

# ІНФОРМАЦІЙНІ ПРОГРАМИ ТА КОМП'ЮТЕРНО- ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

---

УДК 622.24.05

DOI: 10.31471/1993-9965-2021-2(51)-66-72

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІЩЕННЯ ОСНОВНОЇ ПЛОЩИНИ РІЗЬБИ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАМКОВОГО РІЗЬБОВОГО З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ

*О. Я. Фафлей, В. В. Михайлюк, Р. О. Дейнега, В. О. Мельник, М. В. Шатан,  
О. В. Пригоровський*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. +38 068 2130852,  
e-mail: deynega2004@i.ua*

*На сьогодні спорудження свердловин неможливо уявити без використання різьбових з'єднань. Однак, не зважаючи на постійне вдосконалення цих різьбових з'єднань, аварійність не зменшується. Особливістю експлуатації різьбових з'єднань елементів бурильної колони є дія на них значних крутих, згинних моментів та навантажень розтягу і стиску, тому дослідження їх напружено-деформованого стану залишається актуальним. Для визначення напружено-деформованого стану різьбового з'єднання, у якому є відхилення одного з найважливіших параметрів різьби, а саме, розташування основної площини, побудовано тримірну модель з'єднання NC50 для дослідження методом кінцевих елементів. У результаті проведеного імітаційного моделювання різьбового з'єднання, основна площина якого розміщена відповідно до вимог нормативних документів, встановлено розподіл напружень по впадинах різьби ніпеля, згідно з яким максимальні напруження виникають у впадинах витків, розміщених ближче до опорного торця, а з віддаленням від них поступово знижуються. Такий розподіл напружень, отриманий за допомогою імітаційного моделювання, співпадає із відомими теоріями. Проведені імітаційні моделювання, за яких розміщення основної площини зміщено на 2 мм в бік опорного торця ніпеля, показали зміну розподілу та зростання величини напружень по впадинах різьби ніпеля та зміну величини контактного тиску на опорних торцях ніпеля і муфти. Варто зауважити, що такі зміни негативно вплинуть на роботу різьбового з'єднання. Дослідження різьбового з'єднання, у якому основна площина зміщена на 2 мм у бік від опорного торця ніпеля, показали зростання напружень по впадинах витків різьби ніпеля та різке зниження величин контактного тиску на опорних торцях ніпеля та муфти. За таких умов різьбове з'єднання зруйнується за малої кількості циклів роботи.*

*Ключові слова: імітаційне моделювання, різьбове з'єднання, різьба, основна площина, навантаження, напруження.*

*На данный момент бурение скважин невозможно представить без использования резьбовых соединений. Несмотря на постоянное совершенствование этих резьбовых соединений, их аварийность не уменьшается. Особенностью эксплуатации резьбовых соединений элементов буровой колонны является воздействие на них значительных крутящих, изгибающих моментов и нагрузок растяжения и сжатия, поэтому актуальным остается исследование их напряженно-деформированного состояния. Для определения напряженно-деформированного состояния резьбового соединения, в котором существует отклонение одного из важнейших параметров резьбы, а именно расположение основной плоскости, построена трехмерная модель соединения NC50 с целью проведения исследования по методу конечных элементов. В результате проведенного имитационного моделирования резьбового соединения основная плоскость которого размещена*

в соответствии с требованиями нормативных документов, установлено распределение напряжений по впадинах резьбы ниппеля, согласно которому максимальные напряжения возникают во впадинах витков, размещенных ближе к опорному торцу, а с затем постепенно снижаются. Такое распределение напряжений, полученное с помощью имитационного моделирования, совпадает с известными теориями. Проведенные имитационные моделирования, при которых размещение основной плоскости смещено на 2 мм в сторону опорного торца ниппеля, показали изменение распределения, увеличение напряжений по впадинах резьбы ниппеля и изменение величины контактного давления на опорных торцах ниппеля и муфты. Стоит заметить, что такие изменения негативно влияют на работу резьбового соединения. Исследование резьбового соединения, в котором основная плоскость смещена на 2 мм в сторону от опорного торца ниппеля, показали рост напряжений во впадинах витков резьбы ниппеля и резкое снижение величин контактного давления на опорных торцах ниппеля и муфты. При таких условиях резьбовое соединение разрушится при небольшом количестве рабочих циклов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, резьбовое соединение, резьба, основная плоскость, нагрузка, напряжение.

