

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛИЯ ПОДАЧИ ПРИ РЕЗАНИИ ГОРНЫХ ПОРОД

Кондрахин В.П. докт. тех. наук, проф., Хиценко А.И., аспирант,
Донецкий национальный технический университет

Предложена имитационная математическая модель формирования усилия подачи при резании горных пород рабочим инструментом горных машин, основанная на представлении процесса в виде потока случайных событий – единичных актов разрушения.

The mathematical model for simulation of process of rock cutting by the working instrument of mining machines is proposed. The model is grounded on its representation by the way of stream of casual events - simple acts of destruction.

Необходимость создания выемочных машин нового технического уровня делает актуальными разработку и использование методов моделирования рабочих процессов и оптимизации параметров. Важной составной частью этих методов является моделирование процесса формирования нагрузок на резцах исполнительных органов. До последнего времени в расчетах и моделях использовались, как правило, только средние значения нагрузки. Особенно это относится к моделированию рабочих процессов проходческих комбайнов.

В настоящее время разработано несколько математических моделей процесса резания угля, позволяющих определять мгновенные значения усилий на гранях резца с учетом случайного характера их формирования [1, 2]. Разработанные методики не могут быть непосредственно использованы для моделирования процесса резания породы, для их реализации необходимо знание значений большого числа параметров, определение которых весьма затруднительно.

В работе [3] предложена имитационная модель процесса формирования усилия резания горных пород резцом горного комбайна, в которой процесс рассматривается в виде последовательности сколов. Данная модель имеет малое количество параметров, требующих идентификации, и в достаточной степени адекватна реальной системе. Полученная таким образом реализация случайных составляющих усилия резания может быть использована для моделирования усилия подачи, так как эти процессы взаимно коррелированы. Так, напри-

мер, полученный при обработке экспериментальных данных коэффициент взаимной корреляции между усилиями резания и подачи при резании песчанистого сланца находится в пределах 0,79-0,88.

Мгновенные значения усилия подачи предлагается определять следующим образом:

$$Y_i = Y_{cp} + k_i(Z_i - Z_{cp}),$$

где Y_{cp} – математическое ожидание усилия подачи;

k_i – мгновенное значение случайной функции, определяемой как отношение случайных составляющих усилия подачи и усилия резания, обусловленных цикличностью процесса хрупко-пластического разрушения породы.

Z_i – мгновенное значение усилия резания;

Z_{cp} – математическое ожидание усилия резания.

Параметр k_i имеет достаточно ясный физический смысл. Он представляет собой тангенс угла наклона вектора случайной составляющей нагрузки на резец по отношению к плоскости резания. Функция k рассматривается как стационарная эргодическая случайная функция пути, пройденного резцом, которая характеризуется законом распределения и автокорреляционной функцией. Таким образом, параметрами моделирования функции k являются параметры закона распределения и автокорреляционной функции.

Для определения параметров и оценки адекватности модели реальному процессу формирования усилия подачи были использованы результаты проведенных авторами экспериментальных исследований процесса резания песчанистого сланца (образец 1) в виде осциллограмм усилий резания и подачи. Резание осуществлялось на экспериментальном стенде, созданном на базе поперечно-строгального станка, оснащенного измерительной аппаратурой. В ходе эксперимента породный блок был неподвижно закреплен на столе станка. Резание производилось тангенциальным поворотным резцом по последовательной схеме с параметрами стружки, характерными для работы проходческого комбайна.

Кроме того, использовались осциллограммы процесса резания песчанистого сланца (образец 2), полученные на кафедре «Горные машины» при исследованиях процесса резания горных пород [4]. Для статистической обработки были отобраны наиболее представительные участки осциллограмм двух уровней среднего значения усилия подачи для каждого образца горной породы, имеющие длину реализации порядка 1 м резания.

В результате статистического анализа установлено, что гистограмма распределения случайной функции k имеет несимметричную форму и плохо описывается известными теоретическими законами. Для установления вида распределения были рассмотрены наиболее часто встречающиеся законы распределения, а именно нормальный, логнормальный, распределения Рэлея и Лапласа. Наибольшая сходимость результатов моделирования усилия подачи с экспериментальными данными была достигнута при использовании распределения Рэлея (рис. 1), которое имеет только один параметр, что упрощает использование модели.

