

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ІНДИКАТОРІВ ВТОМИ

*М.В.Лисканич, А.П.Джус*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42430,  
e-mail: public@nung.edu.ua*

*Проведено експериментальні дослідження напруженого стану замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб та індикаторів втоми для їх контролю. Встановлено співпадіння їх результатів з результатами, отриманими для моделі з використанням скінченноелементного аналізу. Обґрунтовано достовірність теоретичних досліджень і можливість використання програмних продуктів на базі скінченноелементного аналізу при проектуванні конструкцій складної конфігурації, якими є індикатори втоми.*

*Ключові слова:* навантаження, напруження, деформація, замкове різьбове з'єднання, індикатор втоми.

*Проведены экспериментальные исследования напряженного состояния замковых резьбовых соединений утяжеленных бурильных труб и индикаторов усталости для их контроля. Зафиксировано совпадение их результатов с результатами, полученными для модели с использованием конечноэлементного анализа. Обоснована достоверность теоретических исследований и возможность использования программных продуктов на базе конечноэлементного анализа при проектировании конструкций сложной конфигурации, которыми являются индикаторы усталости.*

*Ключевые слова:* нагрузка, напряжение, деформация, замковое резьбовое соединение, индикатор усталости

*The tense condition experimental analysis of tool-joints of drillcollar and their fatigue controlling indicators are performed. Coinciding of their data with data recived by means of finite-element evaluation method is set. Authenticity of theoretical investigations and capability of the use of software products on a base to the finite-element evaluation at the construction of constructions of indicators of fatigue has been justified.*

*Key words:* loading, tension, crimp, tool-joint, indicator of fatigue

Під час проектування індикаторів втоми замкових різьбових з'єднань обважнених бурильних труб нами проведено низку теоретичних досліджень, результати яких опубліковані в наукових працях [1, 2, 3, 4]. Але врахувати результати всіх досліджень, встановити спільний вплив багатьох чинників на напружений стан індикаторів досить складно. На даний час широкого застосування при дослідженні напруженого стану різноманітних конструкцій набули програмні продукти (Cosmos Works, ANSYS) на базі скінченноелементного аналізу. Спільною особливістю всіх програмних продуктів є необхідність перевірки отриманих з їх допомогою результатів експериментальним шляхом. Таким чином, з допомогою згаданих вище програмних продуктів, нами було створено ряд конструкцій індикаторів втоми і виділено оптимальну, на нашу думку, конструкцію, здатну найбільш повно відтворювати картину напруженого стану контрольованого різьбового з'єднання. Для підтвердження достовірності результатів теоретичних досліджень експериментальним дослідженням слід піддати як різьбові з'єднання обважнених бурильних труб, що містять індикатори втоми, так і з'єднання без них. У ході досліджень слід встановити:

– картину напружено-деформованого стану ніпельної частини з'єднання при згинуванні його елементів з оптимальним моментом;

– залежність згинальних напружень у з'єднанні, а саме в його небезпечному перерізі, від діючих згинальних навантажень;

– напружено-деформований стан індикатора вдосконаленої конструкції, поміщеного в ніпельну частину різьбового з'єднання, що було згинчене із оптимальним моментом;

– залежність згинальних напружень в індикаторі від зовнішнього згинального навантаження, що діє на бурильну колону.

У ході проведення досліджень було взято за основу методику, наведену в [5]. Для дослідження напружено-деформованого стану замкових різьбових з'єднань та індикаторів втоми, встановлених в них, було виготовлено зразки замків з різьбою 3-121 із сталі 40XH. Загальний вигляд зразка після його закріплення в монтажному вузлі зображено на рисунку 1. Як вимірювальний елемент використовувались тензодавачі, наклеєні на внутрішній поверхні ніпельної частини в осьовому і перпендикулярному до осі напрямках та в спеціальній поздовжній канавці ніпеля, виконаній по твірній конуса різьби шириною 12 мм і глибиною, більшою на 1 мм за висоту профілю різьби (рис. 2).

