



## МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ГИДРОМОНИТОРНЫМИ ДОЛОТАМИ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН С МОРСКИХ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

И.Я.Ширели<sup>1</sup>, Р.С.Ибрагимов<sup>2</sup>, А.С.Маммадов<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Управление промышленной безопасности, SOCAR, Баку, Азербайджан;

<sup>2</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

### The Analysis of the Mechanism of Destruction of Rocks at Offshore Drilling Rig of Chinks by Hydromonitor Chisels

I.Y.Shireli<sup>1</sup>, R.S.Ibrahimov<sup>2</sup>, A.S.Mammadov<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Industrial Safety Department, SOCAR, Baku, Azerbaijan;

<sup>2</sup>Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

#### Abstract

At drilling of offshore drilling rig chinks by hydromonitor chisels as a result of dynamic interaction of a stream of a liquid with rock in the conditions of a chink face there is its hydromonitor destruction. At the moment of blow the liquid is compressed in the beginning and only then starts to spread. It is known that, in mining, the occurrence of hydromechanical pressure under the influence of high jet pressure, flowing from the bits of the bit, is inherently pulsating during drilling with the offshore drilling rig. Consequently, in the array where the mountain pressure acts, there is a sign-alternating stress, as a result of which the fatigue of the people.

#### Keywords:

Drilling;  
Jetting bit;  
Semi-submersible drilling rigs;  
Borehole;  
Rock failure;  
Hydromechanical pressure;  
Elastic waves.

© 2021 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

При бурении скважин гидромониторными долотами на морских буровых установках (МБУ) в результате гидромеханического взаимодействия струи жидкости с горной породой в условиях забоя скважины из-за качки буровой установки происходит дополнительное гидромеханическое разрушение породы. Физиком Д.Максвеллом было указано, что при определенных условиях жидкость обладает вязко-упругим характером. В момент удара жидкость в струе вначале сжимается и только затем начинает растекаться. Опыты показали, что релаксационный период, когда жидкость сохраняет свойства твердого тела, измеряется миллионными долями секунды, а период растекания длится в сотни раз дольше. Причем, период релаксации весьма трудно обнаружить в опытах [1].

Известно что, в горном деле возникновение гидромеханического давления под воздействием высокого напора струи, вытекающей из насадок долота, по своей природе является пульсирующей во время бурения с МБУ.

Следовательно, в массиве, где действует горное давление, возникает знакопеременное напряжение в результате чего происходит усталость породы [2]. Величина небольшого увеличения давления в поровом пространстве за счет распространения упругих продольных волн может быть определена по формуле Н.Е.Жуковского:

$$P = \rho_{*} \cdot v \cdot c \quad (1)$$

где,  $\rho_{*}$  - плотность жидкости;  $v$  - скорость струи, потерянная при встрече с поверхностью забоя скважины;  $c$  - скорость распространения упругих волн расширения, определяемая по формуле [2]:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho_n} \left[ \frac{\bar{E}(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} + (am+b)(1-\mu) \right]} \quad (2)$$

где  $\rho_n$  - плотность породы;  $\mu$  - модуль объемной упругости пористой среды;  $\bar{E}$  - коэффициент Пуассона породы;  $m$  - коэффициент объемной пористости среды;  $a$  и  $b$  - экспериментальные коэффициенты.

Так как коэффициент Пуассона при сжатии больше, чем при расширении, следовательно, с ростом глубины скважины его значение

\*E-mail: [anar.s.mammadov@socar.az](mailto:anar.s.mammadov@socar.az)

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20210100477>

должно возрастать. По данным американских исследователей [2] для песчаника коэффициент пористости  $m=0.30$  коэффициент Пуассона равен 0.25, а модуль упругости колеблется в пределах  $E=2.87 \cdot 10^8 \div 1.05 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>.

Экспериментально было установлено, что модуль упругости для хрупких тел при динамической нагрузке больше, чем при статической [3].

Экспериментальные коэффициенты, входящие в формулу (2) вычислены для пористого песчаника коэффициентом пористости  $m=0.25-0.30$ , плотностью  $3$  Н/м<sup>3</sup> и модулем упругости  $E_n=4.7910$  Н/м<sup>2</sup> и составляют:  $a=2.879-1.9210$  Н/м<sup>2</sup>;  $2.398-9.588$  Н/м<sup>2</sup>. Величина коэффициента деформации скелета порового пространства определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{P \cdot d_n}{4\delta_0 E_n} (2 - \mu)$$

где  $d_n$  - диаметр пор;  $\delta_0$  - толщина перегородок порового пространства.