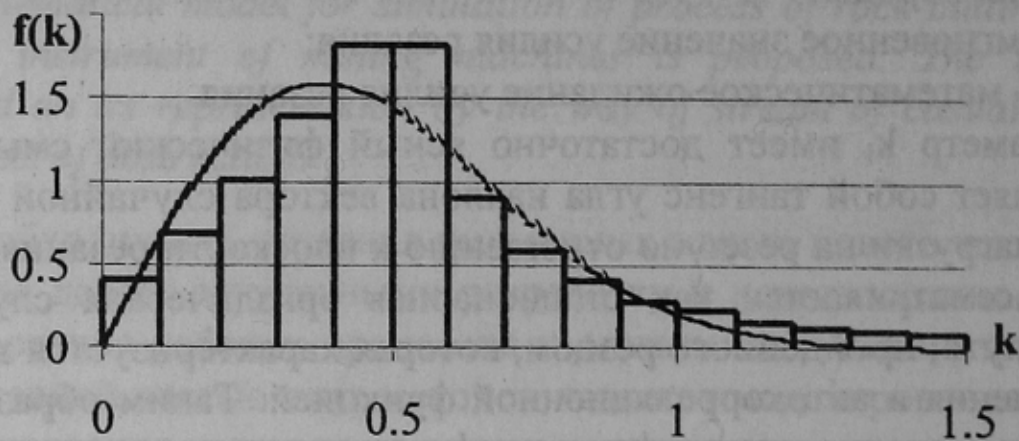


Рисунок 1 – Распределение случайной функции k

Этот параметр определялся методом параметрической идентификации путем сравнения спектральных плотностей реализаций усилий подачи, полученных экспериментально и при моделировании. Критерием сравнения была выбрана величина, равная сумме квадратов отклонений.

По результатам проведенной идентификации получена эмпирическая зависимость параметра σ_0 от отношения средних значений усилий подачи и резания (рис. 2):

$$\sigma_0 = 0,43 \frac{Y_{\text{ср}}}{Z_{\text{ср}}} + 0,11.$$

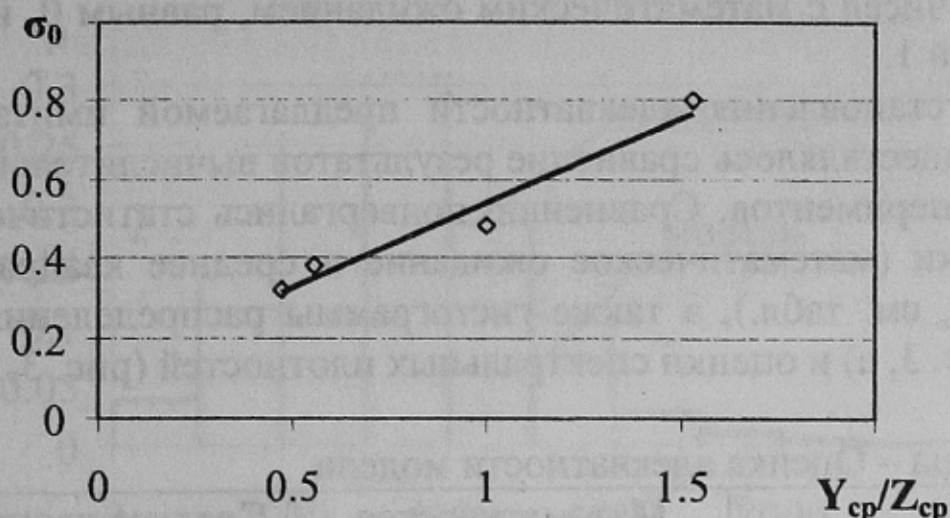


Рисунок 2 – Зависимость параметра распределения Рэлея σ_0 от отношения средних значений усилий подачи и резания

Как показал анализ результатов статистической обработки, нормированная автокорреляционная функция исследуемой случайной функции k может быть аппроксимирована экспонентой

$$r(\lambda) = e^{-\alpha|\lambda|}.$$

В результате идентификации параметра α установлено, что при его изменении в пределах $50 \dots 2000 \text{ м}^{-1}$ результаты моделирования изменяются не значительно. Для имитационного моделирования усилия подачи рекомендуется принимать коэффициент затухания автокорреляционной функции $\alpha = 200 \text{ м}^{-1}$. При этом достигается наибольшее сходство результатов натуральных и вычислительных экспериментов.

