

*Mikhail A. Lemeshko,*  
ScD, associate professor;

*Mikhail A. Vasin,*  
ScD, associate professor,  
Shakhty Institute of  
South Russian State technical University;

*Dmitriy E. Saj,*  
engineer,  
Krasno Sullinsk Metallurgy College

## Mathematical Model of Optimal Control Rotary Drilling Machines

**Key words:** *Mathematical model of restriction, restriction of adaptive guiding, the rotation drilling machines.*

**Annotation:** *the article contains formulas to describe limitations in operation of adaptive machine of rotating drilling which take into account stability, mode and constructive peculiarities of its acting organ..*

Как известно, условия оптимального бурения, для бурильных машин вращательного типа – усилие подачи  $F_p$  и частота вращения  $n_p$  описываются зависимостями (4):

$$F_p = k_1 \times P_k^{2/3}, [\text{Н}]; \quad n_p = k_2 / P_k^{2/3}, [\text{об/мин}]$$

где:  $P_k$  - контактная прочность буримой породы, МПа;  $k_1, k_2$  - эмпирические коэффициенты

(для  $P_k = 300 \dots 1400$ , МПа,  $k_1 = 100$ ,  $k_2 = 27,5 \times 10^3$ )

Управление режимами бурения осуществляется в пределах мощностных и прочностных ограничений, включая ограничение максимальной удельной подачи по условию заштыбовки зазора между штангой и стенкой шпура, ограничение максимального усилия подачи по жесткости штанги и допустимому её искривлению, по прочности режущей части резца, по устойчивости бурильной установки; ограничение на режимы бурения по температурной стойкости твердосплавной армировки резца, ограничение по степени износа резцов до предельных площадок затупления, ограничение по мощности привода (3).

Сложность решения задачи по управлению режимами работы бурильной машины можно проиллюстрировать на структурной схеме процесса бурения, приведенной на рисунке 1. Изменяющиеся физико - механические свойства буримого горного массива, износ режущей части обуславливают необходимость управления режимами бурения: частотой вращения штанги  $n_t$  и усилием подачи  $F_t$ , которые должны быть приближены к теоретически оптимальным  $n_p$  и  $F_p$  и учитывать показатели бурения  $M_{ep}$  (момент

сопротивления вращению),  $V_0$ (скорость бурения) или скорость подачи-  $V_{под}$ , а так же степень затупления  $F_3$  и/или стойкость  $T$  режущего инструмента, в реальном времени.

На рисунке приняты следующие обозначения:  $n_t$  – регулируемая частота вращения штанги,  $R_t$  – регулируемое усилие подачи; показатели процесса бурения:  $V_b$  - скорость бурения,  $H_w$ - критерий эффективности (например –себестоимость 1 метра шпура, или удельная энергоёмкость разрушения горной породы),  $T$  – стойкость режущего инструмента (характеризует частоту смены режущего инструмента); внутренние показатели процесса бурения:  $M$  - момент сопротивления вращению,  $F_3$  – приведенная площадь затупления режущего инструмента,  $S$ – удельная подача (толщина стружки).

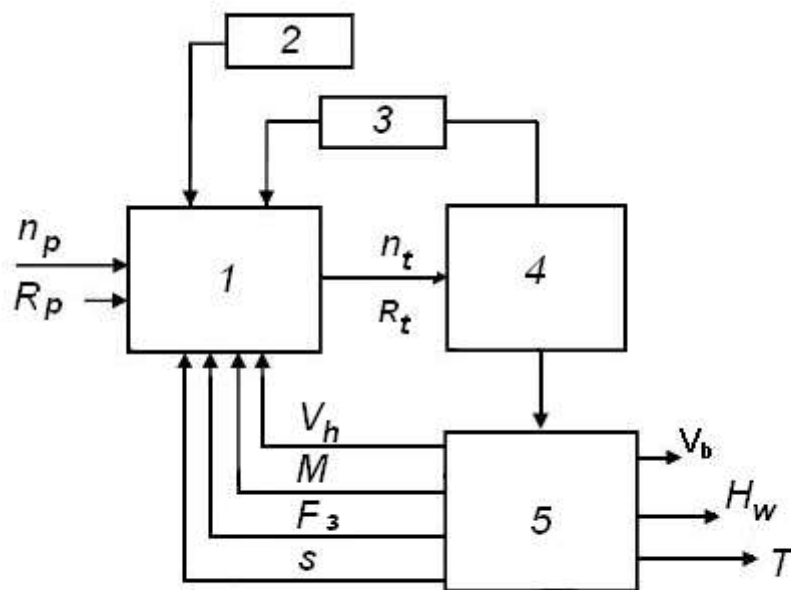


Рис. 1. Схема управления процессом вращательного бурения.

1- устройство управления, 2 - влияние физико-механических свойств буримого материала, 3- условия ограничений, 5- 4- управляемые параметры бурения, 5- процесс бурения.

Рабочий процесс бурильных машин характеризуется двумя, связанными между собой, движениями исполнительного органа: вращением бурильной штанги и подачей её на буримую горную породу. Особенностью машин, имеющих адаптивный привод (1,2), является их способность автоматически поддерживать рациональные соотношения скоростей этих движений без дополнительных средств автоматики (3). При этом необходимо предусматривать ограничения по приведенным выше условиям.

