

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТАКТА БУРОВОГО ДОЛОТА С ГОРНОЙ ПОРОДОЙ

Ж.Б. ТОШОВ, декан электроэнергетического факультета, д.т.н., проф.
Л.Г.ТОШНИЁЗОВ, ген. директор компании Азия Ташкент Текстиль, PhD,
М.С.ЭШОНКУЛОВ, магистрант

*Ташкентский государственный технический университет,
 Ташкент, Узбекистан*

Аннотация

В работе проведен анализ методики разработки математического моделирования контакта бурового долота с горной породой, анализ взаимодействия породоразрушающего инструмента с горной породой в процессе бурения с использованием программы ANSYS, функционирующая на основе методов численного моделирования. Изучены и выявлены преимущества использования численного метода анализа напряженно-деформированного состояния трехшарошечного долота во взаимодействии с горной породой с использованием модели Джонсона Кука. Определено напряженно-деформационное состояние среды при пределе текучести материала в виде некоторой функции от деформации, скорости деформации и температуры.

Ключевые слова: бурение, буровое долото, горная порода, моделирование, кинематика, ANSYS, скважина, деформация, температура, скорость.

Введение. За последние годы в стране заметно увеличены работы по освоению новых месторождений, объем горных работ по добычи полезных ископаемых, на которых требуется внедрение передовых практических мероприятий. По развитию экономики Республики Узбекистан, отмечена необходимость поддержания макроэкономической стабильности и высоких темпов экономического роста [1], в частности, для повышения конкурентоспособности национальной экономики особое значение приобретает повышение объема добычи полезных ископаемых при открытом способе разработки, уменьшение себестоимости готовой продукции и достижение увеличения годового объема производства продукции.

Бурение скважин в отраслях промышленности, угольной, горной, строительной или нефтегазовой невозможно представить без буровых долот, которые осуществляют разрушения породы для ее дальнейшей обработки.

Для реализации политики стимулирования локализации производства в Узбекистане проводятся ряд мероприятий для поднятия в настоящее время на новый экономический уровень горно-металлургическую промышленность.

Увеличение объемов горных работ и исследование геологоразведочных работ горной, а также нефти и газа соответственно увеличивают потребность на буровые агрегаты в том числе на буровые инструменты. Это обстоятельство в своей очереди обеспечение качественными буровыми инструментами становится актуальным в настоящее время является вопрос, хотя бы, частичном замещении буровых инструментов собственного производства.

В Узбекистане частично реализуется и открывается новые предприятия по производстве буровых работ, а также образовались научные школы по разработке и конструирования новых модификаций энергоэффективных буровых долот различного типа в зависимости от отраслей применения [2]. Поэтому изучения проблем буровых работ и

решения их с использованием менее затратными методами является актуальной проблемой науки, решение которой способствует повышению экономической эффективности работы крупных горнопромышленных предприятий

Основная часть. Исследование взаимодействия долота с забоем скважин должно опираться на закономерности процесса разрушения горных пород и кинематику движения зубков и венцов шарошек долота.

Процесс моделирования породоразрушающего инструмента во взаимодействии с горной породой является сложным и поэтому многие ученые в своих исследовательских работах пренебрегали некоторыми параметрами во время исследований. В основном пренебреженными были давление, температура, буровая жидкость, износ резца, а также было использовано линейное резание для более удобного представления контакта.

Моделирование горных пород в среде ANSYS производится различными способами в зависимости от поставленной задачи и усмотрению пользователя. В программе ANSYS по стандарту используется критерии прочности Мора-Кулона, другие используют критерии Друкера-Прагера. Модель Друкера-Прагера и Мора-Кулона используются для представления поведения горных пород, в которых поведение когезии и уплотнения приводит к увеличению сопротивления сдвигу до предельного значения предела текучести при увеличении нагрузки [3]. Прочности на сжатие и растяжение породы требуются для анализа объекта.

В данном исследовании преимущественно был использован численный метод исследования, включающий анализ напряженно деформированного состояния трехшарошечного долота во взаимодействии с горной породой с использованием модели Джонсона Кука. Инженерная программа ANSYS, использующая метод конечных элементов, который обеспечивает разумные оценки силы контакта и может отразить соответствующую фрагментацию и ее пошаговый прогресс, была использована как основной инструмент данной работы.

На практике, для решения задач динамики процесса бурения с помощью численного моделирования используются в основном определенные эмпирические модули. Задачи определения напряженно-деформационного состояния среды при пределе текучести вычисляются в виде некоторой функции от деформации, скорости деформации и температуры [4].

$$\sigma = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T) \quad (1)$$

Решение функции с высокой точностью, подходящую для различных динамических процессов, позволяет оценить динамику физического процесса взаимодействия элементов бурового долота с горной породой.

