

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АДАПТИВНОЙ БУРИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Лемешко М.А., Дикий Р.В., Волков Р.Ю.

*ФГБОУ ВПО Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)
«Донской государственный технический университет» в г. Шахты Россия (346500, Шахты, ул. Шевченко, д.
147), e-mail: mail@sssu.ru*

Статья посвящена исследованию адаптивного процесса вращательного бурения горных пород, в частности приведен метод моделирования процесса бурения для адаптивной машины, имеющий двухдифференциальную структуру; приведена гидросхема адаптивной бурильной машины, приведены сведения о подходе в моделировании связей условий бурения с показателями процесса бурения, приведены полученные закономерности и графические интерпретации влияния условий вращательного бурения на показатели процесса. При моделировании выполнялись исследования влияния крепости буримой породы на показатели процесса бурения, а также выполнено исследование влияния степени износа режущего инструмента на рабочие характеристики и показатели процесса бурения. Показана возможность исследования методов управления вращательным бурением, а также возможность исследования влияния на показатели бурения геометрии и типа буровой коронки. Показана адекватность модели результатам экспериментальных исследований.

Ключевые слова: моделирование, адаптивный, вращательное бурение, бурильная машина.

SIMULATION OF ADAPTIVE DRILLING MACHINES

Lemeshko M.A., Dikiy R.V., Volkov R.Y.,

*Institute of the service sector and entrepreneurship (branch) DSTU (346500, Rostov reg., Shakhty, Shevchenko Str.,
147), e-mail: mail@sssu.ru*

The article is devoted to the study of the adaptive process of rotary drilling of rocks, in particular a method for simulating the drilling process for an adaptive machine that has two-differential structure; hydroscheme adaptive drilling machines provides information about the approach to modeling relations terms of drilling performance of the drilling process, given the obtained regularities and graphical interpretation of the effect of rotary drilling conditions on the performance of the process. The simulation was carried out to study the influence of castle rock drill on the performance of the drilling process, and also made a study of the influence of the degree of wear of the cutting tool on the operating characteristics and performance of the drilling process. The possibility to study management methods rotary drilling, as well as the possibility to investigate the influence on the performance of the drilling geometry and type of drill bits. Shown the adequacy of the model to the experimental results.

Keywords: modeling, adaptive, rotary drilling, drilling machine.

Для исследования закономерностей вращательного бурения удобно использовать модель процесса бурения, в которой известные уравнения дополнены зависимостями, характерными для адаптивных структур адаптивных машин [1]. Эта модель представляет собой совокупность взаимосвязанных зависимостей показателей процесса от режимов и параметров бурильной машины и режущего инструмента, с одной стороны, а с другой – зависимостями, связывающими изменение режимов и параметров бурения от условий бурения.

Для представления таких связей можно привести аналогию привода бурильной машины с асинхронным электродвигателем. Для такой бурильной машины, например, с увеличением крепости буримой породы, увеличивается момент сопротивления вращению на

валу асинхронного двигателя (для условия постоянной удельной подачи). Согласно известным характеристикам асинхронного привода частота вращения вала электродвигателя при этом уменьшится. В соответствии с теорией вращательного бурения [2] для приближений процесса бурения к оптимальным показателям и требуется с увеличением крепости буримой породы уменьшать частоту вращения. Таким образом, автоматически изменяется режим работы бурильной машины в зависимости от условий процесса бурения. Однако уменьшение частоты вращения вала при увеличении момента сопротивления вращению асинхронного двигателя определяется конструкцией и мощностью самого электродвигателя, а требуемое уменьшение частоты вращения бурильной штанги зависит от крепости буримой породы, от затупления режущего инструмента и от величины усилия подачи. Поэтому в практике управления процессом вращательного бурения используют другие методы и алгоритмы [3].

Для моделирования, в качестве базовой, использована адаптивная бурильная машина [4], выполненная на базе промышленной бурильной машины типа «УБГ-00-000» Людиновского агрегатного завода.

Гидравлическая схема адаптивной бурильной машины приведена на рисунке 1.

