УДК 622.24 DOI 10.21440/2307-2091-2017-1-65-67

ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ШАРОШЕЧНОГО ДОЛОТА

О. Г. Блинков, С. Г. Фролов, С. А. Майоров

Study of volume-stressed state of supporting elements of a bit

O. G. Blinkov, S. G. Frolov, S. A. Mayorov

The article presents results of the study of volume-stressed state of the supporting elements of bit by using polarization-optical method of stress analysis. In order to improve bit design one requires accurate and complete information about the stressed state of its basic elements. Authors applied the technology of "freezing" (fixation) the stress-strain state of the model of considered construction of elements of roller-cone drill bits. Polarization-optical method used for determining the stresses in the bit support is particularly effective in the study of stress concentration for the selection of the optimal shape, size and mass of structures during their design. Using this information one can increase reliability of the basic elements by reducing stress in areas of its concentration. The developed method of research on the "frozen" models gives an overall picture of the stress state of bit elements under axial load. In this case, the tangential stresses in the structure is insignificant, however, the maximum meridional stresses exceeding the yield point occur in the 1st leg in a zone of connection with the cone pin. In this zone elastic-plastic deformations occur, the value of which one can reduce, for example, by increasing the coupling radius of respective surfaces.

Keywords: tri-cone drill bit; elastic-plastic deformations; stress-strain state.

Представлены результаты исследование объемно-напряженного состояния опорных элементов долота с применением поляризационно-оптического метода исследования напряжений. Для совершенствования конструкции долота необходима точная и полная информация о напряженном состоянии его основных элементов. Применена технология «замораживания» (фиксирования) напряженно-деформированного состояния модели рассматриваемой конструкции элементов шарошечных буровых долот. Поляризационно-оптический метод, примененный для определения напряжений в опоре долота, особенно эффективен при исследовании концентрации напряжений для выбора оптимальной формы, размеров и массы конструкций при их проектировании. Используя полученную информацию, можно повысить надежность основных элементов путем снижения напряжений в зонах их концентрации. Разработанная методика исследований на «замораживаемых» моделях позволяет получить общую картину наряженного состояния элементов долота при осевой нагрузке. При этом тангенциальные напряжения в конструкции незначительны, однако максимальные меридиональные напряжения, превосходящие предел текучести, возникают в первой лапе в зоне соединения с цапфой. В этой зоне возникают упруго-пластические деформации, величина которых может быть уменьшена, например, путем увеличения радиуса сопряжения соответствующих поверхностей.

Ключевые слова: трехшарошечное долото; упруго-пластические деформации; напряженно-деформированное состояние.

Для совершенствования конструкции шарошечного долота необходима точная и полная информация о напряженном состоянии его основных элементов. Используя такую информацию, можно повысить надежность основных элементов долота путем снижения напряжений в зонах их концентрации.

Из традиционных методов исследования можно выделить наиболее распространенные: метод тензометрирования [1, 2], реализуемый при стендовых испытаниях долот, и метод конечных элементов, применяемый при создании математических моделей долот [3] и в качестве основы различных CAD/CAE систем, используемых при проектировании шарошечных долот [4, 5]. Однако эти методы не позволяют получить достаточную картину объемно-деформируемого состояния. Отсутствие такой информации в настоящее время не позволяет дать обоснованную оценку прочности элементов долота, а также приступить к решению вопроса оптимизации металлоемкости конструкции.

Такая задача наиболее полно может быть решена с применением поляризационно-оптического метода исследования напряжений с применением технологии «замораживания» (фиксирования) напряженно-деформированного состояния модели рассматриваемой инструкции [6, 7]. Этот метод, в отличие от тензометрии, представляющей информацию для отдельных точек, позволяет на доступных моделях из оптически чувствительного материала при действии различных нагрузок с применением несложного оборудования получить общую картину распределения напряжений на поверхности и внутри объема модели, определить направления и величины напряжений для всех точек.

Поляризационно-оптический метод, примененный для определения напряжений в опоре долота, особенно эффективен при исследовании концентрации напряжений для выбора оптимальной формы, размеров и массы конструкций при их проектировании.