Часто в большинстве эмпирических моделях указанная выше функция напряжения принимается как произведение:

$$\sigma = f_1(\varepsilon) \cdot f_2(\dot{\varepsilon}) \cdot f_3(T). \quad (2)$$

где f_1, f_2, f_3 - комбинированная функция линейного, степенного, экспоненциального представления:

ε - деформации;

$\dot{\varepsilon}$ - скорости деформации;

T - температуры.

Самой известной из этих моделей, полученных эмпирическим путем, является модель Джонсона-Кука, который позволяет определить температурно-зависимые вязкопластические реакции породы, в котором наложены три эффекта:

- 1) эффект деформационного упрочнения
- 2) чувствительность к скорости деформации
- 3) эффекты изменения температуры.

Общая формула модели имеет следующий вид [5]:

$$\sigma_p = (A + B\varepsilon_p^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}_p) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (3)$$

путем изменения части формулы (2.3), характеризующую температурный эффект, модель Джонсона-Кука также может быть выражена в следующем виде:

$$\sigma_p = (A + B\varepsilon_p^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon})[1 - D(T - T_0)], \quad (4)$$

$$\sigma_p = (A + B\varepsilon^n)(1 + C \ln \dot{\varepsilon}^*) \exp \left[-D \left(\frac{T - T_r}{T_m} \right) \right]. \quad (5)$$

Как известно, согласно ряду Тейлора, логарифмическая функция выражается через $\ln(x+1) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{x^n}{n}$, $-1 \leq x \leq 1$. Если применить эту формулу к модели (3), то получится следующее выражение [6]:

$$\sigma_p = (A + B\varepsilon_p^n) \left(1 + C \left(\dot{\varepsilon}_p - 1 - \frac{(\dot{\varepsilon}_p - 1)^2}{2} + O(\dot{\varepsilon}_p^3) \right) \right) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right], 0 < \dot{\varepsilon}_p \leq 1 \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет с высокой точностью рассчитать напряженно-деформированное состояние породы.

Аналогично, применительно к влиянию скорости деформации эту модель можно выразить в виде одного из следующих случаев:

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \left(1 + C_1 \ln \dot{\varepsilon} + C_2 \ln \dot{\varepsilon}^2 \right) \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right], \quad (7)$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \dot{\varepsilon}^C \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right], \quad (8)$$

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \left(1 + \frac{\dot{\varepsilon}}{C} \right)^{\frac{1}{p}} \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right], \quad (9)$$

где ε^n - эффективная пластическая деформация, T_m - температура плавления, T_r - комнатная температура, A - предел текучести материала при комнатной температуры A, B, C, n, m - параметры модели. Если параметр D становится равным единице:

$$D = \frac{1}{\varepsilon_f} \sum_i \Delta \varepsilon_p^i, \quad (10)$$

где $\Delta \varepsilon_p^i$ приращение эффективной пластической деформации, ε_f вычисляется по формуле

$$\varepsilon_f = \left(D_1 + D_2 \exp \left(D_3 \frac{p}{\sigma_{ef}} \right) \right) \left(1 + D_4 \ln \frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_0} \right) \left(1 + D_5 \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right), \quad (11)$$

где $D_1, \dots, D_5$ - параметры материала; σ_{ef} - эффективное напряжение; p - давление в рассматриваемом элементе. Элемент разрушается при $D \geq 1$.

Из основных упущений модели можно считать ее эмпирическую основу и отсутствие связи между скоростью деформации и температурой в процессе пластической деформации. Кроме этого к недостаткам также можно отнести представления характеристик упрочнения всех видов материалов. Линейная функция от логарифма скорости деформации представляющая скоростное упрочнение в модели не может давать точного значения предела текучести при различных скоростях деформации в связи с изменением скорости деформации в распространенных пластичных материалах. В уравнении Джонсона Кука, предел текучести материала линейно связан с логарифмом скорости деформации, а это свою очередь не может быть справедливым для всех пластичных материалов.