Для стабілізації значень деформацій, що фіксуються тензодавачами, різьбові з'єднання перед проведенням експерименту згинувались декілька разів з моментом, близьким до оптимального, із застосуванням мастила Р-460.

Для реєстрації зміни напруги, зумовленої деформацією тензодавачів, використовували аналого-цифровий перетворювач, що містить шість каналів вимірювань. Використання ПЕОМ з програмним забезпеченням Power Graph дало

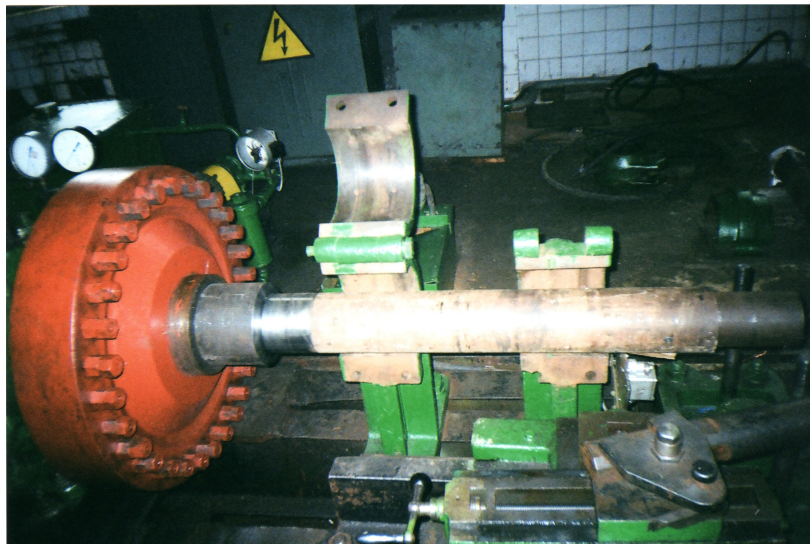


Рисунок 1 – Загальний вигляд стенда і зразка замкової різьби 3-121 після його закріплення в монтажному вузлі

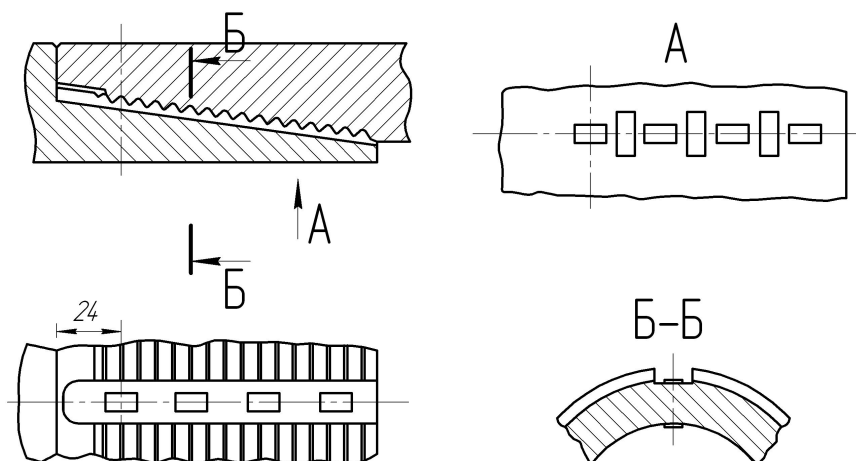


Рисунок 2 – Схема розташування тензодавачів для дослідження напружень в замковому різьбовому з'єднанні обважнених бурильних труб

можливість фіксувати значення напруги впродовж всього часу експерименту.

Для відтворення картини напружено-деформованого стану індикатора втомі, вмонтованого в ніпельній частині згвинченого з'єднання, на внутрішній поверхні індикатора, як і на внутрішній поверхні ніпеля, наклеювалися тензодавачі. Поздовжній переріз індикатора втомі запропонованої конструкції із вказанням схеми розташування тензодавачів поданий на рисунку 3.

