

Техника и технология транспорта: научный Интернет-журнал <http://www.transport-kgasu.ru>  
2019. № S13 [http://transport-kgasu.ru/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=2](http://transport-kgasu.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=2)  
URL статьи: <http://transport-kgasu.ru/files/N13-25PIR19.pdf>

Статья опубликована 09.09.2019

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Баранчик В.П., Закиров М.Ф. Определение рациональных параметров резания при бурении перемежающихся по крепости пород // Техника и технология транспорта. 2019. № S13. С. 25. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N13-25PIR19.pdf>

УДК 622.23.05

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ ПРИ БУРЕНИИ ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ПО КРЕПОСТИ ПОРОД

Баранчик В.П.<sup>1</sup>, Закиров М.Ф.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Удмуртский государственный университет», г. Ижевск, Россия

<sup>2</sup> Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова,  
г. Ижевск, Россия

### Аннотация

В статье анализируется проблема снижения затрат на смену долот при глубоком бурении наклонно-направленных скважин за счет рационального выбора режимных параметров в процессе проходки горных пород, перемежающихся по крепости. Предлагается технология управления параметрами бурения на основе предварительной информации о пределах прочности породы по участкам скважины, позволяющая увеличить рейс долота и снизить энергоемкость процесса бурения скважины.

**Ключевые слова:** наклонно-направленная скважина, спуско-подъемные операции, рейс долота, крепость горной породы, предельное напряженно-деформированное состояние среды.

Анализ исследований в области совершенствования режущего бурильного инструмента свидетельствует о невозможности создания конструкций, не изменяющихся в процессе глубокого бурения и оптимальных для всего диапазона буримых пород [1-8]. Долото неоднократно заменяется в процессе бурения, что увеличивает время на спуско-подъемные операции, снижается средняя скорость проходки и экономические показатели. Рациональным решением проблемы является адаптивное долото, автоматически приспособляющееся к изменению физико-механических свойств породы. Саморегулирование инструмента в зависимости от физико-механических свойств забоя должно быть основано на реализации оптимальных параметров процесса резания породы.

Современные представления о механике разрушения грунтов и горных пород основаны на существовании дефектов в структуре породы и анизотропности физико-механических свойств. Среди многочисленных факторов, влияющих на сопротивление грунтов и горных пород резанию, выделяется угол резания, который интенсифицирует растяжение и сдвиг в сжатом объеме породы [6]. Известно, что грунты и горные породы практически не сопротивляются растяжению и разрушаются по линиям скольжения от сдвигающих усилий [6].

Основы теории резания и копания грунта, заложенные академиком В.П. Горячкиным, получили бурное развитие в трудах многочисленных его последователей, итогом которых является удельное сопротивление резанию и копанию грунтов разной степени крепости, определяемое экспериментально применительно к отвальным и ковшовым рабочим органам. Особое место в исследованиях процессов взаимодействия рабочих органов со средой занимает работа В.В. Соколовского, разработавшего основы теории предельного равновесия сыпучей среды, обладающей сцеплением. Недостатком его теории является взятая из механики грунтов представление о разрушении грунта при пассивном давлении на неподвижную подпорную стенку, имитирующую движущийся рабочий орган. Однако расчет зон разрушения грунта по В.В. Соколовскому дал толчок к развитию графо-аналитических методов А.Н. Зеленина [6] и

Е.И. Берестова [3].

Физическая и математическая модель резания грунта и горной породы при бурении скважины с изменяющимися физико-механическими характеристиками разработана с целью применения одного и того же долота на мягких и твердых породах, чтобы увеличить рейс долота и сократить суммарную продолжительность спуско-подъемных операций, т.е. повысить универсальность долота. Модель состоит из трех частей:

- 1) определения осевой и окружной силы на долоте;
- 2) определения семейства оптимальных сочетаний предельных нормальных и касательных напряжений;
- 3) алгоритма управления режимными параметрами бурения.