Как выше отмечено, одним из недостатков модели Джонсона-Кука является то, что не учитывается зависимость между температурой и скоростью деформации при пластической деформации. В нашем исследовании эта взаимосвязь была учтена с использованием следующей формулы для преодоления этого недостатка:

$$T = \eta \frac{\sigma_{ij} \dot{\epsilon}_{p ij}}{\rho C_v} \quad (12)$$

В этом случае, состояние пластического напряжения должно быть выражено взаимосвязью следующего вида:

$$\sigma_p = f_2(\dot{\epsilon}_p, T)(1 + f_1(\epsilon_p, T) \cdot f_3(T)). \quad (13)$$

Максимальная температура в зоне взаимодействия снижается с 209 °С от одинарного размещения зубцов на периферийном венце шарошки долота до 142 °С парного расположения, т.е. мы имеем возможность сэкономить 32% тепла с учетом уравнений (12) и (14) в случае контакта парных зубцов долота с горной породой.

Параметры модели в различных представлениях модели Джонсона-Кука, приведенные выше A, B, c, n, m , экспериментально определяются составом породы [7]. В частности, для стали, сплава и известняка были приняты значения приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Параметры исследуемого объекта			
Параметр модели материала	Конструкционная сталь	вольфрам карбида	Известняк
A, МПа	2100	3000	10
B, МПа	1750	1890	60
n	0,0028	0,65	0,26
C	0,065	0,04	0,0127
m	0,075	1,26	0,0031

Необходимое осевое усилие P_{oc} (кН) подачи на долото с диаметром D для разрушения породы крепостью f можно определить по формуле [8, 9]:

$$P_{oc} = 10^{-2} K f D = 10^{-3} K \sigma_{сж} D, \quad (14)$$

где $\sigma_{сж}$ - предел прочности породы при одноосном сжатии, МПа.

Используя формулу (14), можно будет определить эффективную пластическую деформацию в модели (11), соответствующую требуемому значению осевой нагрузки. В частности, при взаимодействии парных зубцов периферийного венца шарошки долота если осевая нагрузка

составляет $P_{oc} = 200 \text{ кН}$, то по достижению значения угловой скорости долота $\omega = 100 \text{ об/мин} = 1,67 \text{ рад/с}$, общую скорость долота можно увеличить примерно на 15-30%.

Вывод. На основе методики разработки математического моделирования получено уравнение решения функции от деформации, скорости деформации и температуры с высокой точностью, которое позволит оценить динамику физического процесса взаимодействия элементов бурового долота с горной породой.

Теоретически получено уравнение определения взаимосвязи между температурой и скоростью деформации в модели Джонсона – Кука, позволяющее определить значения максимальных температур с интеграцией времени в зоне контакта зубцов с породой. По полученным результатам максимальная температура в зоне взаимодействия снижается с 209 °С от одинарного размещения зубцов на периферийном венце шарошки долота до 142 °С парного расположения, т.е. мы имеем возможность сэкономить 32% тепла с учетом уравнений (13) и (14) в случае контакта парных зубцов долота с горной породой.

Библиографический список

1. Указ Президента Республики Узбекистан “О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022–2026 годы” // Народное слово. - 31 января 2022 года.
2. Toshov J.B., Toshniyozov L.G., Liu Songyong, Research of the stress-strain state of the rock in contact with the elements of the drill bit during drilling. Technical science and innovation Article 17, Vol. 2020, Issue 3, (2020). PP. 112-121 (04.00.00; №6).
3. Кузькин В.А., Михалюк Д.С. Применение численного моделирования для идентификации параметров модели джонсона-кука при высокоскоростном деформировании алюминия // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – № 1. – С. 32-43
4. Ходько А. А. Особенности выбора модели пластичности металла деформируемой заготовки при численном исследовании процесса гидродинамической штамповки. Научно-технический журнал Авиационно-Космическая Техника и Технология, 2014, № 5 (112)
5. Farahani, H.K., Ketabchi, M. & Zangeneh, S. Determination of Johnson–Cook Plasticity Model Parameters for Inconel718. J. of Materi Eng and Perform 26, (2017). –pp. 5284–5293
6. Toshov J.B., Toshniyozov L.G., Research Into The Interaction Of Industrial Tricone Bit’S Buttons With Rock During Drilling. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, No. 11s, (2020). PP. 1591-1596.
7. Подэрри Р.Ю. Механическое оборудование карьеров // Учебник. –Москва, 2007. – 680 с.
8. Hazell, P. J., et al. "Inelastic deformation and failure of tungsten carbide under ballistic-loading conditions." Materials Science and Engineering: A 527.29-30 (2010): 7638-7645.
9. Özel, Tuğrul, and Yiğit Karpat. "Identification of constitutive material model parameters for high-strain rate metal cutting conditions using evolutionary computational algorithms" Materials and manufacturing processes 22.5 (2007): 659-667.