В качестве объекта испытаний было выбрано трехшарошечное долото диаметром 215,9 мм с герметизированной опорой, оснащенное твердосплавными зубками для бурения средне-мягких абразивных пород с промывкой забоя, как наиболее распространенный представитель долот, в опоре которого имеются все типы подшипников (качения – замковый шариковый, качения – роликовый и скольжения – концевой подшипник).

При просвечивании среза на оптической установке поляризованным светом получают картину интерференционных полос, по которой определяют напряжения в объемной модели в плоскости среза.

С учетом сложности конфигурации конструкции трехшарошечного долота, размеров переходных поверхностей в зонах концентрации напряжения, чувствительности оптического материала и приборов масштаб геометрического подобия модели выбран равным 1,5, а все полученные результаты скорректированы согласно этому масштабу.

В качестве материала, из которого была изготовлена модель трехшарошечного долота, была принята эпоксидная смола ЭД-16 (для неплотных узлов ЭД-20) с отвердителем – полиэтиленполиамином (ПЭПА).

При проведении экспериментов для принятых в работе случаев температура замораживания $T_з$, оптические постоянные (цена полосы модели) $\sigma_0^{1,0}$ и модули упругости E, определенные в ходе работы, равны:

– для лапы и насадок $\sigma_0^{1,0}$ = 480 Н/м на полосу, E = 25,5 МПа;

– для шарошек и их вооружения, всех подшипников $\sigma_0^{1,0}$ = 460 Н/м на полосу, E = 26,0 МПа.

После изготовления элементов модели, сборки (склейки) долото подвергалось осевой нагрузке с осевым давлением 315 Н и было заморожено. После указанных процедур, согласно представленной на рис. 1 схеме, по всему корпусу долота были выполнены 11 срезов. Анализ срезов, расположенных перпен-

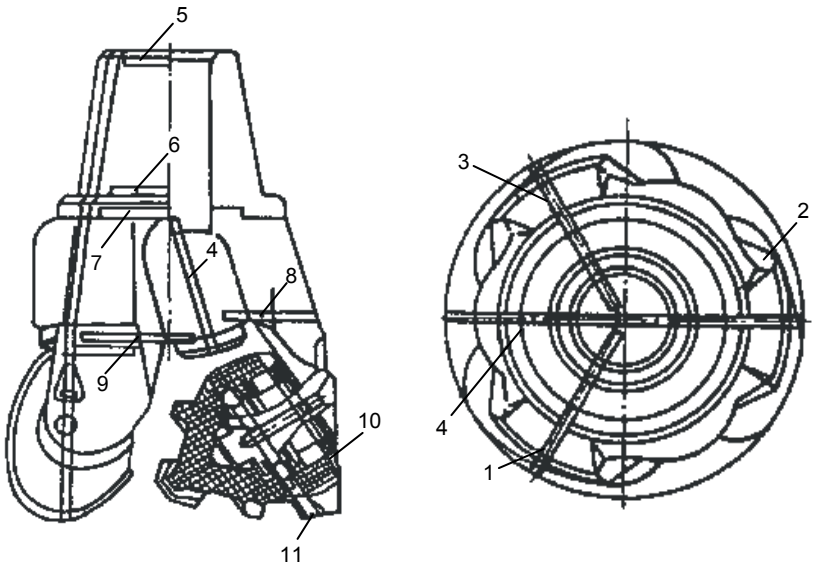

Рисунок 1. Схема расположения срезов в модели трехшарошечного долота.