Після проведення підготовчих робіт зразки на стенді закріплювали з необхідним зусиллям, що створювалось талевою системою кранбалки і контролювалось динамометром з максимальною величиною вимірювань рівною 30 кН на важелі ключа. Після цього фіксувались значення відносних деформацій тензодавачів, прикріплених на ніпельній частині зразка.

В результаті отримано картину напружено-деформованого стану ніпельної частини, що співпадає з наведеною в [5], а напруження визначене за тензодавачем, розташованим в не-

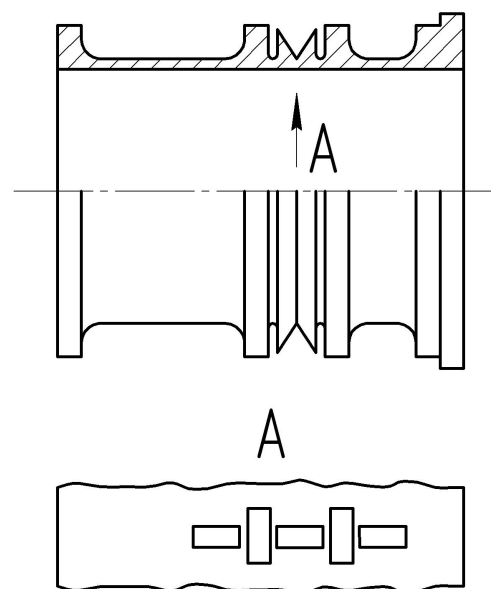
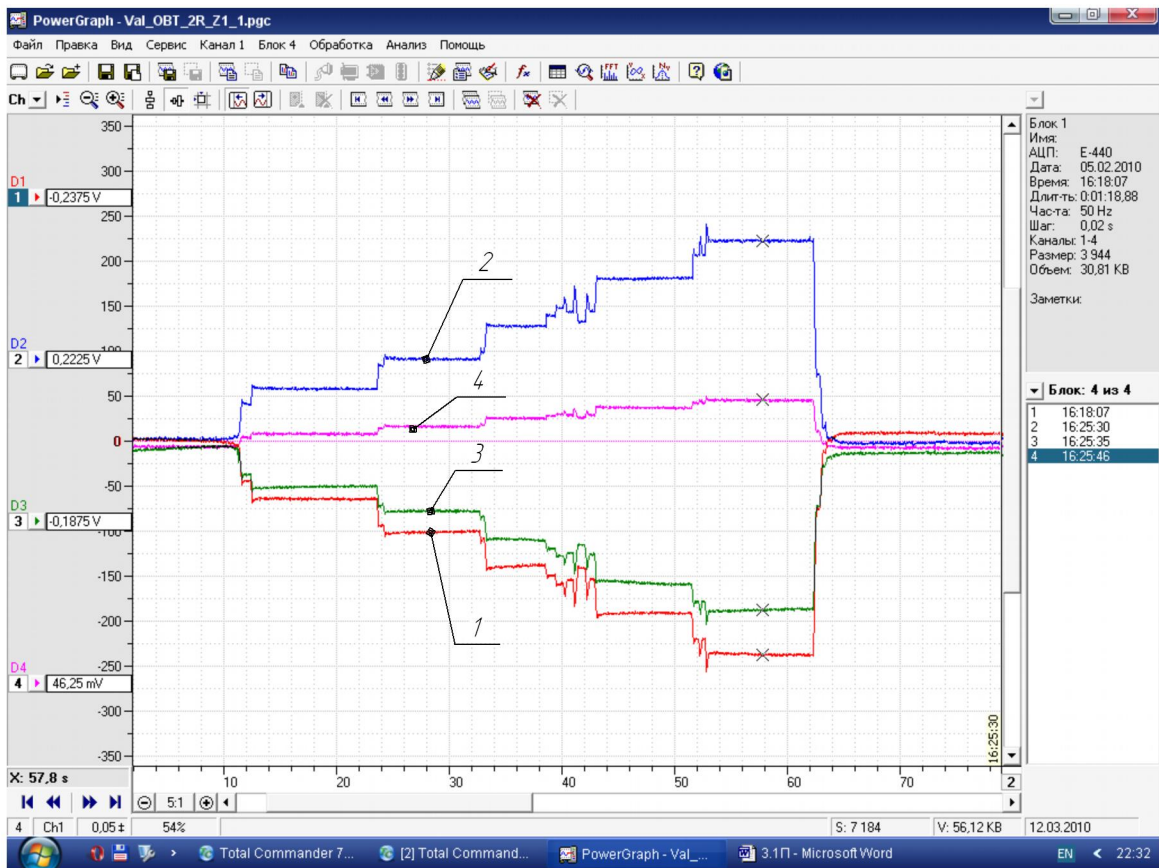