#### Определение осевой и окружной силы на долоте

Применительно к режущему долоту, угол резания – это угол наклона передней грани резца к стенке скважины. Схему сил, действующих на резец, удобно представить, развернув скважину по диаметру  $d$ , и заменив резец ползуном с наклонным лезвием (рис. 1). Такая схема подобна схеме взаимодействия резьбовой пары винт-гайка. Угол подъема  $\alpha$  винтовой поверхности лезвия резца соответствует углу резания, а шаг винта  $h$  – подаче инструмента за один оборот. Под действием осевого усилия  $P$  за один оборот резец снимает стружку длиной  $\pi d$  и толщиной  $h$ . Сила  $R$  взаимодействия между резцом и породой отклонена от нормали к винтовой поверхности на угол  $\varphi$  внешнего трения резца о породу. Окружная сила  $T$  связана с осевой силой  $P$  соотношением:

$$\frac{T}{P} = \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (1)$$

Выразим силы через напряжения:

$$\begin{aligned} T &= \tau_b \cdot \pi \cdot d \cdot h, \\ P &= \sigma_c \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \end{aligned} \quad (2)$$

где:  $\tau_b, \sigma_c$  – пределы прочности материала керна на сдвиг и на сжатие.

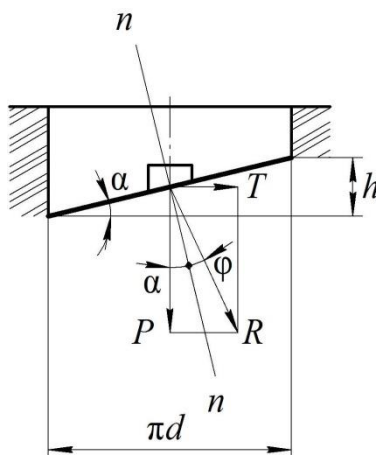


Рис. 1. Схема сил, действующих на резец

**Определение семейства оптимальных сочетаний предельных нормальных и касательных напряжений** производится с помощью теории предельных напряженных состояний связных сред при совместном действии нормальных и касательных напряжений [6].

Соотношение нормальных и касательных напряжений  $\sigma/\tau$  для связных сред определяется законом Кулона:

$$\tau = c_0 + \sigma \cdot \operatorname{tg} \rho,$$

где:  $c_0$  – удельное сцепление;  
 $\rho$  – угол внутреннего трения.

В случае предельных напряжений (разрушение бурением) с учетом выражений (2) имеем:

$$\frac{\tau_b}{\sigma_c} = \operatorname{tg} \rho + \frac{c_0}{\sigma_c} \quad (3)$$

В соотношении (3) неизвестен угол внутреннего трения  $\rho$ . Определим его, применив теорию предельного напряженного состояния (ПНС) грунта и горных пород в виде диаграммы (рис. 2). Диаграмма строится по двум точкам  $\sigma_c$  и  $\tau_b=c_0$ , полученным при лабораторных испытаниях кернов на одноосное сжатие и на чистый сдвиг соответственно. Касательная к предельным кругам Мора сжатия и сдвига ограничивает область разрушения породы при совместном действии нормальных и касательных напряжений. Точки круга 3 определяют семейство оптимальных соотношений  $\tau_b/\sigma_c$ , при которых в буримой породе присутствуют только растягивающие и сдвигающие напряжения.

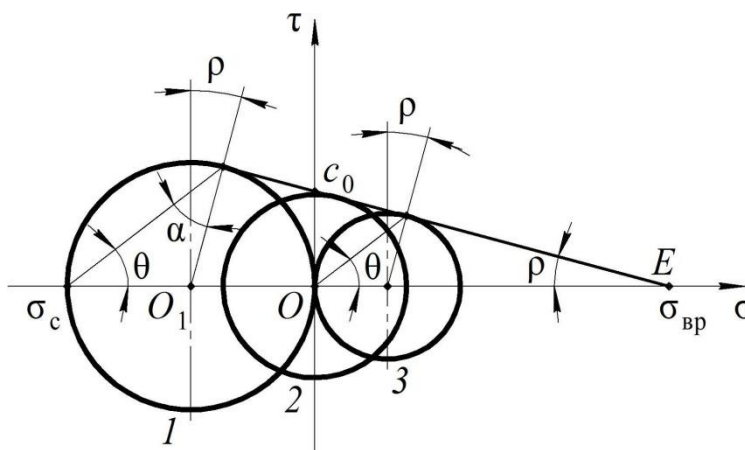


Рис. 2. Диаграмма предельного напряженного состояния породы:  
1, 2, 3 – предельные круги напряжений сжатия, сдвига и растяжения соответственно

