

## СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ З'ЄДНАНЬ ГІБРИДНОЇ НАСОСНОЇ ШТАНГИ

Б. В. Копей, І. Б. Копей, В. В. Канівець, Б. М. Бакун

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: n d l n g i @ n i n g . e d u . u a

Насосні штанги є складовою одиницею свердловинного обладнання штангових свердловинних насосних установок і використовуються для передачі зворотньо-поступального руху від верстата-качалки до плунжера заглибного насоса. Насосні штанги експлуатуються в складних умовах знакозмінних навантажень розтягу/стискування, згину, тертя до внутрішньої поверхні колони насосно-компресорних труб, впливу корозійно-активного середовища, формування асфальто-смоло-парафінових відкладів. З метою підвищення ресурсу колони насосних штанг пропонується замість сталевих використовувати штанги з полімерно-композиційних матеріалів (склопластиковий, вуглепластиковий, гібридний стрижень з двома сталевими головками). Застосування гібридних насосних штанг дає чимало економічних й експлуатаційних переваг в порівнянні зі сталевими та склопластиковими штангами. Із збільшенням глибини спуску колони насосних штанг зростає навантаження на штангу, а отже, і на з'єднання сталеві головки із полімерно-композиційним стрижнем. Вплив пружних характеристик матеріалу гібридного стрижня (параметра ортотропії, параметра зсувної податливості, величини зчеплення) та особливостей контактної взаємодії його зі сталевією головкою на величину та розподіл тиску і, як наслідок цього, на міцність та працездатність розглянутого конструктивного з'єднання, має практичний інтерес при проектуванні з'єднання. Ставиться задача підвищення міцності з'єднання гібридної насосної штанги та його надійності. В роботі запропоновано використання скінченно-елементного аналізу в програмному середовищі SolidWorks методом кінцевих елементів при проектуванні оптимальної конструкції з'єднання сталеві головки з композиційним тілом гібридної насосної штанги. На основі проведеного аналізу пропонується до застосування конструкція з'єднання з циліндричною частиною сталеві головки змінної товщини, з прорізами у цій циліндричній частині у вигляді пелюсток та виконання галтелі на виході з контакту головки та стрижня штанги.

Ключові слова: штангова свердловинна насосна установка, колона насосних штанг, полімерно-композиційний матеріал, гібридна штанга, скінченно-елементний аналіз.

Sucker rods are very important components of the borehole equipment of sucker rod pumping units and serve for transfer the back and forth motion from the surface pumping jack to a plunger of the deep pump. Operation of sucker rods takes place in difficult conditions of alternative loadings of stretching/compression, a bending loading due buckling, friction on internal surface of a tubing column, influences of the corrosive and active environment, deposits of asphalt-resin-paraffin on sucker rods and tubing. For the purpose to increase a resource of a column of sucker rods it is offered instead of steel to use the sucker rods made of polymere composite materials (a fiberglass, carbon fiber, hybrid with two steel heads). Application of hybrid sucker rods gives many economic and operational advantages in comparison with steel and fiberglass rods. With increase of running depth of a column of sucker rods the load on the rods, and, therefore, on connections of a steel head with a polymeric composite body increases. Influence of elastic characteristics of material of a hybrid core (parameter of an ortotropiya, parameter of pliability of shift, coupling size) and features of its contact interaction with a steel head at a size and distribution of pressure and, as a result of it, on durability and operability of the considered constructive connection has practical interest at connection design. The task of increasing the durability of connection of a hybrid sucker rod and its reliability is set. In work we are using the finite element analysis in the program SolidWorks. Environment of finite element method is offered to design an optimum connection of a steel head with a composite body of a hybrid sucker rod. On the basis of the carried-out analysis the design of connection with a cylindrical part of a steel head of variable thickness, with cuts in this cylindrical part in the form of petals and performance galtel at the exit from contact of a head and a core of a rod is offered.