Рисунок 3 – Схема розташування тензодавачів для дослідження напружень в індикаторі



1, 2, 3, 4 – інформація отримана з тензодавачів, що розміщені в канавці, починаючи від більшої основи конуса різьби

Рисунок 4 – Дослідження залежності осьових напружень згвинченого замкового різьбового з’єднання 3-121 від згинальних навантажень при  $M_{гг}^{max} = 17,5 \text{ кНм}$

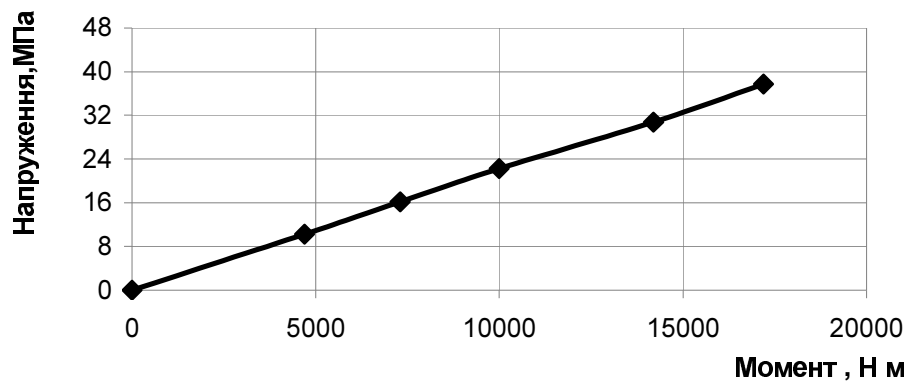


Рисунок 5 – Залежність осьових згинальних напружень в небезпечному перерізі з’єднання 3-121, згвинченого з моментом  $M_{згв} = 15 \text{ кНм}$ , від згинальних навантажень