Для таких машин с гидравлической подачей в зависимости от крепости разрушаемого массива автоматически регулируется частота вращения и усилие гидродомкратов.

При этом одним из важных регуляторов процесса бурения является усилие подачи (6).

Диапазон адаптивного управления вращательным бурением (область управления) ограничены рядом факторов, которые могут быть описаны совокупностью уравнений – математической моделью условий ограничения области управления.

Характерные для процесса бурения ограничения могут быть представлены уравнениями, связывающими соотношения скорости подачи (скорости бурения) и частоты вращения штанги.

За основу описания процесса вращательного бурения примем известное уравнение:

$$R_{nod} = p_k(C_3 F_{zam} + C_2 S) \quad (1)$$

где:  $R_{nod}$  – расчетное усилие подачи,  $p_k$  – контактная прочность породы,

$C_3$  – коэффициент учитывающий давления по задней грани резца,  $C_2$  – геометрический параметр режущей кромки резца,  $S$  – удельная подача,  $F_{zam}$  – проекция площадки затупления, удобно для анализа представлять рациональные области управления в виде зависимостей скорости бурения (скорости подачи) от частоты вращения штанги.

Математические соотношения, выражающие эти ограничения, в совокупности составляют математическую модель ограничений в управлении вращательным бурением с учетом износа режущего инструмента.

Каждое из условий ограничивает соотношение скорости подачи и частоты (скорости) вращения штанги на забой в соответствии с параметрами режущего инструмента и условиями работы. Полученные функциональные связи относятся к основному условию, определяющему возможность расширения адаптивных качеств горных машин, имеющих адаптивную структуру, а так же исполнительных органов с адаптивными качествами при других способах оптимизации процесса резания, например с использованием микропроцессорного управления.

$$\begin{cases}
 V_{nod} > \frac{1}{C_2} \left( \frac{R_{nod}}{p_k} - C_3 \cdot F_{zam} \right) \cdot n_t \\
 V_{nod} > \left( \frac{7,95}{C_2 \cdot f^{0,5}} - \frac{C_3}{C_2} \cdot F_{zam} \right) n_t \\
 V_n < \frac{1}{C_2} \left( \frac{R_{nod}}{p_k} - C_3 \cdot F_{zam}^{пред} \right) \cdot n_t \\
 V_{\ddot{a}\ddot{a}}^{mk} < \frac{1}{\tilde{N}_{\ddot{a}}} \left( \frac{R_{\ddot{a}\ddot{a}}^{max}}{p_{\ddot{e}}} - \tilde{N}_3 \cdot F_{\ddot{a}\ddot{a}}^{\ddot{a}\ddot{a}} \right) \cdot n_t \\
 V_{\ddot{a}\ddot{a}}^{max} \leq \frac{1}{\tilde{N}_{\ddot{a}}} \left( \frac{R_{\ddot{a}\ddot{a}}^{max}}{p_{\ddot{e}}} - \tilde{N}_3 \cdot F_{\ddot{a}\ddot{a}}^0 \right) \cdot n_t \\
 V_{\ddot{a}\ddot{a}}^{max} \leq \frac{R_{nod}^{крит}}{K_{zn} \cdot p_k \cdot C} n_t \\
 V_{\ddot{a}\ddot{a}}^{max} \leq 5,85 \cdot 10^6 \cdot \frac{N \cdot \eta}{p_k \cdot B}
 \end{cases}$$

$$n_t < = 4 \cdot 10^5 / p_k$$

$$n_t = n_{\max} < 2200/f ; \quad f < 4$$

$$n_t = n_{\max} < 700 - 50f ; \quad f > 4$$

На основе полученных зависимостей выполнены исследования оптимальных условий процесса вращательного бурения на специализированном стенде [5] и разработаны схемы управления процессам адаптивного бурения с использованием корректирующих звеньев [7] .

**References:**

1. *Adaptive boring machine. Lemeshko MA, Ostrowski AA, Vasin MA. Patent for invention* *RUS 2366791, 10.09.2009*
2. *Adaptive machine rotary drilling. Lemeshko MA, TrifonovAV. Patent for invention* *RU 2473767, 27.01.2013*
3. *Adaptive management process for cutting of rocks. Monograph Sakhty: Ministry of education and science of the Russian Federation, the State Hermitage. educational institution of the high. professional education "South-Russian state University of economy and service"; 2010; 67.*
4. *Lemeshko MA. Optimization of the cutting parameters of a coal mining machine: New motion control technology production facilities. Proceedings of the 3rd international. Nauch.-Pract. Conf., , Novocherkassk, 11 April 2000: T1./ SRSTU (NPI); 2000; 59-62.*
5. *Lemeshko MA. The stand for investigation of adaptive drilling process with no silo-torque feedback. Lemeshko M.A. Mountain information-analytical Bulletin (of the scientific-technical journal); 2005, № 4: 314-315.*
6. *Lemeshko MA, TrifonovAV. The study drive adaptive machine "UBG-1A": Mountain information-analytical Bulletin of the scientific-technical journal); 2013, № 6; 202-207*
7. *Lemeshko MA. Structural scheme of adaptive rotary drilling machines with corrective links: Visnik of the Volodimir Dal East Ukrainian National University - № 1 [143], 2010; 175-178.*