*Today it is impossible to imagine drilling wells without the use of threaded connections. Despite continuous improvement of these threaded connections, their accident rate does not decrease. The peculiarity of operation of threaded joints of drill string elements is the impact of significant torsional, bending moments and tensile and compression loads on them. That is why the research of their stress-strain state is still important. To determine the stress-strain state of a threaded connection, in which there are deviations of one of the most important thread parameters, namely, the location of the main plane, a three-dimensional model of the NC50 connection has been constructed for study using the finite element method. As a result of the simulation of the thread connection, the main plane of which is placed in accordance with the requirements of regulatory documents, the distribution of stresses on the thread hollows of the nipple has been established, according to which the maximum stresses occur in the hollows of the coils placed closer to the supporting face, and then gradually decrease. This distribution of stresses obtained by simulation coincides with the known theories. Performed simulations, in which the placement of the main plane shifted by 2 mm toward the supporting face of the nipple showed a change in the distribution and growth of the value of stresses on the thread troughs of the nipple and the change in the value of the contact pressure at the supporting ends of the nipple and socket. It is worth noting that such changes will adversely affect the operation of the thread connection. The study of a threaded connection in which the main plane is displaced by 2 mm away from the bearing end of the nipple showed an increase in stresses along the troughs of the threads of the nipple and a sharp decrease in the values of contact pressure at the bearing ends of the nipple and coupling. Under these conditions, the threaded connection will fail in a small number of operating cycles.*

Key words: simulation, screw connection, thread, main plane, loads, stresses.

## **Вступ**

Одними із найважливіших елементів під час спорудження нафтових і газових свердловин є різьбові з'єднання. Широке застосування різьбових з'єднань пояснюється їх простотою і надійністю, зручністю регулювання моменту згвинчування, а також можливістю розбирання і повторного збирання з'єднання.

Особливістю експлуатації таких різьбових з'єднань є дія на них значних крутних, згинних моментів та навантажень розтягу і стиску. Також ці з'єднання досить часто розбираються та збираються.

У зв'язку із зростанням глибини буріння свердловин, збільшенням пластових тисків, впровадженням нових технологій і форсованих режимів процесу спорудження свердловин на сьогодні є необхідними більш досконалі конструкції різьбових з'єднань з високими технічними показниками.

В процесі буріння можуть виникнути аварії, на ліквідацію яких витрачається велика кількість часу і матеріальних засобів, що негативно позначається на техніко-економічних пока-

зниках буріння. Велика кількість аварій відбувається з причини руйнування замкової різьби в бурильних замках, ОБТ, перевідниках тощо [1].

**Мета роботи** полягає у визначенні напружено-деформованого стану різьбового з'єднання елементів бурильної колони залежно від зміщення основної площини різьби ниппеля, викликаного як похибками під час її виготовлення, так і пошкодженнями при експлуатації.

## **Викладення основного матеріалу**

Під час експлуатації елементи бурильної колони багаторазово згвинчуються і розгвинчуються. Їх з'єднання виконують за допомогою спеціального ключа, що забезпечує обертання ниппеля замка відносно нерухомої муфти. Також на різьбове з'єднання діє навантаження від ваги бурильної колони. У процесі згвинчування-розгвинчування відбувається зношення профілю різьби, ослаблення натягу, що, зрештою, знижує ресурс роботи замка елементів бурильних колон.

Отже, збереження і підтримання в процесі експлуатації якості різьб замкових з'єднань є необхідною умовою забезпечення їх ефективної експлуатації.

З метою визначення напружено-деформованого стану різьбового з'єднання, у якому спостерігається відхилення одного з найважливіших параметрів різьби, а саме, розташування основної площини, побудовано тримірну модель з'єднання NC50 для подальшого дослідження за методом кінцевих елементів (рис. 1) [2].