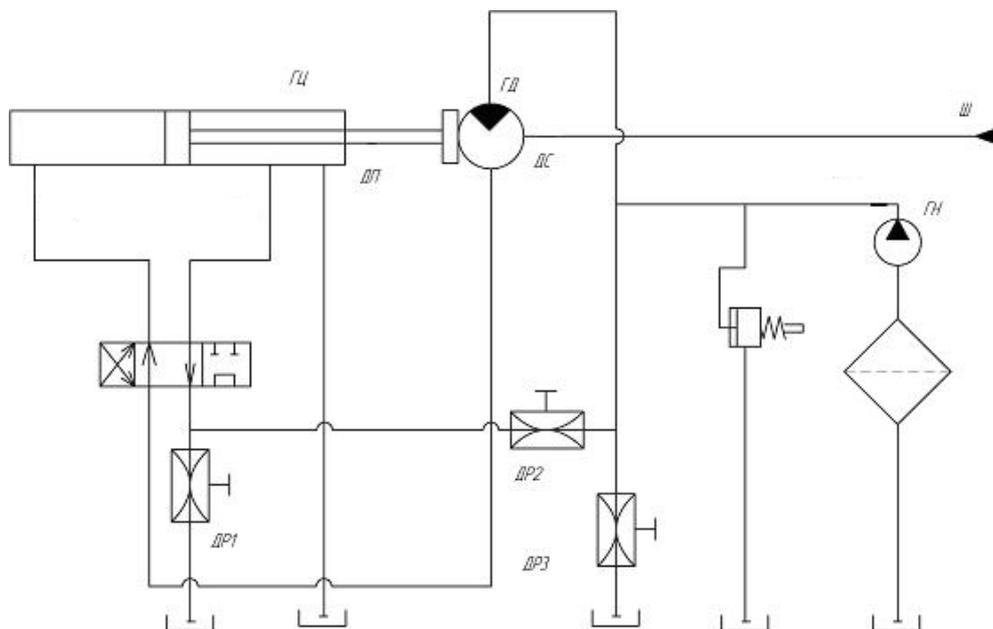


Рис.1. Гидросхема адаптивной бурильной машины

ГН – гидронасос; ГМ – гидромотор; ГР – гидрораспределитель; ДР1, ДР2, ДР3 – подстроечные дроссели; ГД – гидродвигатель; Ш – бурильная штанга

Устройство и принцип работы бурильной машины, имеющей приведенную схему, относительно подробно изложены в работе [5].

При составлении модели использованы реальные характеристики гидроцилиндра, гидродвигателя и коммутирующей аппаратуры. На разработанной модели выполнены следующие исследования:

1. Изучено влияние крепости буримой породы на показатели процесса бурения.
2. Изучено влияние степени износа режущей кромки режущего инструмента на рабочие характеристики и показатели процесса бурения.

В качестве базовых уравнений, позволяющих связать условия бурения с показателями процесса, используются эмпирические выражения, разработанные в ЮРГТУ (НПИ) [6].

К ним относятся:

Выражение для определения усилия подачи буровой штанги на буримый материал, Н:

$$P_y(P_k) = 0.127 \cdot n^{0.4} \cdot P_k \cdot (k_D \cdot F_{зат} + 0.81 \cdot n^{0.45} \cdot k_{ск} \cdot S \cdot \text{КПИ1}) \quad (1)$$

Выражение для определения крутящего момента на штанге бурильной машины вращательного типа, Н*м:

$$M_p(P_k) = 0.071 \cdot n^{0.3} \cdot r \cdot (k_D \cdot P_k \cdot F_{зат} + 0.96 \cdot k_{ск} \cdot S(P_k) \cdot \text{КПИ2}) \cdot 10^{-3}; \quad (2)$$

где P_k – контактная прочность буримой породы, МПа ($P_k = 44,45..1188$);

n – частота вращения буровой штанги, рад/с;

r – радиус резца, мм;

k_D – коэффициент, характеризующий сопротивления породы дроблению (0,2...0,4);

$F_{зат}$ – суммарная площадка затупления, мм²;

$k_{ск}$ – коэффициент, характеризующий разрушение скалыванием (0,05...0,1);

S – удельная подача, мм/оборот;

КПИ 1, КПИ 2 – коэффициенты, учитывающие конструктивные параметры режущего инструмента:

Коэффициенты, учитывающие конструктивные параметры режущего инструмента, определяются по формулам:

$$\text{КПИ1} = \frac{(r - r_p) \cdot (\cos(\delta) - \mu_1 \cdot (\sin(\delta))) \cdot \sin(\varphi_{cp})}{2 \cdot \sin(\tau) \cdot \sin(\tau + \delta)}$$

$$\text{КПИ2} = \frac{(r - r_p) \cdot (\mu_1 \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\delta))}{2 \cdot \sin(\tau + \delta) \cdot \sin(\tau)}$$

