

2. Катанов, Ю. Е. Цифровой керн: аппроксимационные модели текстурных особенностей пустотного пространства песчаников / Ю. Е. Катанов, А. К. Ягафаров, А. И. Аристов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2023. – Т. 47, № 2 (110). – С. 33–42.
3. Многомасштабные цифровые модели керна: практика применения / И. Д. Магдеев, И. А. Варфоломеев, Н. В. Евсеев [и др.] // ПРОнефть. Профессионально о нефти. – 2024. – Т. 9, № 1 (31). – С. 183–191.
4. МакФи, К. Лабораторные исследования керна: гид по лучшим практикам / К. МакФи, Дж. Рид, И. Зубизаретта. – Москва – Ижевск : Ин-т компьютер. исслед., 2018. – 924 с.

УДК 622.24.053.6

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАКОПЛЕННОГО УСТАЛОСТНОГО ИЗНОСА БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

М. Г. Гегедеш, Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

А. А. Туркевич

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Выполнен анализ современных методов оценки накопленного усталостного износа труб буровой колонны. Предложен алгоритм динамического расчета накопленной усталости каждой используемой при проходке скважин нефтяных месторождений трубы на основе решения задачи по определению прочности и усталости ее материала в статической постановке для каждого фиксируемого момента времени проходки. Определены необходимые исходные данные для реализации алгоритма.

Ключевые слова: буровая колонна, усталостные повреждения, износ буровой трубы, алгоритм расчета накопленного износа.

MODERN APPROACHES TO ASSESSING THE ACCUMULATED FATIGUE WEAR OF DRILLING PIPES

M. G. Gegedesh, N. V. Bocharov, V. M. Tkachev

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

A. A. Turkevich

RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

The analysis of modern methods for assessing of the accumulated drill string pipes fatigue wear is performed. The article proposes an algorithm for dynamic calculating of the accumulated fatigue of each pipe used in drilling wells based on solving the problem of determining the pipe material strength and fatigue in a static statement for each recorded drilling time moment. The necessary initial data for the algorithm implementation are determined.

Keywords: drill string, fatigue damage, drilling pipe wear, calculation algorithm for accumulated fatigue wear.

В настоящее время на нефтяных месторождениях Республики Беларусь увеличивается количество скважин со сложным профилем – наклонно-направленные скважины с протяженным горизонтальным участком. При бурении таких скважин возникает сложное напряженно-деформированное состояние в буровых трубах (БТ), которое вызывает рост инцидентов, связанных с усталостным разрушением бурового инстру-

мента. Подобные инциденты приводят к непроизводительным затратам времени и, как следствие, к ухудшению технико-экономических показателей бурения. Повышаются риски возникновения аварийных ситуаций, утери дорогостоящего оборудования, в том числе с радиоактивными источниками [1]. Современные технологии позволили автоматизировать основные процессы и структурировать существующий порядок работ, однако до сих пор существуют нерешенные проблемы, одной из которых является мониторинг полного жизненного цикла БТ и прогнозирование накопления усталостных повреждений. В большинстве случаев выход из строя БТ связан с усталостным разрушением, которое начинается с микротрещин в результате воздействия переменных напряжений в процессе строительства скважины (бурения). В настоящее время отсутствуют эффективные методы контроля накопленных усталостных повреждений или остаточной прочности трубы при заданном уровне напряжений. В связи с этим необходима система более достоверной оценки состояния БТ, которая будет учитывать весь перечень факторов, влияющих на скорость накопления усталостных повреждений в теле трубы, и позволит рассчитывать (прогнозировать) накопленную усталость БТ, используя данные режимов бурения и параметров скважин. Понимание механизма накопления усталостного износа, приводящего к выходу из строя БТ, дает возможность управлять этим процессом, существенно снизить затраты на содержание фонда БТ и уменьшить количество инцидентов со сломом или разрывом труб [2].

Цель данной работы – разработка алгоритма расчета усталостного износа БТ на основе данных считывания геолокационных RFID-меток (радиочастотная идентификация), режимных параметров бурения и инклинометрии скважины.