Під час імітаційного моделювання з'єднання навантаження створювалося моментом згвинчування та осьовим навантаженням.

На рис. 2 зображено схему ніпеля без розвантажувальної канавки, на якій показано розміщення основної площини відносно опорного торця ніпеля.

У результаті імітаційного моделювання різьбового з'єднання (без зміщення основної площини) при дії на нього тільки моменту згвинчування отримано розподіл еквівалентних напружень (рис. 3).

Як бачимо, розподіл еквівалентних напружень по витках різьби є нерівномірним. Найбільш навантаженою ділянкою є перша впадина повного витка різьби ніпеля. Максимальне значення еквівалентних напружень у ній становить 576 МПа.

Відомо, що колона бурильних труб під час роботи у свердловині працює як на розтяг (у верхній частині), так і на стиск (у нижній частині). Тому проведено дослідження різьбового з'єднання при одночасній дії на нього моменту згвинчування та осьового розтягуючого навантаження (50000Н). На рис. 4 наведено результати проведених досліджень.

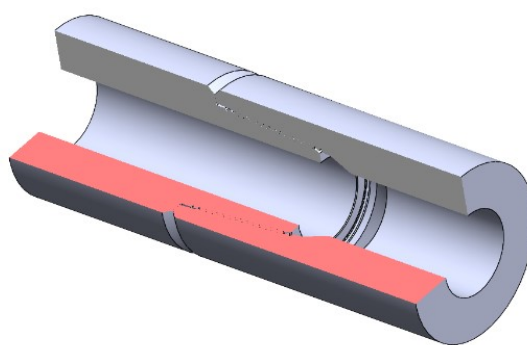


Рисунок 1 – Модель різьбового з'єднання NC50

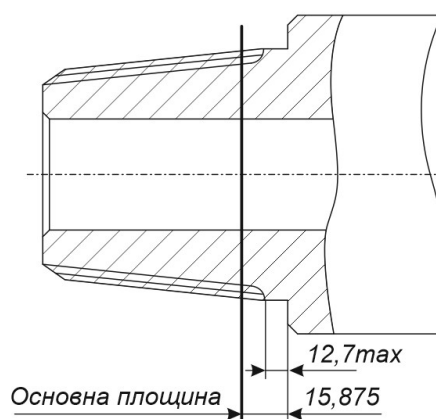


Рисунок 2 – Схема розміщення основної площини на ніпелі

Отже, згідно з рис. 4, при одночасній дії на різьбове з'єднання моменту згвинчування та осьового навантаження максимальні напруження, що виникають у найнебезпечнішій ділянці (впадині витки ніпеля), зростають на 51 МПа порівняно із навантаженням різьбового з'єднання тільки моментом згвинчування.

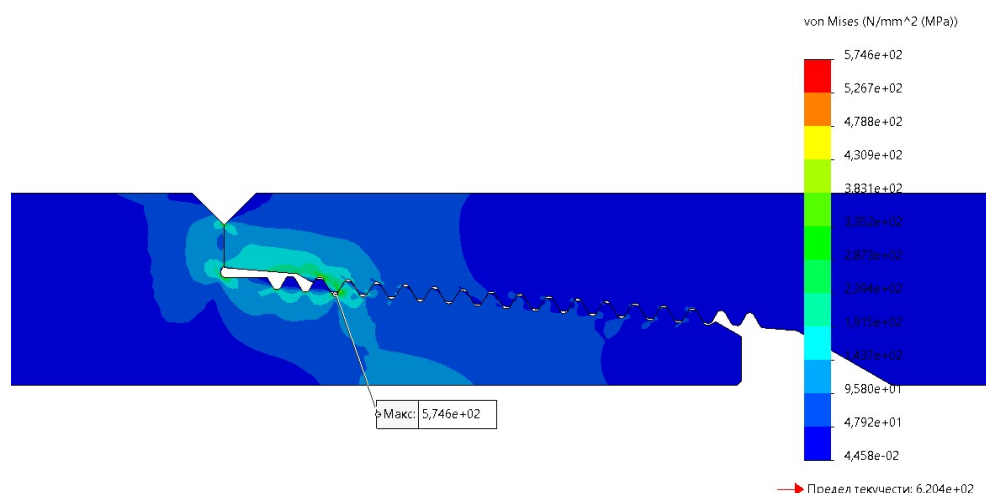


Рисунок 3 – Напружено-деформований стан різьбового з'єднання (при дії моменту згвинчування)