где:

для резцов типа РП 4

Радиус резца, мм:

$$r = 2l$$

Радиус раствора перьев резца, мм	$r_p=4$
Угол скалывания 25^0 :	$\tau = \frac{2 \cdot \pi \cdot 25}{360}$
Угол резания 110^0 :	$\delta = \frac{2 \cdot \pi \cdot 110}{360}$
Среднее значение концевго угла пера 30^0 :	$\varphi_{cp} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 30}{360}$
Коэффициент трения	$\mu_1 = 0.2$
Число перьев буровой коронки, шт	$m = 2$
Условная толщина режущей кромки, мм:	$C_0=0.1$
Сумма проекций площадок износа всех, мм ²	$F_{зам} = 24.8$
	КПИ1=7.537 ;
	КПИ2=24.783

В среде MathCad разработана программа, которая позволяет моделировать процесс бурения адаптивной бурильной машины при изменении основных факторов, определяющий процесс резания.

Варьируя значение крепости буримой породы или степень затупления режущего инструмента, можно визуализировать качественный и количественный характер изменения момента сопротивления вращению, удельной подачи и необходимого усилия подачи. Эти исследования можно выполнять при различных частотах вращения буровой штанги, при различной степени затупления режущего инструмента. При этом в пределах ограничений конструктивных и силовых параметров [7] модель обеспечивает определять любые парные или групповые связи между условиями бурения и показателями или характеристиками взаимодействия бурильной машины с буримым материалом. Например, удельную подачу (производительность при постоянной частоте вращения) можно исследовать по зависимости, полученной из выражения (1). Удельная подача определяется следующей зависимостью:

$$S(P_k) = \frac{\frac{F_{II}}{0.127 \cdot n^{0.4} \cdot P_K} - k_D \cdot F_{зам}}{0.81 \cdot n^{0.45} \cdot k_{ск} \cdot КПИ1} \quad (3)$$

При моделировании процесса работы адаптивной бурильной машины исследованы следующие зависимости:

- влияние крепости буримого материала на момент сопротивления вращению, удельную подачу, необходимое усилие подачи, при заданной и постоянной частоте вращения бурильной штанги;

- влияние степени затупления реза на момент сопротивления вращению при различной крепости буримой породы;

- влияние степени затупления на удельную подачу при различной степени затупления реза. Некоторые результаты этих исследований приведены на рисунках 2,3,4.