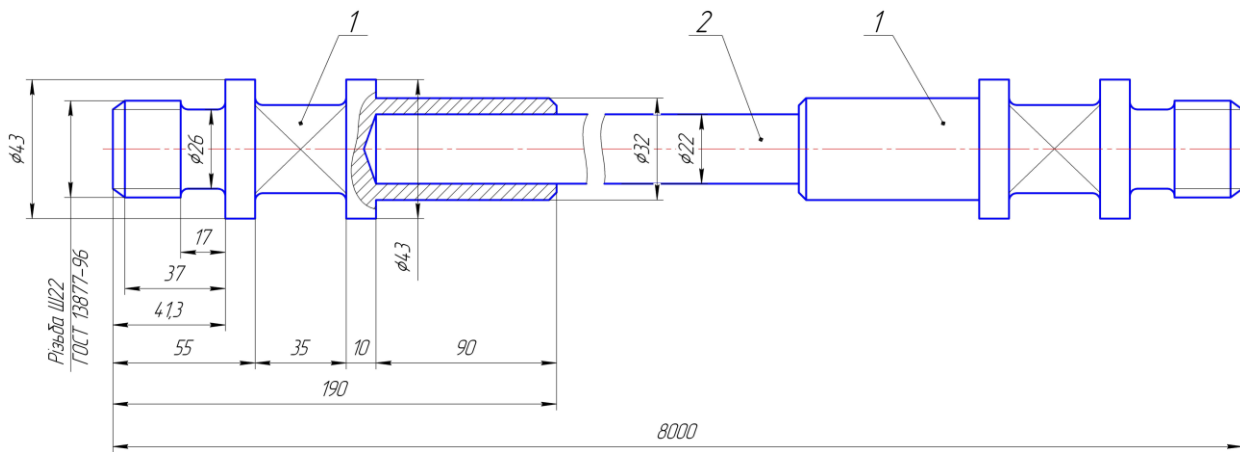
Keywords: sucker rod pumping unit, column of sucker rods, polymeric composite material, hybrid rod, finite element method.

### Вступ

На території України і в світі видобування нафти штанговими свердловинними насосними установками (ШСНУ) є найбільш розповсю-

джене як за кількістю свердловин, ними обладнаних, так і за тривалістю їх експлуатації.

Найбільш відповідальним елементом ШСНУ є колона насосних штанг (НШ), яка



1 – сталева головка; 2 – склопластиковий стрижень

Рисунок 1 – Склопластикова насосна штанга [2]

сприймає в процесі відкачування рідини зі свердловини складний комплекс змінних за величиною навантажень, одночасно контактуючи з агресивним середовищем, яке нерідко містить сірководень і мінералізовану воду.

Колона НШ являє собою довгий стержень, який складається з насосних штанг, з'єднаних штанговими муфтами, і призначена для передачі зворотно-поступального руху від приводу (балансира ШСНУ) до плунжера свердловинного насоса при видобуванні нафти [1]. Найбільш розповсюдженим матеріалом для виготовлення НШ є сталь. Насосні штанги виготовляють із середньовуглецевих, вуглецево-марганцевих, нікельмолібденових та хромо-нікелевих сталей для експлуатації в корозійних і некорозійних [2] середовищах.

Міцність і довговічність штанг обумовлюють надійність усієї установки. Колона насосних штанг зазнає впливу багатьох факторів, що ведуть до її корозійно-втомного руйнування. Змінні навантаження розтягу та згину, вплив корозійно-активного середовища, тертя об колону насосно-компресорних труб (особливо в похило-спрямованих свердловинах) та інші експлуатаційні чинники призводять до появи та інтенсивного розвитку корозійно-втомних тріщин і, як наслідок, до руйнування колони штанг. Такі аварії пов'язані з великими матеріальними витратами на ремонт і відновлення експлуатації свердловин. Кількість підземних поточних ремонтів, пов'язаних з ліквідацією обривів колони штанг, складає 15-20% від усіх підземних ремонтів [3].

Запроваджувались технологічні і конструктивні способи підвищення ресурсу колони насосних штанг: захисні покриття, поверхнєво-пластичне деформування, гартування струмами високої частоти, удосконалення конструкції

муфтового з'єднання. Їх загальним недоліком є неспроможність комплексно і ефективно вирішити проблеми спрацювання, згину колони і відкладеннями смолисто-парафінистих утворень.