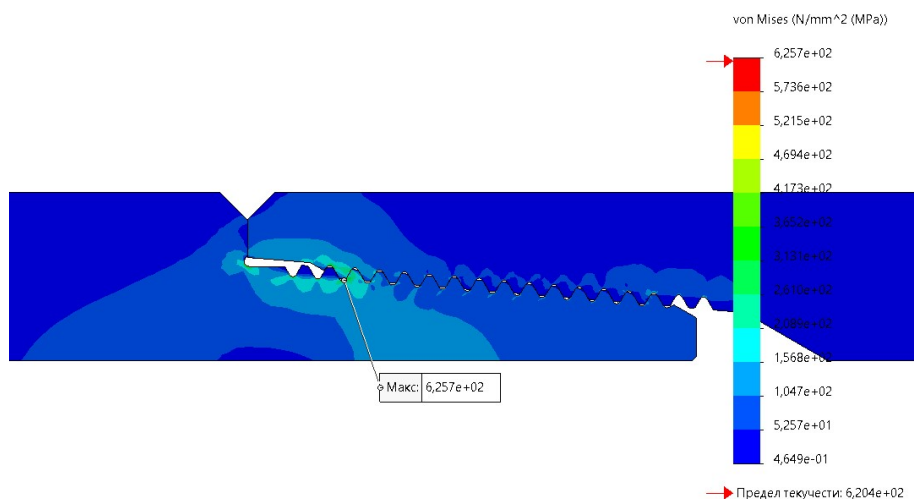


Рисунок 4 – Напружено-деформований стан різбового з'єднання (при дії моменту згинчування та осевого навантаження)

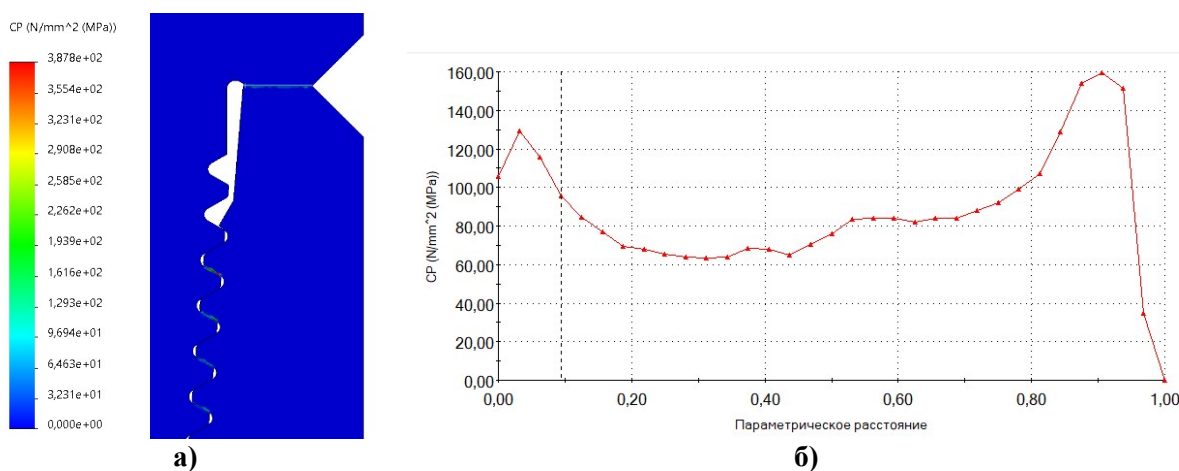


Рисунок 5 – Розподіл контактної тиску у різбовому з'єднанні (а) та по торцю муфти (б)

У наступному дослідженні різбового з'єднання, що має відхилення розміщення основної площини відносно опорного торця ніпеля, воно буде навантажуватись моментом згинчування та осевим зусиллям.

Проте слід зауважити, що зміщення основної площини у будь-який бік відносно опорного торця ніпеля змінить як розподіл напружень у різьбі, так і розподіл та величини контактних тисків на опорних торцях ніпеля та муфти. Тому нижче наведено залежності розподілу як напружень, так і контактної тиску.

На рис. 5 зображено розподіл контактної тиску на торці муфти (точно виготовленого з'єднання згідно з API) під дією навантаження розтягу та моменту згинчування.

Як бачимо, максимальне значення контактної тиску на поверхні муфти складає 160 МПа.

При зміщенні основної площини змінюватиметься напружено-деформований стан з'єднання. Тому із метою його визначення проведено два імітаційні дослідження: при змі-

щенні основної площини на 2 мм в бік торця ніпеля, і на 2 мм від торця ніпеля відносно стандартного розташування, рівного 15,875 мм).

Отже, змістивши основну площину на 2 мм в бік від опорного торця ніпеля, отримали значення 17,875 мм (розмір під позначкою D13) (рис. 6).

На рис. 7 зображено розподіл еквівалентних напружень у з'єднанні при зміщенні основної площини на 2 мм в бік від опорного торця ніпеля, а на рис. 8 – розподіл контактної тиску по торцю муфти такого з'єднання.

На рис. 9 зображено зміну геометричних параметрів різьби ніпеля, а саме, зміщення основної площини в бік до опорного торця ніпеля на 2 мм (стандартно – 15,875, зміщено – 13,875 мм).

На рис. 10 зображено розподіл еквівалентних напружень у з'єднанні при зміщенні основної площини на 2 мм в бік до опорного торця ніпеля, а на рис. 11 – розподіл контактної тиску по торцю муфти.

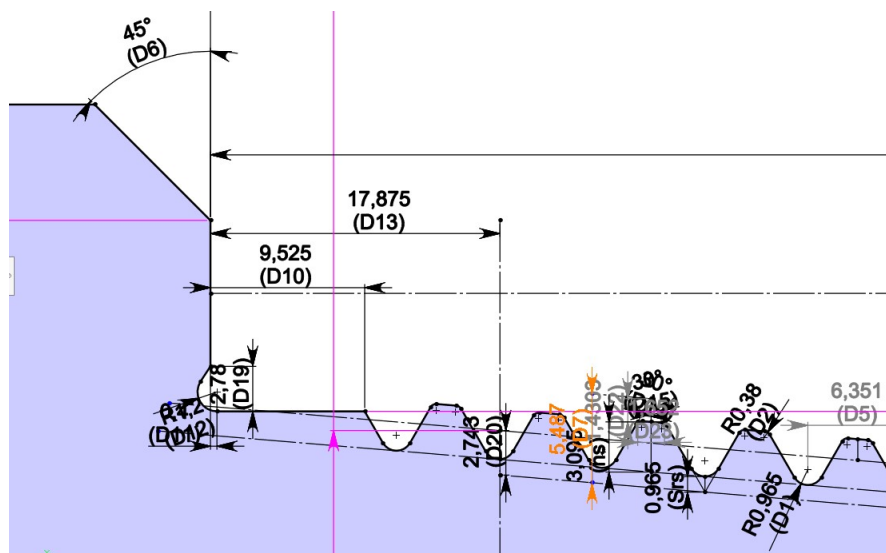


Рисунок 6 – Зміщення основної площини ніпеля на 2 мм (в бік від опорного торця ніпеля)

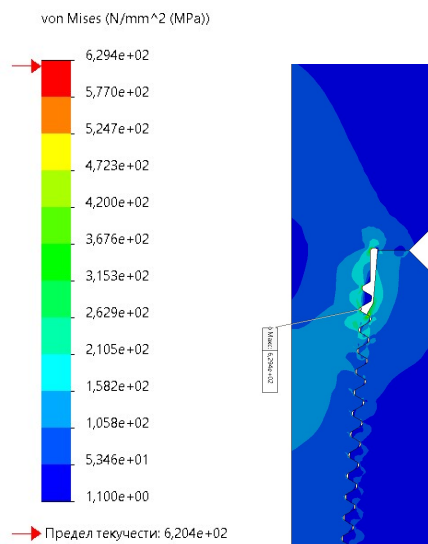


Рисунок 7 – Розподіл еквівалентних напружень у з'єднанні при зміщенні основної площини на 2 мм в бік від опорного торця ніпеля

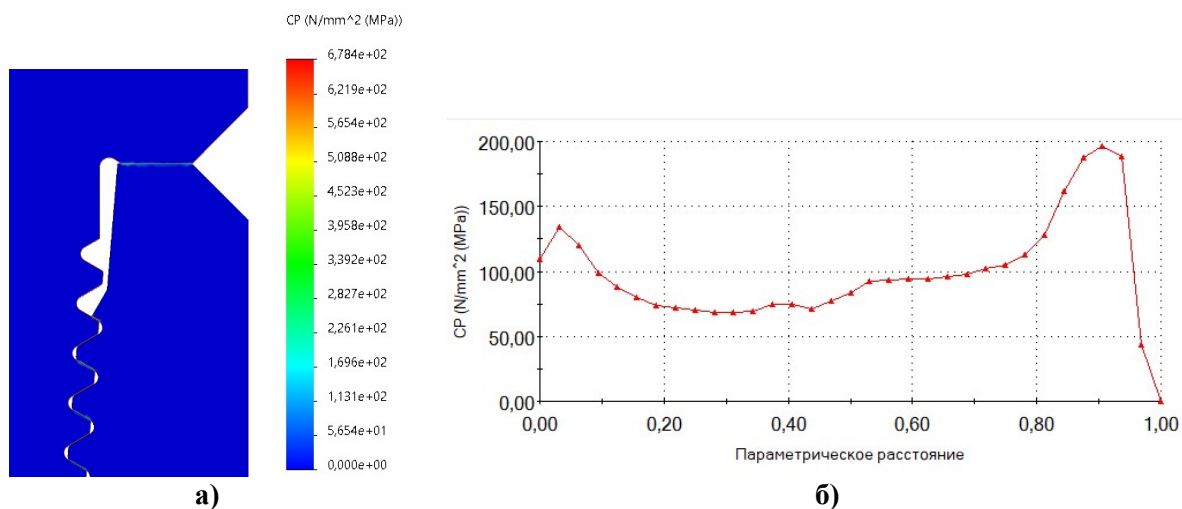


Рисунок 8 – Розподіл контактної тиску у різьбовому з'єднанні (а) та по торцю муфти (б)

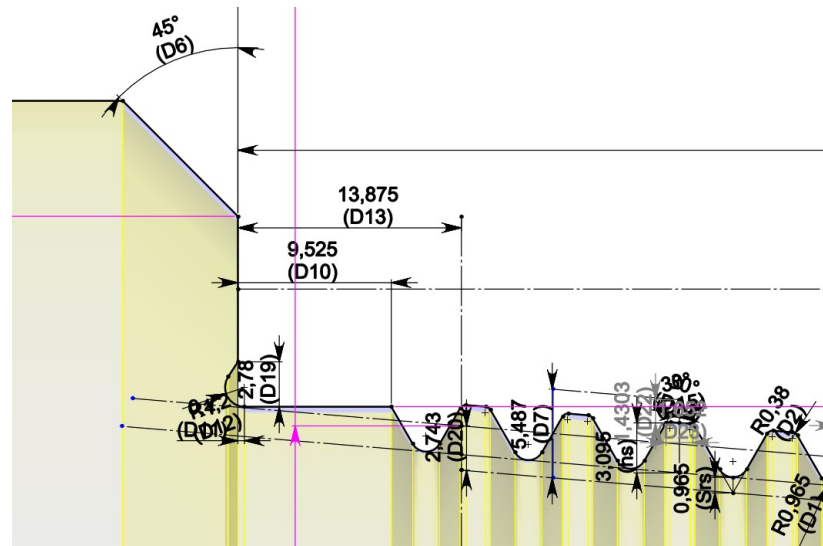


Рисунок 9 – Зміщення основної площини ніпеля на 2 мм (в бік до опорного торця ніпеля)

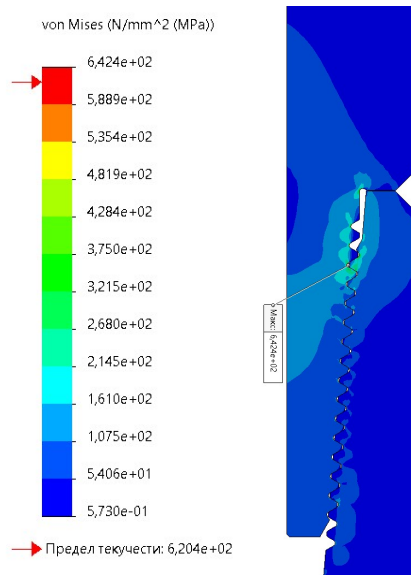


Рисунок 10 – Розподіл еквівалентних напружень у з'єднанні при зміщенні основної площини на 2 мм в бік до опорного торця ніпеля

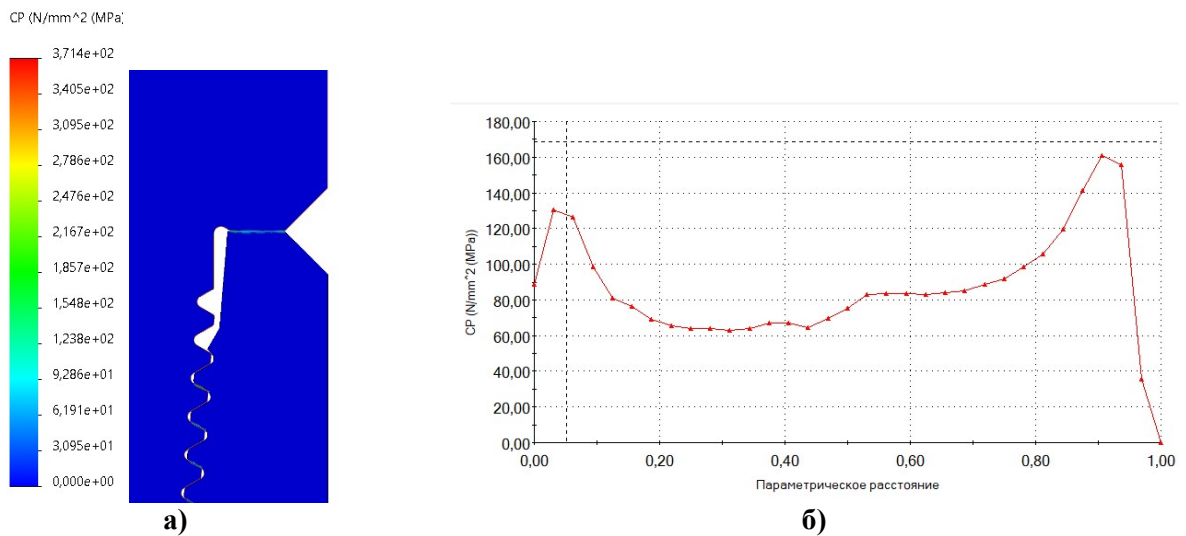


Рисунок 11 – Розподіл контактної тиску у різбовому з'єднанні (а) та по торцю муфти (б)

Отже, порівнявши отримані результати імітаційного моделювання при зміщенні основної площини можна зробити висновок, що у випадку похибки виготовлення різьби (неточності розташування основної площини) спостерігається зростання напружень у впадинах з'єднання, і навіть, зміщення концентрації напружень на один виток у ніпелі в бік його опорного торця.