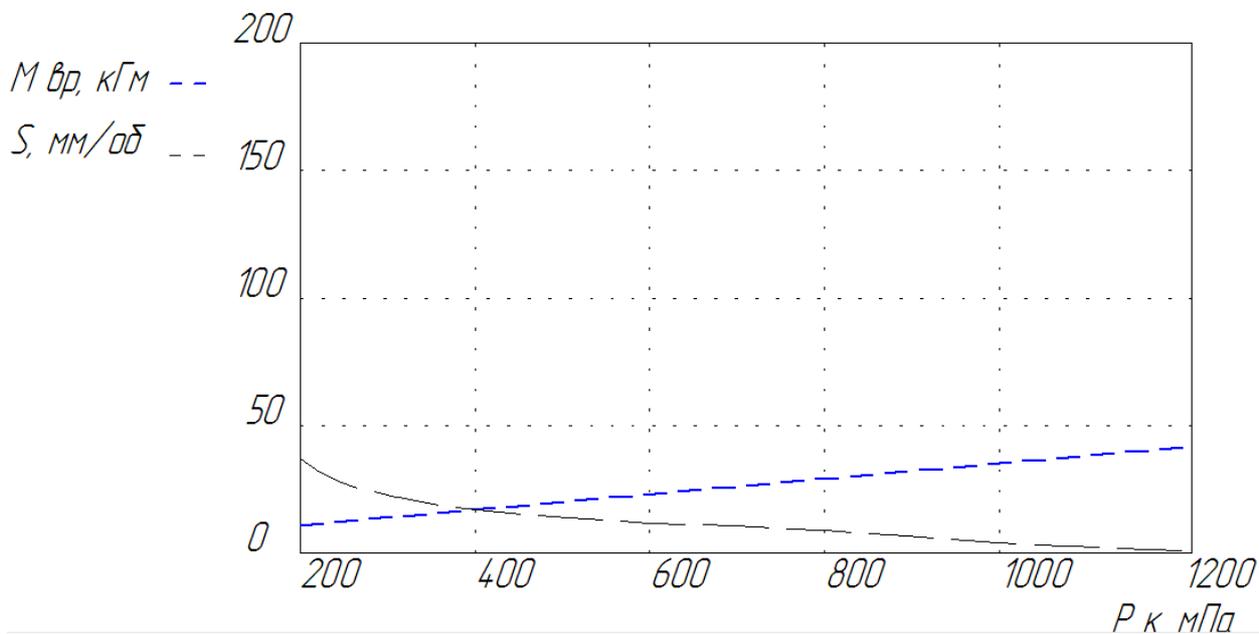


Рис. 2. Зависимость крутящего момента и удельной подачи от крепости буримой породы

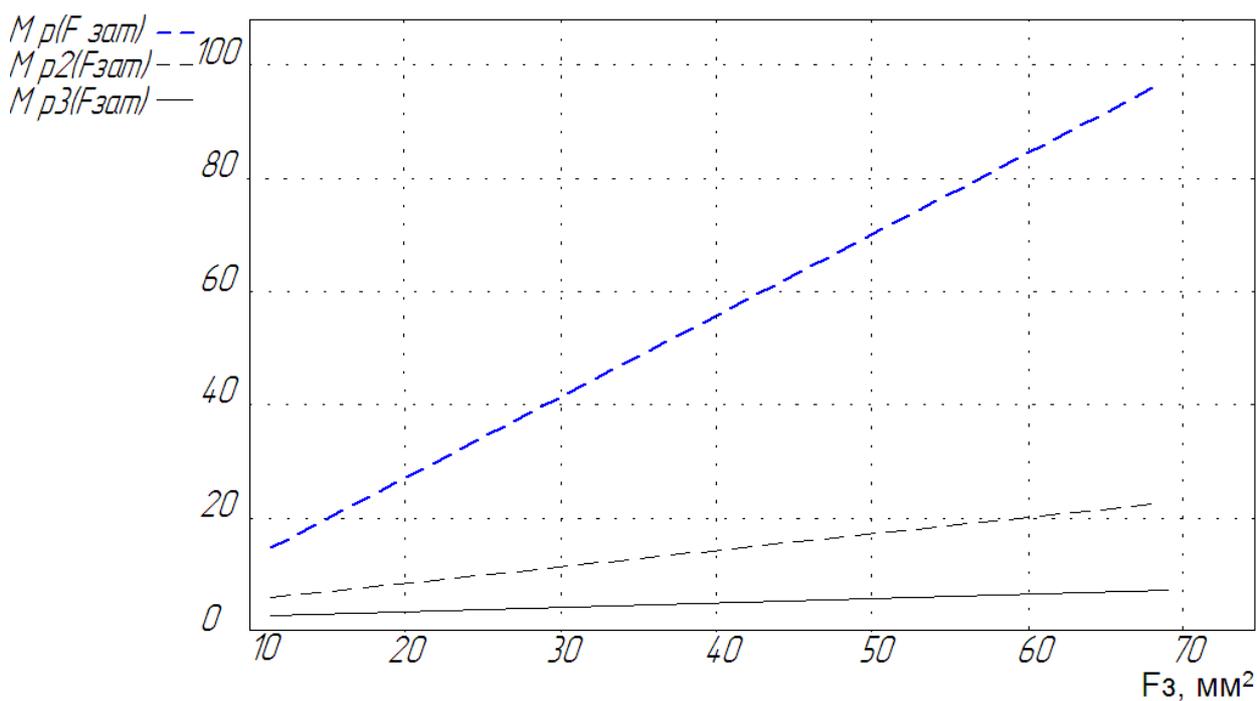


Рис.3.. Зависимость крутящего момента (M_p) от площадки затупления резца (F_z) при различной крепости буримой породы
(1 - $P_k=44$ МПа, 2 - $P_k=250$ МПа, 3 - $P_k=1188$ МПа)