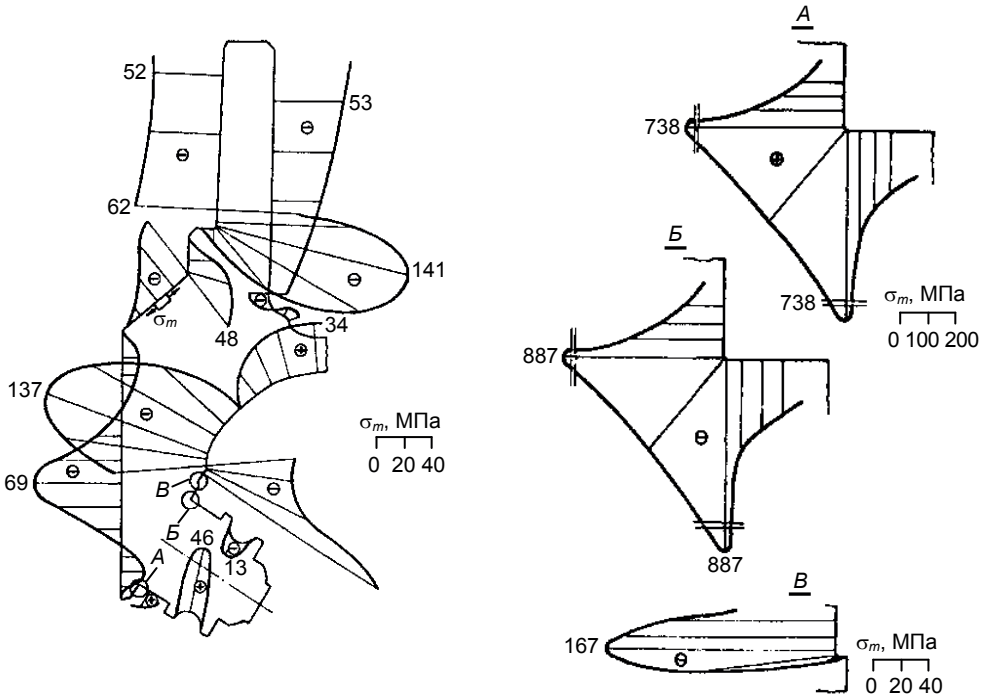

Рисунок 2. Эпюра напряжений по срезу 1 корпуса трехшарошечного долота.

дикулярно к оси долота, позволил определить тангенциальные нормальные напряжения срезов, расположенных вдоль оси долота – осевые нормальные напряжения.

При проведении анализа изучено напряженное состояние элементов трехшарошечного долота по всем указанным сечениям. На рис. 2, 3 приводятся результаты распределения напряжений в сечении 1 по оси цапфы и по оси шарошки.

Наибольшими напряжениями в корпусе долота и в шарошках являются осевые, которые по абсолютной величине превосходят тангенциальные, действующие в поперечных сечениях.

Картины полос интерференции в срезах позволяют установить, что основными областями концентрации напряжений являются зона перехода от цапфы к лапе и основания зубьев в шарошках.

В зонах *А*, *Б*, *В* (рис. 2) высокая концентрация напряжений возникает вследствие изгиба цапфы относительно лапы. Эпюры напряжений для всех этих зон представлены на рис. 2. В зоне *В* напряжения сжимающие и их максимальная величина равна 167 МПа. Сжимающие напряжения действуют и в зоне *Б*. Однако здесь уровень напряжений высокий. В этой зоне максимальное значение напряжений равно 887 МПа, что превышает предел текучести материала лапы. Таким образом, в данной зоне возникают упруго-пластические деформации.

В зоне *А* максимальные значения напряжений меньше (738 МПа), однако здесь напряжения являются растягивающими, и в процессе работы долота могут возникать трещины.

Таким образом, из проведенного исследования можно заключить:

– разработанная методика исследований на «замораживаемых» моделях позволяет получить общую картину напряженного состояния элементов долота при осевой нагрузке;

– тангенциальные напряжения в конструкции незначитель-

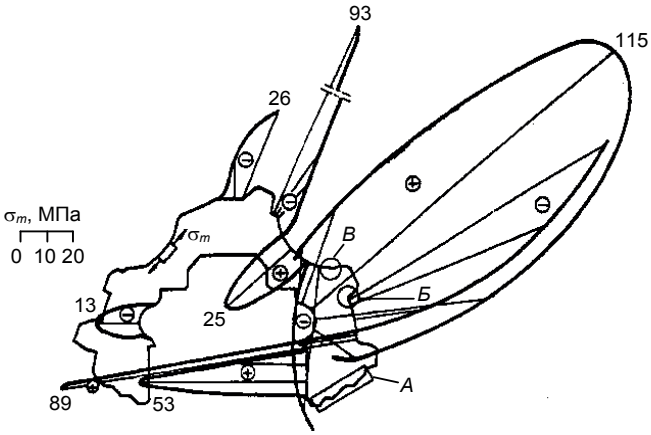

Рисунок 3. Эпюра напряжений по срезу 1 шарошки долота.