Оптимальный угол резания определяется соотношением:

$$\alpha = 90^\circ - (\rho + \theta),$$

где:  $\rho$  – угол внутреннего трения;  
 $\theta$  – угол сдвига;

$$\operatorname{tg} \rho = 1 - \left( \frac{2 \cdot c_0}{\sigma_c} \right),$$

$$\theta = 45^\circ - \frac{\rho}{2}.$$

#### Алгоритм управления режимными параметрами бурения

Оптимальное управление режимом бурения возможно лишь изменением угла резания. При нерегулируемом долоте возможно лишь приблизительное соблюдение координат, принадлежащих кругу 3, с целью недопущения усилия сжатия в разбуриваемом объеме. Необходимо по возможности сохранять равновесие, используя следующие соотношения, вытекающие из диаграммы ПНС:

$$\frac{T}{P} = \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = \frac{4 \cdot h \cdot \left( 1 - \frac{2 \cdot c_0}{\sigma_c} \right)}{d} \quad (4)$$

При изменении  $c_0/\sigma_c$ , регулирующими параметрами могут быть осевая сила  $P$ , подача промывочной жидкости, влияющая на  $\varphi$ , подача  $h$  долота на забой. Такое почти оптимальное (рациональное) регулирование параметров процесса позволит пройти проблемный участок одним и тем же долотом, т.е. увеличить рейс долота и снизить энергоемкость процесса бурения скважины.

Экономический анализ и принятие решения об эффективности экономии на спуско-подъемных операциях при возможном риске снижения механической скорости бурения, должен производиться с учетом конкретных горно-геологических условий.

#### **Выводы и предложения**

Предлагается технология управления параметрами бурения на основе предварительной информации о пределах прочности породы по участкам скважины, позволяющая увеличить рейс долота и снизить энергоемкость процесса бурения скважины.

#### **Список библиографических ссылок**

1. Артемьев К.А. О возможности использования теории предельного равновесия сыпучей среды для определения сопротивления грунтов резанию и копанию // Исследования и испытания дорожных и строительных машин: Сб. трудов СибАДИ. – Омск, 1975. – Вып. 53, Сб. 6. – С. 3-8.
2. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: ВШ, 1981. – 336 с.
3. Берестов Е.И. Сопротивление грунтов резанию: Монография / Е.И. Берестов, А.П. Смоляр. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – 179 с.
4. Баранчик В.П., Закиров М.Ф., Кибардина Н.А. Определение эквивалентных процессов резания анизотропных сред при использовании сменных рабочих органов машины // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – №1(23). – С. 22-23.
5. Ветров Ю.А. Закономерности энергоемкости резания грунтов // Горные, строительные и дорожные машины: респ. межведомств. науч.-техн. сб. – 1983. – Вып. 36. – С. 7-14.
6. Зеленин А.Н. Лабораторный практикум по резанию грунтов. – М.: ВШ., 1969. – 310 с.
7. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды. – 3-е изд. – М.: Физматгиз, 1960. – 243 с.
8. Щемелев А.М., Берестов Е.И. Аналитическое определение скола стружки грунта // Исследование и испытание строительных и дорожных машин. – Омск, 1980. – С. 68-78.

---

## **DETERMINATION OF RATIONAL CUTTING PARAMETERS WHILE DRILLING INTERMEDIATE BY RING**

**Baranchik V.P.<sup>1</sup>, Zakirov M.F.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Udmurt State University», Izhevsk, Russia*

<sup>2</sup> *Kalashnikov Izhevsk State Technical University», Izhevsk, Russia*

#### **Abstract**

The article analyzes the problem of reducing the cost of changing bits during deep drilling of directional wells due to the rational choice of operational parameters in the process of sinking rocks that alternate in strength. A technology is proposed to control drilling parameters on the basis of preliminary information on the limits of rock strength over sections of the well, which allows to increase the bit flight and reduce the energy intensity of the drilling process.

**Keywords:** directional well, tripping, chisel flight, rock fortress, extreme stress-strain state of the environment.