Варто також зауважити, що похибка при виготовленні, наприклад у діаметрі  $d_{cp}$ , призведе до ще більшої концентрації напружень по впадинах витків різьби, і, як наслідок, до зменшення контактного тиску на поверхнях торців ніпеля та муфти. Це, у свою чергу, призведе до зменшення навантаження, що сприйматиметься з'єднанням від дії крутного моменту та моменту згину (при роботі колони бурильних труб на викривленій ділянці свердловини). За такого прикладання сил та моментів все навантаження буде концентруватись у впадині першого повного витка різьби, внаслідок чого виникатимуть напруження значної величини, і з'єднання передчасно зруйнується за малої кількості циклів роботи.

Можливий також випадок, що неточності при виготовленні різьби призведуть до контакту витків по обох їх поверхнях, внаслідок чого може бути утворений зазор між торцями ніпеля та муфти. У такому разі руйнування різьбового з'єднання відбувається майже миттєво.

### **Висновки**

Різьбове з'єднання є одним з найвідповідальніших елементів бурильної колони. Пошкодження при експлуатації, викликане низкою небезпечних факторів, призводить до значних простоїв під час спорудження свердловин та, як результат, значних фінансових втрат. Тому важливим залишається процес дослідження та вдосконалення таких елементів для забезпечення їх ефективної експлуатації.

З метою визначення напружено-деформованого стану різьбового з'єднання елементів бурильної колони залежно від зміщення основної площини різьби ніпеля, викликаного як похибками під час її виготовлення, так і пошкодженнями при експлуатації, побудовано тримірну модель з'єднання NC50 для подальшого дослідження за методом кінцевих елементів.

У результаті імітаційного моделювання різьбового з'єднання (без зміщення основної площини) при дії на нього тільки моменту згвинчування, отримано розподіл еквівалентних напружень. Найбільш навантаженою ділянкою є перша впадина повного витка різьби ніпеля.

Також було проведено дослідження різьбового з'єднання при одночасній дії на нього моменту згвинчування та осьового розтягуючого навантаження, отримано епюру еквівалентних напружень, що показала зростання максимальних напружень у небезпечній ділянці.

Потрібно зазначити, що при зміщенні основної площини змінюватиметься напружено-деформований стан з'єднання. Тому із метою його визначення проведено два імітаційні дослідження: при зміщенні основної площини на 2 мм в бік торця ніпеля, і на 2 мм від торця ніпеля відносно стандартного розташування. Порівнявши отримані результати імітаційного моделювання при зміщенні основної площини, можна зробити висновок, що при похибці виготовлення різьби (неточності розташування основної площини) спостерігається зростання напружень у впадинах з'єднання, і, навіть, зміщення концентрації напружень на один виток у ніпелі в бік його опорного торця. Небезпеку становить і похибка при виготовленні (наприклад, у діаметрі  $d_{cp}$ ) та неточності при виготовленні самої різьби, що призведе до ще більшої концентрації напружень по впадинах витків різьби та утворення зазору між торцями ніпеля та муфти, і, як наслідок, до зменшення контактного тиску на поверхнях торців ніпеля та муфти. Все це, зрештою, призведе до руйнування з'єднань, що, звичайно, є неприпустимим.

### **Література**

1. Песин М.В., Субботин Д.А., Баева М.А., Якунина А.В. Снижение себестоимости выпуска бурильных труб на основе совершенствования технологических методов упрочнения резьбы. *Новые материалы и технологии – XXII*. 2015. Вып. 21. С. 52–55.
2. API-7G-2. Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits. 2003. 30 p.
3. Solidworks. Retrieved from <http://help.solidworks.com>.

### **References**

1. Pesin M.V., Subbotin D.A., Baeva M.A., Yakunina A.V. Snizhenie sebestoimosti vyipuska burilnyih trub na osnove sovershenstvovaniya tehnologicheskikh metodov uprochneniya rezbyi. *Novyye materialy i tehnologii – XXII*. 2015. Vol. 21. P. 52–55. [in Ukrainian]
2. API-7G-2. Recommended Practice for Drill Stem Design and Operating Limits. 2003. 30 p.
3. Solidworks. Retrieved from <http://help.solidworks.com>.