ны, однако максимальные меридиональные напряжения, превосходящие предел текучести, возникают в первой лапе в зоне основания цапфы, что соответствует данным, полученным в работе [8] из результатов моделирования напряженно-деформированного состояния долота. В этой зоне возникают упруго-пластические деформации, величина которых может быть уменьшена, например, путем увеличения радиуса сопряжения соответствующих поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трушкин О. Б. Показатели и параметры работы долот при стендовом бурении // Нефтегазовое дело. 2006. № 1. URL: http://ogbus.ru/article/pokazateli-i-parametry-raboty-dolot-pri-stendovom-burenii
2. Naganawa S. Feasibility study on roller-cone bit wear detection from axial bit vibration // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2012. Vol. 82/83. P. 140–150.
3. Rashidi B., Hareland G., Wu Z. Performance, simulation and field application modeling of rollercone bits // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 133. P. 507–517.
4. He W., Chen Y., He J., Xiong W., Tang T., Oujang H. Spherical contact mechanical analysis of roller cone drill bits journal bearing // Petroleum. 2016. Vol. 2, Issue 2. P. 208–214.
5. Симисинов Д. И., Шестаков В. С., Афанасьев А. И. Моделирование напряженно-деформированного состояния одношарошечного бурового долота с раздельной конструкцией корпуса // Изв. вузов. Горный журнал. 2015. № 7. С. 22–26.
6. Барвинок В. А, Бикбулатов И. К., Блинков О. Г. и др. Современные шарошечные долота, проблемы их совершенствования и повышения надежности. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2000. 190 с.
7. Блинков О. Г., Мосеев Д. А. Современные шарошечные долота. Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2000. 66 с.
8. Боярских Г. А., Симисинов Д. И. Ретроспективный анализ исследований и предпосылки обеспечения надежности бурового инструмента // Изв. вузов. Горный журнал. 2009. № 7. С. 58–65.

REFERENCES

1. Trushkin O. B. 2006, *Pokazateli i parametry raboty dolot pri stendovom burenii* [Indicators and parameters of the drill bit during bench drilling]. *Neftegazovoe delo* [Oil and Gas Business], no. 1.
2. Shigemi Naganawa, 2012, Feasibility study on roller-cone bit wear detection from axial bit vibration. Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 82–83, pp. 140–150.
3. Behrad Rashidi, Geir Hareland, Zebing Wu, 2015, Performance, simulation and field application modeling of rollercone bits, Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 133, pp. 507–517.
4. Wei He, Yang Chen, Junchao He, Weiling Xiong, Tong Tang, Hao OuYang, 2016, Spherical contact mechanical analysis of roller cone drill bits journal bearing, Petroleum, vol. 2, no. 2, pp. 208–214.
5. Simisinov D. I., Shestakov V. S., Afanas'ev A. I. 2015, *Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya odnosharoshechnogo burovogo dolota s razdel'noy konstruktsiey korpusa* [Simulation of stress-strain state of the single-roller cone drill bit with separate casing design]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 22-26.
6. Barvinok V. A., Bikbulatov I. K., Blinkov O. G., Gladkikh V. N., Ishchuk A. G., Moseev D. Yu., Torgashov A. V. 2000, *Sovremennye sharoshechnye dolota, problemy ikh sovershenstvovaniya i povysheniya nadezhnosti* [Modern roller cone bits, problems of their improvement and reliability], Samara,190 p.
7. Blinkov O. G., Moseev D. A. 2000, *Sovremennye sharoshechnye dolota* [Modern roller cone bits], Samara, 66 p.
8. Boyarskikh G. A., Simisinov D. I. 2009, *Retrospektivnyy analiz issledovaniy i predposylki obespecheniya nadezhnosti burovogo instrumenta* [Retrospective analysis of research and prerequisites of ensuring the reliability of drilling tool]. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 7, pp. 58–65.

Олег Геннадьевич Блинков,
e-mail: blinkovog@gmail.com
Уральский Федеральный университет им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина
Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Сергей Георгиевич Фролов,
prorector_uch@ursmu.ru
Станислав Анатольевич Майоров,
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Oleg Gennad'evich Blinkov,
e-mail: blinkovog@gmail.com
Ural State Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin
Ekaterinburg, Russia

Sergey Georgievich Frolov,
prorector_uch@ursmu.ru
Stanislav Anatol'evich Mayorov,
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia