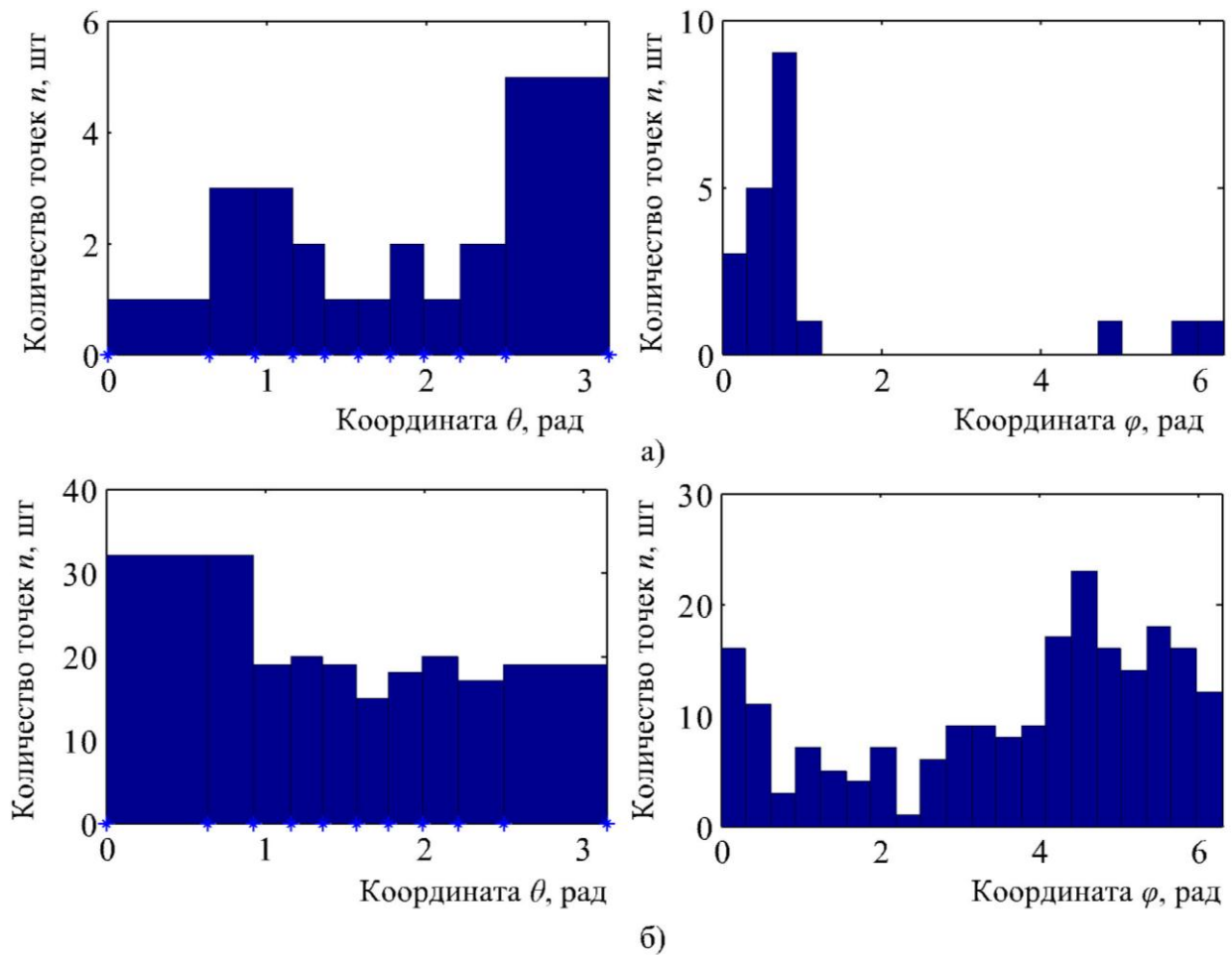
На рис. 4 приведена зависимость  $I_0$  от величины относительного шага  $\lambda^*$  случайного блуждания, полученная в результате численных экспериментов. С увеличением шага  $\lambda^*$  значения  $I_0$  уменьшаются.

При режиме вибротранспортирования с однократным подбрасыванием, а именно такой режим наиболее широко используется при грохочении, для совершения  $I_0$  шагов необходимо затратить время

$$t = I_0 T = I_0 / f,$$

где  $T$  и  $f$  – период и частота колебаний.