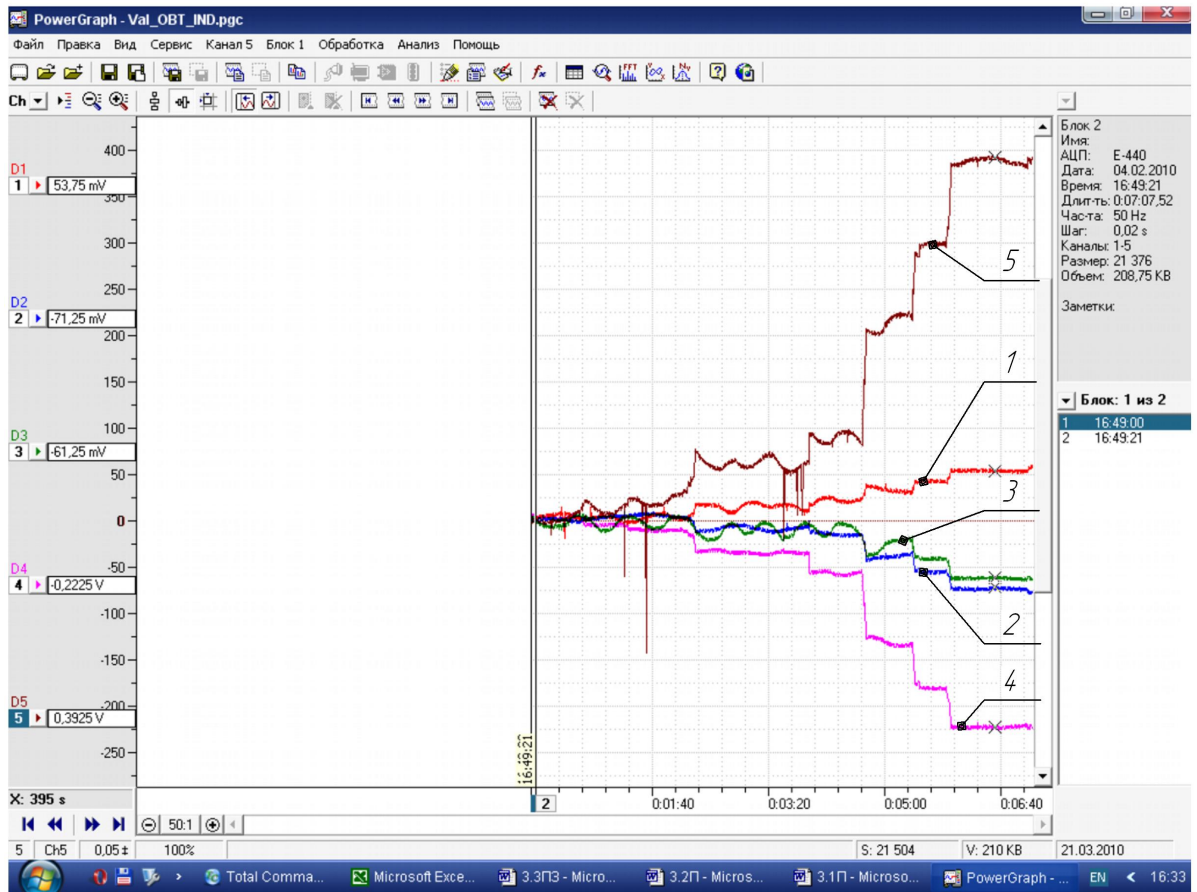
безпечному перерізі ніпеля (на відстані 24 мм від більшої основи конуса) після згвинчування різьбового з’єднання з моментом  $M_{згв} = 15 \text{ кНм}$ , становило 220 МПа.

Після цього дане з’єднання було навантажене згинальним моментом, величину якого поступово збільшували, фіксуючи при цьому покази приладів. Відтак обчислювали напруження, що виникали під дією згинальних навантажень. Результати даного етапу досліджень зображено на рисунку 4.

Серед отриманих результатів виділено залежність згинальних напружень в небезпечному

перерізі замкового різьбового з’єднання 3-121 (інформація з тензодавач під позицією 1 на рис. 4), згвинченого з моментом  $M_{згв} = 15 \text{ кНм}$ , від згинальних навантажень (рис. 5).

Для відтворення картини напружено-деформованого стану індикатора втомивмонтованого в ніпельній частині з’єднання, дослідження проводились також у два етапи. На першому етапі досліджено вплив моменту згвинчування різьбового з’єднання 3-121 на напружений стан індикатора втомивмонтованого підлягали зони, близькі до концентратора напружень (рис. 3). Давачі розміщені в коловому



1 – давач під концентратором напружень; 2,3 – здавачі, зорієнтовані в осьовому напрямку поза зоною концентратора напружень; 4 – давач, розташований в коловому напрямку ближче до меншої основи конуса і підключений до каналу з подільником напруги; 5 – давач, розташований в коловому напрямку ближче до більшої основи конуса