Моделирование коэффициента k производится по рекуррентным зависимостям [1]:

$$k[n] = \sigma_0 \sqrt{\xi_1^2[n] + \xi_2^2[n]};$$

$$\xi_1[n] = e^{-\frac{\alpha \Delta l}{2}} \xi_1[n-1] + \sqrt{1 - e^{-\frac{\alpha \Delta l}{2}}} \eta_1[n];$$

$$\xi_2[n] = e^{-\frac{\alpha \Delta l}{2}} \xi_2[n-1] + \sqrt{1 - e^{-\frac{\alpha \Delta l}{2}}} \eta_2[n]$$

где σ_0 – параметр распределения Рэлея;

Δl – шаг моделирования;

$\xi_1[n]$ и $\xi_2[n]$ – независимые нормальные случайные процессы с математическим ожиданием, равным 0, дисперсией, равной 1, и нормированной корреляционной функцией $r_0 = e^{-\frac{\alpha \lambda}{2}}$;

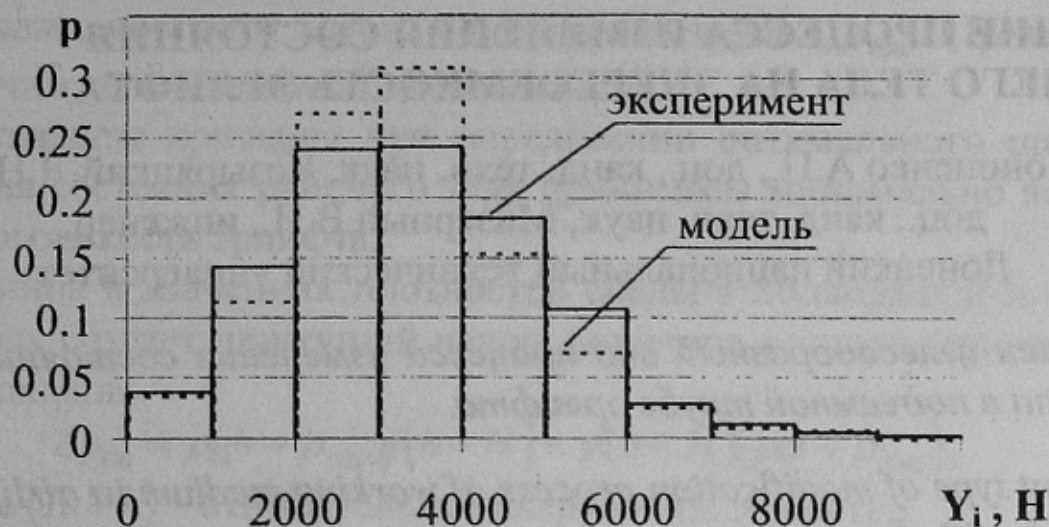
$\eta_1[n]$ и $\eta_2[n]$ – последовательности независимых нормальных случайных чисел с математическим ожиданием, равным 0, и дисперсией, равной 1.

Для установления адекватности предлагаемой имитационной модели осуществлялось сравнение результатов вычислительных и натурных экспериментов. Сравнению подвергались статистические характеристики (математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, см. табл.), а также гистограммы распределения усилий подачи (рис. 3, а) и оценки спектральных плотностей (рис. 3, б).