Одним з найбільш перспективних шляхів підвищення ресурсу ШСНУ є застосування полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) для виробництва насосних штанг, що вже тривалий час підтверджується світовою практикою.

НШ з ПКМ відрізняються високою корозійною стійкістю, меншою масою, високою міцністю на розтяг та високою пружністю. Застосування штанг з ПКМ дозволяє зменшити навантаження на головку балансира верстатка-качалки, використовувати електродвигуни меншої потужності, тим самим зменшуючи експлуатаційні витрати та збільшуючи термін експлуатації обладнання. Невелика вага штанг полегшує маніпуляцію та забезпечує більш економічне транспортування [3].

В якості ПКМ для виготовлення НШ застосовують склопластик, вуглепластик та їх поєднання (так звані гібридні насосні штанги).

Склопластикові НШ виготовляються згідно з нормативними документами ГОСТ 31825-2012 (рис. 1), API Spec 11B, ГОСТ Р 51161-98, ТУ У 29.5-13741713-002:2006 [2, 4-6].

Застосування гібридних насосних штанг, що являють собою полімерно-композиційний стрижень з вуглепластиковим осердям та склопластиковою оболонкою, дають чимало економічних й експлуатаційних переваг в порівнянні зі сталевими та склопластиковими штангами в зв'язку з хорошою міцністю при невисокій густині, корозійною стійкістю та іншими важливими фізико-механічними характеристиками матеріалу [7].

Однак, при численних позитивних якостях гібридних насосних штанг питання надійного з'єднання полімерно-композиційного стрижня зі сталеву головою залишається актуальним [8-13].

#### Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Вивченням умов роботи колони насосних штанг для підвищення її ресурсу займалися такі вчені: Баграмов Р.О., Вірновський О.С., Фаєрман І.Л., Круман Б.Б., Копей Б.В., Тараєвський С.Й., Федорович Я.Т. та ін.

Широке застосування в інженерній справі армованих, анізотропних, композиційних і інших матеріалів привело до виникнення нових задач математичної фізики. Значний інтерес представляють постановки і розв'язки контактних задач теорії оболонок. Значні результати в цьому напрямку отримані українськими вченими і достатньо повно систематизовані в роботах [14-18].

В основу досліджень контактних напружень циліндричної труби – склопластикової штанги покладено узагальнену теорію оболонок і стержнів С.П. Тимошенка, яка враховує зсувну жорсткість і анізотропію фізико-механічних властивостей матеріалу [19]. Застосовані в даній роботі математична модель контактної взаємодії труби-оболонки та методика дозволяють дослідити розподіл контактних напружень залежно від механічних та геометричних чинників оболонки при контактній взаємодії, а також при дії зовнішнього навантаження.

#### Постановка задачі та мета роботи

Аналіз впливу пружних характеристик матеріалу оболонки (стержня) та особливостей контактної взаємодії її з бандажем на величину та розподіл тиску і, як наслідок, на міцність та працездатність розглянутого конструктивного з'єднання має практичний інтерес при проектуванні.

Як показують результати обчислень [19, 20], цілеспрямованою зміною, зокрема, розглянутих пружних характеристик оболонки параметра ортотропії, параметра зсувної податливості, величини зчеплення, можна істотно впливати на міцність з'єднання сталеву головки з склопластиковою штангою.

На основі методики розрахунків контактних напружень при взаємодії циліндричної труби-оболонки із жорсткими бандажами [19, 20] запропоновано ряд конструктивних рішень, які можуть бути реалізовані в з'єднанні сталеву головки з полімерним композиційним тілом НШ.

На цей час найбільше практичне використання знайшли клейове з'єднання і з'єднання шляхом обтискання сталеву бандажу. Перше з них рекомендовано стандартом АРІ і витримує досить високі розтягувальні навантаження, проте технологія виготовлення сталеву головки досить складна. З'єднання шляхом пластичного деформування сталеву бандажу технологічно значно простіше, але потребує оптимального зусилля обтискання (залежно від матеріалів і геометрії з'єднання) для досягнення ним максимальної міцності під дією осьового розтягувального навантаження [3, 7, 8].