**Рисунок 6 – Дослідження напруженого стану індикатора втоми, встановленого в замковому різьбовому з’єднанні 3-121, залежно від моменту згинчування з’єднання при  $M_{згв}^{max} = 15 \text{ кНм}$**

напрямку давали інформацію про створюване в парі „ніпель-індикатор” навантаження, зумовлене деформацією внутрішньої поверхні ніпеля. Покази інших давачів відображали середній рівень осьових напружень в зонах, близьких до зон взаємодії індикатора з ніпелем. У ході цих досліджень один із давачів, орієнтованих в коловому напрямку, а саме розташований ближче до меншої основи конуса, був підключений до каналу з подільником напруги. Таким чином, значення напруги, що виводились по даному каналу на екран, були зменшеними вдвічі (рис. 6).

За результатами досліджень напруженого стану індикатора встановлено, що колові напруження в перерізах, що зазнають дії охоплюючої деталі – ніпеля, приймають значення 186 і 169 МПа (в напрямку від меншої основи конуса). Якщо розглянути результати, отримані для аналогічних умов у програмному середовищі ANSYS (рис. 7), можна помітити, що середні значення колових напружень у відповідних перерізах відрізняються відповідно на 1,2 і 10,7 МПа. Таким чином, нами зафіксована розбіжність між результатами, отриманими двома шляхами в межах 6,3%.

Аналізуючи дані, отримані давачем, розташованим під концентратором напружень та за межами зон контакту індикатора і ніпеля, необхідно взяти до уваги картину напруженого стану індикатора, отриману для його моделі. Для картини розподілу осьових напружень характерною є суттєва зміна рівня напружень на ділянках малої довжини (рис. 8).

Так, виділивши зону під концентратором напружень співмірну із базовою довжиною використовуваних тензодавачів, можна говорити про зміну напружень від +72 до -178 МПа. Тому, зважаючи на усереднене значення деформації, отримане за тензодавачем, для оцінки точності результатів необхідно брати до уваги усереднене значення напружень на даній ділянці, зафіксованих на відповідній внутрішній поверхні моделі індикатора. Визначивши середній рівень напружень на довжині 10 мм в зоні під концентратором згідно картини напруженого стану моделі індикатора, було зафіксовано збіжність результатів з відхиленням на 6,7%.

При дослідженні сприйняття індикаторами втоми згинальних навантажень особливу увагу приділено зміні напружень у зоні під концентратором напружень індикатора. Результати згину

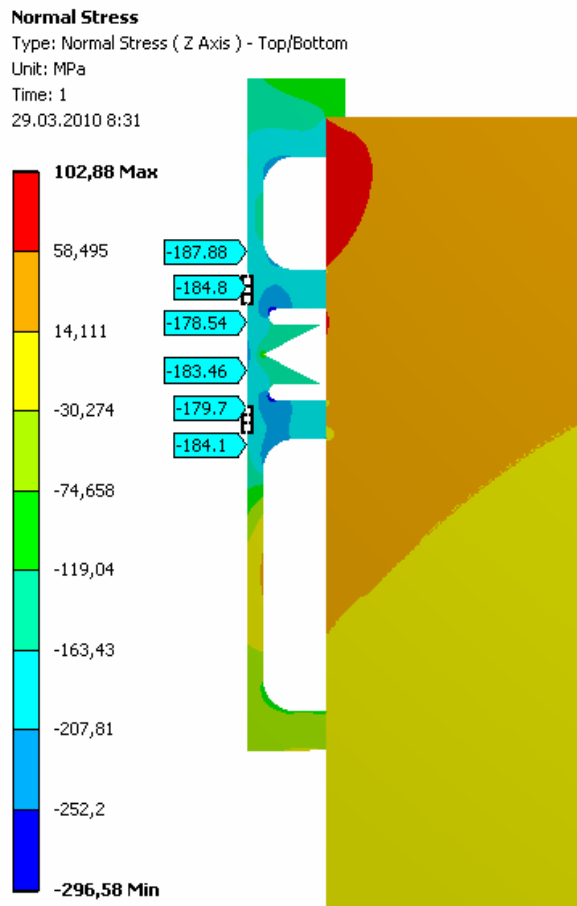


Рисунок 7 – Розподіл колових напружень на внутрішній поверхні індикатора, встановленого в різьбове з'єднання із зазором 0,02 мм