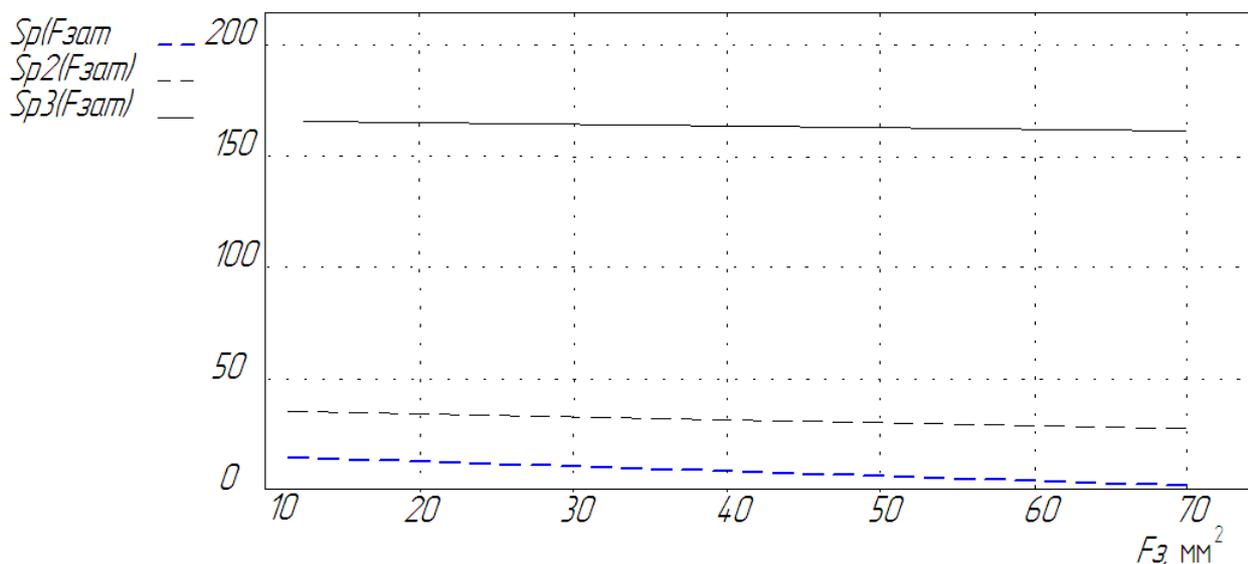


Рис. 4. Зависимость удельной подачи от площадки затупления резца при различной крепости буримой породы

Исследованы также и другие зависимости показателей бурения от условий процесса, таких как геометрия буровой коронки, метод управления бурением ($F_{II} = \text{const}, n = \text{var}; F_{II} = \text{var}, n = \text{const}; n = f(P_k), F_{II} = f(P_k)$).

Выводы:

1. Полученные в результате моделирования зависимости показателей вращательного бурения от условий бурения, для рассматриваемой бурильной машины, близки к зависимостям, полученным экспериментальным путем и изложенным в работе [8]. Таким образом, подтверждается адекватность применяемой модели физическим результатам измерений.

2. Метод моделирования, предложенный в работе, позволяет виртуально выполнять исследования различных способов управления вращательным бурением и может стать основой для разработки микропроцессорного управления этим процессом.

Список литературы

1. Дровников А.Н., Лемешко М.А. Структурная схема динамической модели «Адаптивный буровой станок - забой» // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2003. – № 8. – С. 147-149.
2. Сысоев Н.И., Мирный С.Г. Основы теории функционирования бурильных машин вращательного действия. Уч. пособие, Юж.-Рос. гос. тех. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – С. 44-49.
3. Лемешко М.А. Адаптивное управление процессом резания гонных пород. Монография / М. А. Лемешко; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Южно-Российский гос. ун-т экономики и сервиса» (ГОУВПО "ЮРГУЭС"). – Шахты, 2010. – 67с.
4. Лемешко М.А., Трифонов А.В. Исследование привода адаптивной машины «УБГ-1А» // Горный информационно - аналитический бюллетень (Научно-технический журнал). – 2013. – № 6. – С. 202-207.
5. Патент РФ № 2473767 27.01.2013 Адаптивная машина вращательного бурения.
6. Сысоев Н.И., Буренков Н.Н., Раков И.Я., Мирный С.Г. Научные основы выбора параметров высокоэффективных режущих инструментов горных машин // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 10. – С.13-20.
7. Лемешко М.А., Трифонов А.В. Математическая модель ограничений адаптивного управления машинами вращательного бурения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 2. – С. 207-210.
8. Некоторые результаты исследований адаптивного процесса резания горных пород / М.А. Лемешко, Р.В. Дикий, Р.Ю. Волков // Достижения вузовской науки. – 2014. – № 11. – С.135-139.

Рецензенты:

Евстратов В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование предприятий стройиндустрии» Шахтинского института (филиала) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г. Шахты;

Адигамов К.А., д.т.н., профессор кафедры «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) «Донского государственного технического университета», г. Шахты.