METHOD FOR DEVELOPING MATHEMATICAL MODELING OF DRILL BIT CONTACT WITH ROCK

Information about authors

J.B. TOSHOV, Dean of the electric power faculty, Doctor of technical sciences, prof.
L.G. TOSHNIYOZOV, CEO of Azia Tashkent Textile, PhD
M.S. ESHONKULOV, master-student

Tashkent State Technical University named after I. Karimov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract

The paper analyzes the method for developing mathematical modeling of the drill bit contact with the rock, the analysis of the interaction of the rock cutting tool with the rock during drilling using the ANSYS program, which operates on the basis of numerical modeling methods. The advantages of using a numerical method for analyzing the stress-strain state of a tricone bit in interaction with rock using the Johnson Cook model have been studied and identified. The stress-strain state of the medium at the yield point of the material is determined as a function of strain, strain rate, and temperature.

Key words: drilling, drill bit, rock, modeling, kinematics, ANSYS, borehole, deformation, temperature, velocity.

Reference

1. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan “On the development strategy of New Uzbekistan for 2022–2026” // Narodnoe slovo. - January 31, 2022.
2. Toshov J.B., Toshniyozov L.G., Liu Songyong, Research of the stress-strain state of the rock in contact with the elements of the drill bit during drilling. Technical science and innovation Article 17, Vol. 2020, Issue 3, (2020). PP. 112-121 (04.00.00; No. 6).
3. Kuzkin V.A., Mikhalyuk D.S. Application of numerical simulation to identify the parameters of the Johnson-Cook model for high-speed deformation of aluminum // Computational mechanics of continuous media. - 2010. - No. 1. - P. 32-43

4. Khodko A. A. Features of the choice of the plasticity model of the metal of a deformable workpiece in the numerical study of the process of hydrodynamic stamping. Scientific and technical journal Aerospace Engineering and Technology, 2014, No. 5 (112)
5. Farahani, H.K., Ketabchi, M. & Zangeneh, S. Determination of Johnson–Cook Plasticity Model Parameters for Inconel718. J. of Materi Eng and Perform 26, (2017). –rr. 5284–5293
6. Toshov J.B., Toshniyozov L.G., Research Into The Interaction Of Industrial Tricone Bit’S Buttons With Rock During Drilling. International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29, no. 11s, (2020). PP. 1591-1596.
7. Poderni R.Yu. Mechanical equipment of quarries // Textbook. – Moscow, 2007. – 680 p.
8. Hazell, P. J., et al. "Inelastic deformation and failure of tungsten carbide under ballistic-loading conditions." Materials Science and Engineering: A 527.29-30 (2010): 7638-7645.
9. Özel, Tuğrul, and Yiğit Karpaz. "Identification of constitutive material model parameters for high-strain rate metal cutting conditions using evolutionary computational algorithms" Materials and manufacturing processes 22.5 (2007): 659-667.

THEORETICAL AND PRACTICAL ANALYSIS OF THE IMPROVEMENT OF THE WORKING PARTS OF THE EXCAVATOR BUCKET

L.N. ATAQULOV, Head of the correspondence department, DSc.

Sh.B. HAYDAROV, Department of mining electromechanics, PhD,

*Navoi State Mining and Technological University,
Navoi, Ўзбекистан*

Abstract

This article analyzes from a theoretical and practical point of view that steel cable shovels in the mining industry improve the working bodies of the bucket, and the decrease in productivity is due to the negative consequences of factors arising as a result of weight, friction and reaction forces acting on the excavator bucket during operation and as a result of the installation of the bushing, the service life of the bucket ring increases, and during operation the working body of the excavator comes into contact with rocks, the optimal position of the bucket, depending on the angle of concavity in the mining area of 60 degrees, the influence of forces and the angle between the steel cable lifting the bucket and the horizontal plane 60 degrees or more, it is found that the cooling distance decreases at higher degrees.

Key words: ladle, ring, bushing, concavity angle, steel rope, cooling path, zulfin.

Introduction

The rapid development of the mining industry and the daily growth of the development of the mining industry require the improvement of the quality of mining machinery and equipment, modernization, technical re-equipment, their improvement and repair work in the extraction of minerals and rocks. The technical parameters of mining equipment depend on integrated approaches to technological processes while improving their designs, effective use of new structural materials and control automation systems [6,7].

The factors influencing the technical condition of the buckets of mining excavators are the organization of access to mining operations, the control of the excavator, attention to the technical condition of the excavator, climate, mining and geological conditions, the mass of the mine and the quality of the mining site are the foundations (Fig. 1).