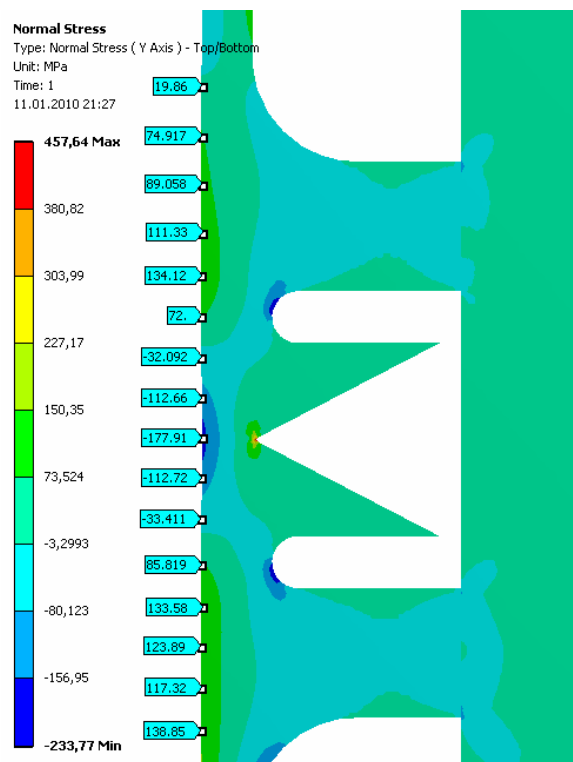
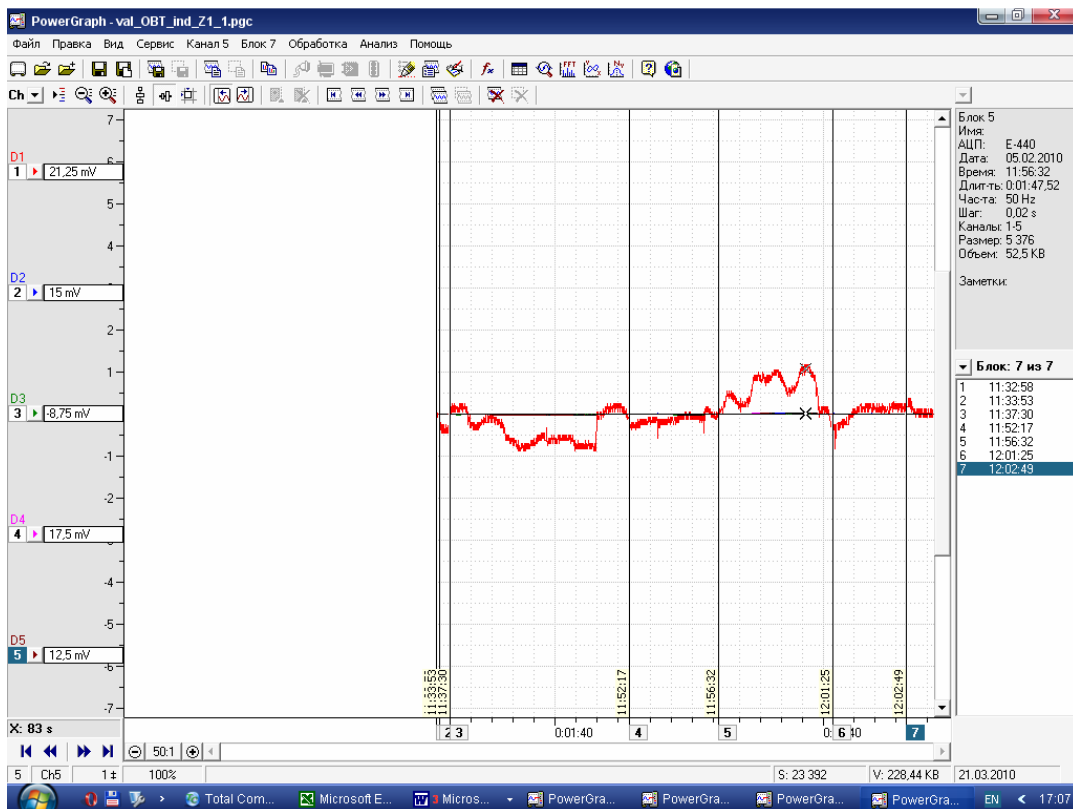