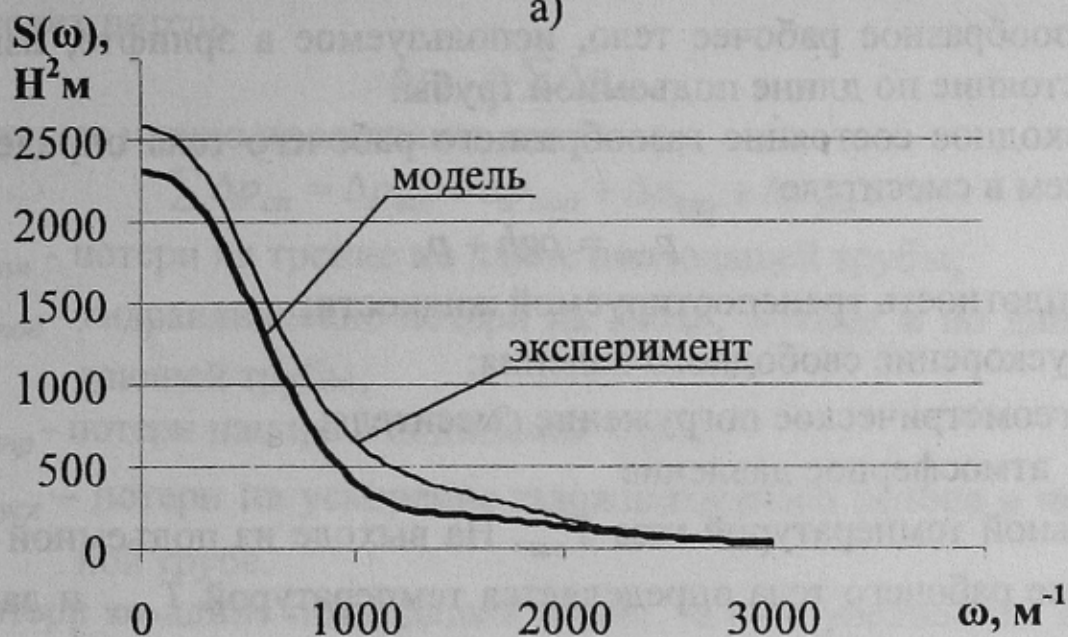
Таблица – Оценка адекватности модели

	Математическое ожидание, Н	Среднее квадратическое отклонение, Н
эксперимент	4550	1518
модель	4570	1425
погрешность, %	1 %	6 %
эксперимент	3620	1012
модель	3579	1056
погрешность, %	1 %	1 %
эксперимент	1600	865
модель	1594	843
погрешность, %	1 %	1 %
эксперимент	3430	1519
модель	3424	1366
погрешность, %	1%	10 %

Как видно из приведенных данных, погрешность моделирования по статистическим характеристикам не превышает 10%. При этом обеспечивается удовлетворительное совпадение спектрального состава и гистограмм распределения исследуемых случайных процессов. Таким образом, можно сделать вывод, что разработанная модель в основном адекватно описывает процесс формирования усилия подачи на резце исполнительного органа горного комбайна и может использоваться при расчетах подсистем выемочных машин и при составлении математических моделей их рабочих процессов.



а)



б)

Рисунок 3 – Гистограммы распределения (а) и оценки спектральных плотностей (б) усилия подачи при эксперименте и моделировании процесса резания песчанистого сланца ($Y_{ср} = 3620 \text{ Н}$)

Список источников.

1. Моделирование разрушения углей режущими инструментами // М. : Наука, 1981. - 181с.
2. Бойко Н.Г., Кочергин Е.В. Формирование усилия на задней грани при разрушении массива и определение его параметров // Известия вузов. Горный журнал, 1984. - №4. - с.84-88
3. Кондрахин В.П., Осипенко А.И. Имитационное моделирование процесса формирования нагрузок на резцах при резании горных пород. - Донецк: Сб. "Наукові праці Донецького державного технічного університету". - Вып. 16, 2000. - с. 161 - 168.
4. Афендииков Н.Г. Выбор рациональных параметров очистных комбайнов со шнековыми исполнительными органами для работы в сложных условиях по зарубаемости. - Дис. ... канд. техн. наук. - Донецк, 1980. - 202 с.