Разработанный метод планируется использовать в математической программе оптимизации параметров кинетики грохочения влажного сырья.



а), и в) – количество шагов 20 и 210

Рис. 3 – Гистограммы случайного блуждания на сфере при относительном шаге 0,05

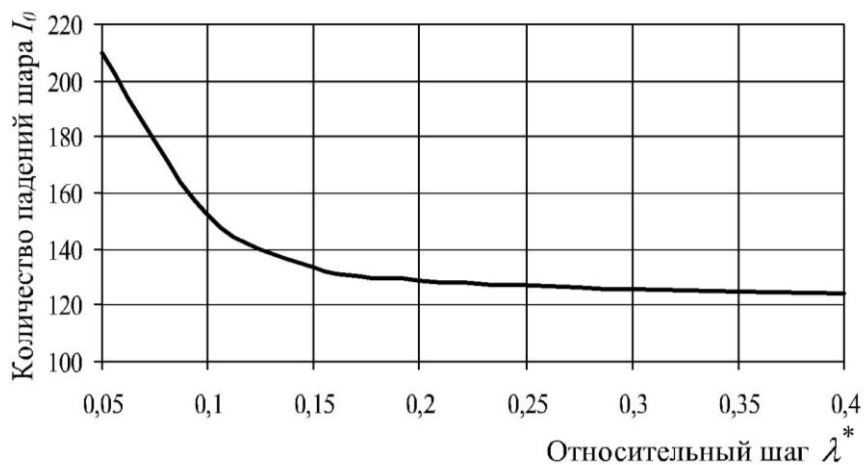


Рис. 4 – Зависимость количества падений шара, при которых он покрывается жидкостью, от относительного шага случайного блуждания

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый, В.П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин. – Киев: Наук. думка, 2005. – 180 с.
2. Вайсберг, Л.А. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкция, материалы, опыт применения / Л.А. Вайсберг, А.Н. Картавий, А.Н. Коровников. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.
3. Кранц, П. Сферическая тригонометрия / П. Кранц. – М.: ЛКИ, 2007. – 96 с.

**УДК 662.6:543.812:536.483:539.143.43**

Канд. физ.-мат. наук А.Н. Молчанов  
(ИФГП НАН Украины)

### **НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УГОЛЬ-ВОДА-МЕТАН**

При низких температурах досліджені фазові переходи води в кристалоподібний стан у пористій структурі ряду вугіль і силікагелів. Запропоновано методику визначення кількості метану й води, сорбованих вугіллям.

### **LOW TEMPERATURE STUDIES OF COAL-WATER-METHANE SYSTEM**

Phase transitions of water in the crystal-like state in the porous structure of a number of coal and silica at low temperatures were investigated. The method for determination of methane and water amount adsorbed in coal was proposed.

Угли в естественных условиях насыщены водой и метаном. При исследовании состояния и количества обоих этих флюидов возникают затруднения, связанные со сложностью их разделения. В таком случае незаменимым оказывается метод ядерного магнитного резонанса (ЯМР) широких линий [1]. Сочетание метода ЯМР и низких температур позволяет оценить влияние пористой структуры и активных центров поверхности на энергию активации  $U_0$  и времена корреляции  $\tau_c$  проще, чем, например, измерения в широком диапазоне температур энтропии [2], диэлектрических потерь на различных частотах, частоты ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) [3].

Из экспериментальных данных по низкотемпературному уширению линии ЯМР от ядер водорода сорбированной воды может быть получена информация об изменении времени корреляции  $\tau_c$ , характеризующего степень подвижности молекул воды. Согласно работе [4], время корреляции молекул  $\tau_c$ , ширины линий  $\Delta H$  и  $\Delta H_0$  при данной температуре и температуре жесткой решетки, соответственно, связаны соотношением:

$$\tau_c = \frac{2\pi}{\alpha\gamma\Delta H} \operatorname{tg} \left[ \frac{\pi}{2} \left( \frac{\Delta H}{\Delta H_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

где  $\tau_c$  – время корреляции молекул;  $\Delta H_0$  – ширина линии замороженной решетки;  $\Delta H$  – ширина линии при данной температуре;  $\alpha = 8\ln 2$ ;  $\gamma = 4258 \text{ с}^{-1}\text{Э}^{-1}$ .