Рисунок 8 – Розподіл осьових напружень на внутрішній поверхні індикатора, встановленого в різьбове з'єднання із зазором 0,02 мм



**Рисунок 9 – Дослідження напруженого стану індикатора втоми, встановленого в замковому різьбовому з’єднанні 3-121, залежно від величини моменту згину**

зразка фіксувалися в чотирьох його положеннях у двох взаємноперпендикулярних площинах (тобто по колу через кожні  $90^\circ$ ). Зміна напруги для тензодавача у цих положеннях зразка від навантаження подана на рис. 9.

Як бачимо, сприйняття індикатором згинальних навантажень є очевидним. При встановленні рівня згинальних напружень на контрольованій ділянці необхідним є виконання аналогічних, як і на попередньому етапі, дій щодо визначення їх усередненого значення в контрольованій зоні. Середні напруження в контрольованій зоні на моделі індикатора, отримані в середовищі ANSYS, за умови дії згинального навантаження  $M_{зг} = 18 \text{ кНм}$  рівні 9,12 МПа. Згідно з експериментальними дослідженнями шляхом тензометрування при аналогічному згинальному навантаженні отримано значення напружень 8,83 МПа. Це свідчить про наявність похибки між результатами 3,3%.

Встановлено, що під дією зовнішніх згинальних навантажень на елементи бурильної колони в концентраторі напружень запропонованої конструкції індикаторів виникають згинальні напруження на рівні напружень в небезпечному перерізі контрольованого різьбового з’єднання.

Таким чином, нами підтверджено достовірність результатів теоретичних досліджень та встановлено можливість використання програмних продуктів на базі скінченноелементного аналізу у ході проектування індикаторів втоми замкових різьбових з’єднань.

### Література

1. Лисканич М. Визначення умов кріплення та розмірів індикаторів накопичення втомних пошкоджень / Михайло Лисканич, Андрій Джус // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – Вип. 38 (Том 2). – С. 153-157. – Серія: Буріння нафтових і газових свердловин
2. Лисканич М. Дослідження залежності напруженого стану індикатора від параметрів його зони контакту з ніпелем різьбового з’єднання / Михайло Лисканич, Андрій Джус // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – № 2(3). – С. 44-48.
3. Лисканич М. Методика визначення геометричних параметрів концентратора напружень індикаторів втоми / Михайло Лисканич, Андрій Джус // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2002. – № 2(3). – С. 25-28.
4. Лисканич М. Вплив умов взаємодії індикаторів з контрольованими елементами на їх довговічність / Михайло Лисканич, Андрій Джус // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2006. – №2(14). – С. 99-101.
5. Щербюк Н.Д. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей / Н.Д. Щербюк, Н.В. Якубовский. – М.: Недра, 1974. – 235с.

*Стаття постуила в редакційну колегію  
03.03.10  
Рекомендована до друку професором  
Ю.Д.Петриною*