Объекты и методики исследований. В работе исследовалось напряженно-деформированное состояние БТ в процессе бурения скважины. Исходными данными для расчета усталостного износа БТ являлись: считывание вмонтированных в муфту каждой БТ RFID-меток с последующим определением местоположения каждой трубы в бурильной колонне; режимно-технологические параметры бурения, запись которых велась набором датчиков станции геолого-технологических исследований; параметры, характеризующие пространственное положение скважины, в частности, параметр искривления скважины.

Результаты исследований и их обсуждение. В общепринятых мировых стандартах, регулирующих процессы строительства скважины, описаны несколько подходов к оценке накопленного усталостного износа БТ. Например, в стандарте DS-1 [3] рассчитываются условные баллы накопленного износа. При этом расчет производится не для каждой отдельной трубы, а для комплекта труб. Также затруднительно определить нормативное число баллов, которое бы указывало на полный износ БТ. Наиболее подходящим, по нашему мнению, является классический подход кумулятивного усталостного повреждения, описанный в API RP 7G [4] и API IADC DrillingManual [5]. Данный подход заключается в определении процентного соотношения между максимально возможным количеством циклов нагружения трубы к количеству циклов нагружения, совершенных в текущем интервале бурения. Затем для расчета накопленного усталостного износа необходимо просуммировать износ, который приобрела труба на каждом из расчетных интервалов.

Предлагаемый в данной работе алгоритм расчета накопленного усталостного износа БТ заключается в следующем:

- 1) подбор исходных данных для реализации расчета накопленной усталости каждой трубы бурильной колонны в соответствии с разработанным алгоритмом;

- 2) расчет параметров каждой буровой трубы колонны, обуславливающих их массово-геометрическими характеристиками;
- 3) восстановление последовательности БТ в буровой колонне на основе данных считывания RFID-меток;
- 4) загрузка фактической инклинометрии в расчетный модуль;
- 5) определение характеристик буровой колонны в исследуемый момент времени;
- 6) расчет осевых напряжений для каждой буровой трубы в рассматриваемый момент времени;
- 7) вычисление касательных напряжений (от кручения) для каждой трубы для исследуемого момента времени;
- 8) определение радиальных и окружных напряжений для каждой трубы в рассматриваемый момент времени;
- 9) расчет максимальных изгибающих напряжений с учетом искривления скважины для каждой трубы колонны в рассматриваемый момент времени;
- 10) вычисление расчетного напряжения на основе эквивалентных по Треске;
- 11) определение степени накопленного усталостного износа в материале каждой трубы.

Расчет необходимо проводить для каждой операции, в которой происходит вращение буровой колонны и наблюдается нагрузка на долото – операции бурения и проработки.

Полученные результаты расчета усталостного износа по предлагаемому алгоритму (рис. 1) согласуются с предположением, что наибольший износ в теле БТ возникает при наибольших изгибающих напряжениях, которые, в свою очередь, появляются на участках с большей интенсивностью искривления ствола скважины.