Эффективный напор для разрушения угля составляет:  $h_{эфф}=(30 \div 50)f$ , где  $f$  - коэффициент крепости по М.М.Протоdjаконову. При напоре струи 3-5 МПа разрушаются породы крепостью  $f \leq 1$ .

Плотность однородного изотропного пористого песчаника определяется по формуле:

$$\rho = (1 - m)\rho_n + m\rho_x \quad (3)$$

С ростом глубины скважины плотность пористой породы изменяется под влиянием давления и температуры.

Экспериментально [4] было установлено, что при условиях  $t > 130$  °С плотность бурового раствора с ростом давления возрастает по линейному закону:

$$\Delta\rho_p = 4 \cdot 10^{-10}P \quad (4)$$

а с ростом температуры - по квадратичному закону:

$$\Delta\rho_t = 4 \cdot 10^{-5}\rho_0 t + 3 \cdot 10^{-6}t^2 - 0.4\rho_0 \left( \frac{t-130}{t} \right)^2 \quad (5)$$

Таким образом, плотность песчаника, насыщенного жидкостью, возрастает с ростом давления и уменьшается с ростом температуры, т.е.:

$$\rho_{p,t} = \rho_0 + \Delta\rho_p - \Delta\rho_t \quad (6)$$

Принимая эффективную пористость поро-

ды за абсолютную, для среднего значения объемной упругости можно написать [5]:

$$\bar{E} = \frac{E_x \cdot E_n}{E_x(1-m) + mE_n} \quad (7)$$

Фактически модуль упругости породы также является функцией давления и температуры.

Скорость распространения звука в жидкости является линейной функцией температуры. Для воды эта зависимость описывается формулой:

$$c_t = 1390 + 3.3t$$

Скорость распространения звука в буровом растворе в зависимости от давления аппроксимируется согласно линейному закону [5]:

$$c_p = 1512 + 0.275P \quad (9)$$

При возникновении гидромеханического давления в поровом пространстве, в результате взаимодействия высоконапорной струи бурового раствора с поверхностью забоя скважины, относительное изменение объема бурового раствора в порах породы равно:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1-2\mu)}{\bar{E}}P \quad (10)$$

где  $P$  - давление жидкости, действующее в поровом пространстве породы.

Так как плотность бурового раствора является функцией давления и температуры, то относительное изменение объема бурового раствора в поровом пространстве может быть записано в виде:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_{p,t} - \rho_0}{\rho_{p,t}} \quad (11)$$

Приравнивая (10) и (11) получим:

$$P = \frac{(\rho_{p,t} - \rho_0)\bar{E}}{3\rho_{p,t}(1-2\mu)} \quad (12)$$

где  $\rho_0$  - плотность бурового раствора на устье скважины;  $\rho_{p,t}$  - плотность бурового раствора в условиях забоя скважины.

Таким образом, при заданных значениях физических параметров бурового раствора и пористой породы скорость струи, необходимая для гидромеханического разрушения забоя скважины может быть определена на основании совместного решения вышеуказанных формул:

$$\frac{E_x \cdot E_n}{E_x(1-m) + mE_n} \sqrt{\frac{\rho_n(1+\mu)(1-2\mu)}{\bar{E}(1-\mu) + (1-\mu^2)(1-2\mu)(am+b)}} \quad (13)$$

### Заключение

1. При мгновенном торможении жидкости в открытых или сообщающихся трещинах или порах породы кинетическая энергия струи превращается в потенциальную и за этот период жидкость приобретает упругий характер. Благодаря высокой плотности жидкости и скорости распространения звука в ней, при внезапном изменении давления в жидкости образуются упругие продольные волны большой интенсивности.

2. Из-за резкого изменения давления в порах породы пробуренных с МБУ, заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, хрупко разрушаются. Происходит это явление при достижении критического значения растягивающего напряжения, при расчетах процесса гидромеханического разрушения забоя скважины и взаимодействия высоконапорной струи бурового раствора с поверхностью забоя скважины пористых пород в условиях забоя скважины следует учесть объемную упругость пористой среды, заполненной жидкостью.

### Литература

1. Козырев, С. П., Шальнев, К. К. (1970). Релаксационная гипотеза механизма соударения жидкости и твердого тела. *Доклады АН СССР*, 192(3), 126.
2. Сафаров, Я. И. (2000). Повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях. *Баку: САДА*.
3. Се, Л. Ю. (1973). Распространение волн в пористой среде, насыщенной жидкостью. *Труды АОИМ. Серия Е*, 4.
4. Катсаманис, Ф., Рафтоцулос, Д., Теокарис, П. (1977). Определение статического и динамического коэффициентов интенсивности напряжений методом каустик. *Труды АОИМ. Серия Д*, 2.
5. Хуршудов, В. А., Балабешко, В. В., Семяников, В. С. (1983). Влияние температуры и давления на плотность бурового раствора. *Нефтяное хозяйство*, 7, 9-11.

### References

1. Kozyrev, S. P., SHal'nev, K. K. (1970). Relaksacionnaya gipoteza mekhanizma soudareniya zhidkosti i tverdogo tela. *Doklady AN SCSR*, 192(3), 126.
2. Safarov, YA. I. (2000). Povyshenie effektivnosti bureniya neftyanyh i gazovyh skvazhin v oslozhnennyh usloviyah. *Baku: SADA*.
3. Se, L. YU. (1973). Rasprostranenie voln v poristoj srede, nasyshchennoj zhidkost'yu. *Trudy AOIM. Seriya E*, 4.
4. Katsamanis, F., Raftoculos, D., Teokaris, P. (1977). Opredelenie staticheskogo i dinamicheskogo koefficientov intensivnosti napryazhenij metodom kaustik. *Trudy AOIM. Seriya D*, 2.
5. Hurshudov, V. A., Balabeshko, V. V., Semyanikov, V. S. (1983). Vliyanie temperatury i davleniya na plotnost' burovogo rastvora. *Neftyanoe hozyajstvo*, 7, 9-11.

## **Механизм разрушения горных пород гидромониторными долотами при бурении скважин с морских буровых установок**

**И.Я.Ширели<sup>1</sup>, Р.С.Ибрагимов<sup>2</sup>, А.С.Маммадов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Управление промышленной безопасности, SOCAR, Баку, Азербайджан;

<sup>2</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку, Азербайджан

### **Реферат**

При бурении скважин гидромониторными долотами на морских буровых установках (МБУ) в результате гидромеханического взаимодействия струи жидкости с горной породой в условиях забоя скважины из-за качки буровой установки происходит дополнительное гидромеханическое разрушение породы. Известно что, в горном деле возникновение гидромеханического давления под воздействием высокого напора струи, вытекающей из насадок долота, по своей природе является пульсирующей во время бурения с МБУ. Следовательно, в массиве, где действует горное давление, возникает знакопеременное напряжение в результате чего происходит усталость породы.

**Ключевые слова:** бурение; гидромониторные долота; морские буровые установки; скважина; разрушение породы; гидромеханическая давления; упругие волны.

## **Dəniz qazıma qurğularında qazımada hidromonitor baltalar işlətdikdə dağ süxurlarının dağıdılması mexanizmi**

**İ.Y.Şirəli<sup>1</sup>, R.A.İbrahimov<sup>2</sup>, A.S.Məmmədov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>SOCAR-ın Sənayedə Təhlükəsizlik İdarəsi, Bakı, Azərbaycan;

<sup>2</sup>Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan

### **Xülasə**

Dəniz qazıma qurğularından hidromonitor baltalarla quyular qazıldıqda qazıma məhlulunun şırnağının dağ süxuruna hidromexaniki təsirindən əlavə olaraq hidromonitor effekt artır. Bu zaman süxur daha da tez dağılır. Məlum olur ki, dağ işlənməsində hidromexaniki təzyiğin təsirindən yüksən şırnaq basqısı yaranır ki, bu da balta dəliklərində keçərək süxurda pulsasiyalar yaradır. Beləliklə dağ süxurlarında dəyişən gərginliklər nəticəsində süxurda yorulma hadisəsi baş verir.

**Açar sözlər:** qazıma; hidromonitor balta; dəniz qazıma qurğusu; süxurların dağıdılması; hidromexaniki təzyiq; elastiki dalğalar.