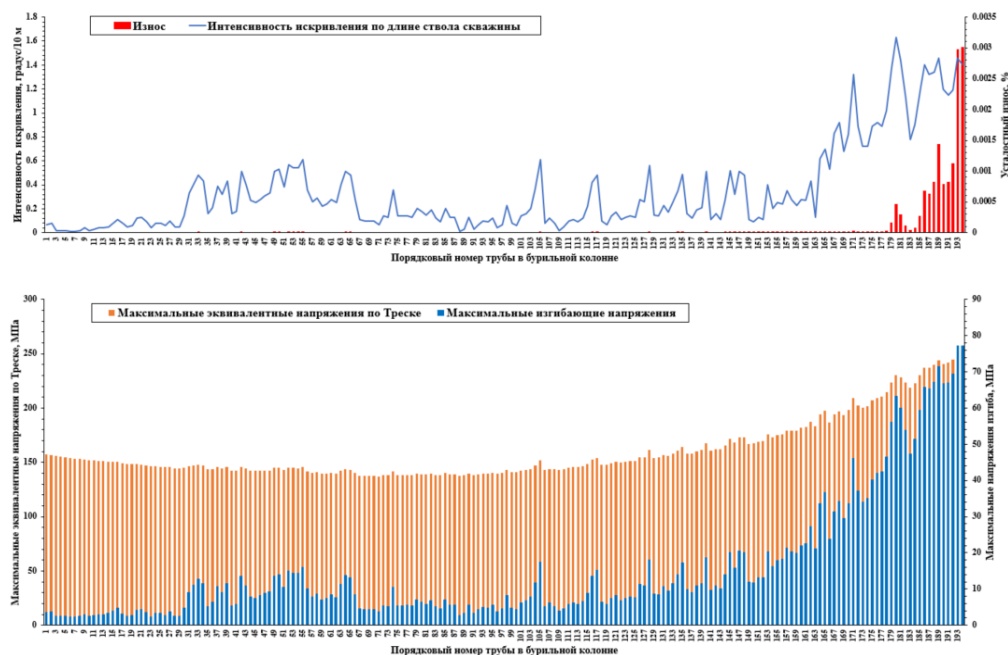


Рис. 1. Результаты расчета изгибающих, эквивалентных напряжений и усталостного износа каждой БТ в буровой колонне за одну операцию бурения (длительность операции – 27 мин, проходка – 4,1 м)

Таким образом, предлагаемый алгоритм учета усталостного износа БТ позволяет существенно повысить экономическую эффективность бурения, снизить аварийность по сравнению с традиционными подходами, заключающимися в отбраковке труб по наработке всего комплекта БТ.

Л и т е р а т у р а

1. Прогнозирование остаточного ресурса бурильных труб / Д. Л. Бакиров, Д. Я. Патрушев, А. К. Шириев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2023. – № 12 (372). – С. 13–18. – DOI 10.33285/0130-3872-2023-12(372)-13-18
2. Gubaidullin, R. I. Innovative approach to analysis drilling tool works / R. I. Gubaidullin // Society of Petroleum Engineers – SPE Russian Petroleum Technology Conference, 12–15 oct. 2021. – Virtual, Online, 2021. – DOI 10.2118/SPE-206458-MS
3. Стандарт DS-1. Инспекция бурильных колонн / Т. Х. Хилл, Т. М. Вадсворт, К. Бранч, Б. Хаббарт. – Houston, TX : TH HILL Associates, Inc, 2004. – Т. 3. – 253 с.
4. Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits : API RP 7 G. – 14th edition. – Washington : API, 1998. – DC : Aug. 1.
5. IADC Drilling Manual // International Association of Drilling Contractors, March–Apr. 2000. – Vol. 11.

УДК 620.178.4/6

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИНДЕНТИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОДУЛЯ ЮНГА ГОРНЫХ ПОРОД ИЗУЧАЕМОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Н. В. Бочаров, В. М. Ткачев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Приведены результаты исследования изменчивости модуля Юнга горных пород методом индентирования. Особенностью испытания методом индентирования является небольшая область контакта породы и индентора, что делает возможным исследования небольшого локально однородного объема горной породы. Такой подход позволяет получить полное представление о механических свойствах всех имеющихся на данной глубине механических фаций, что невозможно осуществить стандартными испытаниями на полноразмерных образцах ввиду значительной неоднородности карбонатных горных пород. Расширенный объем исходной информации об упругих свойствах горных пород направлен на улучшение геомеханических моделей, применяемых для проектирования дизайна гидроразрыва пласта и т. д.

Ключевые слова: геомеханика, горные породы, механические свойства, индентирование, неразрушающий метод, модуль Юнга.

APPLICATION OF THE INDENTATION METHOD TO ASSESS THE VARIABILITY OF THE YOUNG'S MODULUS OF THE ROCKS OF THE STUDIED GEOLOGICAL SECTION

N. V. Bocharov, V. M. Tkachev

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

The paper presents the results of studying the variability of the Young's modulus of rocks using the indentation method. An advantage of the indentation test is a small area of contact between the rock and the indenter, which makes it possible to study a small locally homogeneous volume of rock. This approach allows us to get a complete representation of the mechanical properties