З'єднання сталеву головки та стержня з армованого волокнами композиційного матеріалу є конструктивною необхідністю в гібридних штангах. Застосування такого варіанту пов'язане умовами і технологією видобування нафти за допомогою ШСНУ, а саме, частими операціями скручування-розкручування штанг між собою за допомогою сталевих муфт при їх складанні в колону. Також сталеві деталі виконують роль протекторів і є елементами, що підвищують жорсткість колони. Дослідження з'єднань сталевих головок і полімерно-композиційних стержнів на основі конструкції гібридних насосних стало головним завданням роботи.

Мета роботи полягає в розробленні теоретичних засад створення з'єднань композитного тіла гібридних насосних штанг зі сталеву головою.

#### Висвітлення основного матеріалу дослідження

В роботі виконано скінченно-елементний аналіз конструкції з'єднання сталеву головки з композиційним тілом гібридної насосної штанги методом кінцевих елементів у програмному середовищі SolidWorks.

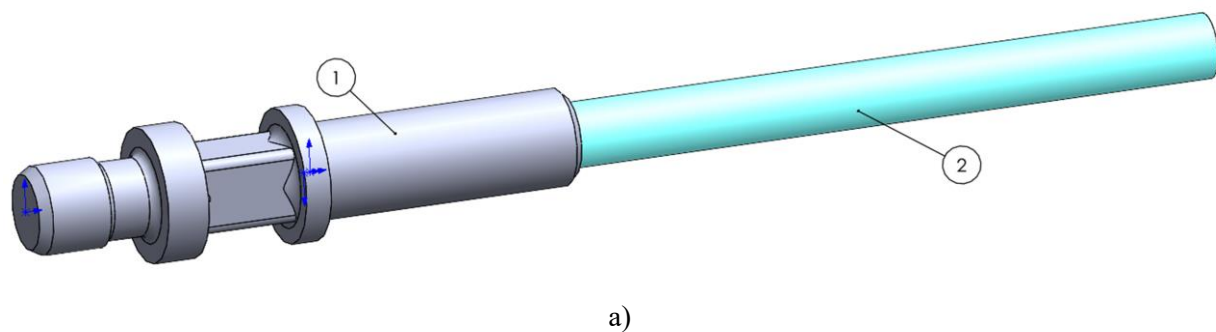
Для дослідження побудовано тримірні моделі з'єднання композитного тіла штанги та сталеву наконечника (рис. 2).

Основною відмінністю у їх конструкціях є товщини стінок сталеву наконечника (рис. 3)

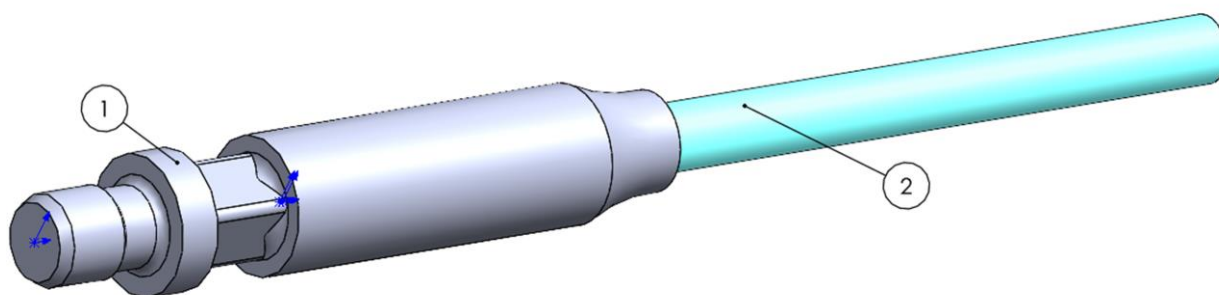
З метою дослідження напружено-деформованого стану вищенаведених конструкцій з'єднань необхідно провести їх імітаційні дослідження. Для цього використано програму Simulation, що є модулем програми SolidWorks.

Матеріалами, що вибрані для проведення досліджень, є вуглепластикові тіло, склопластикову оболонка та сталь. Фізичні властивості цих матеріалів наведено у таблицях 1 та 2.

Сітка кінцевих елементів, яка була побудована для двох досліджуваних конструкцій з'єднань, показана на рисунку 4.



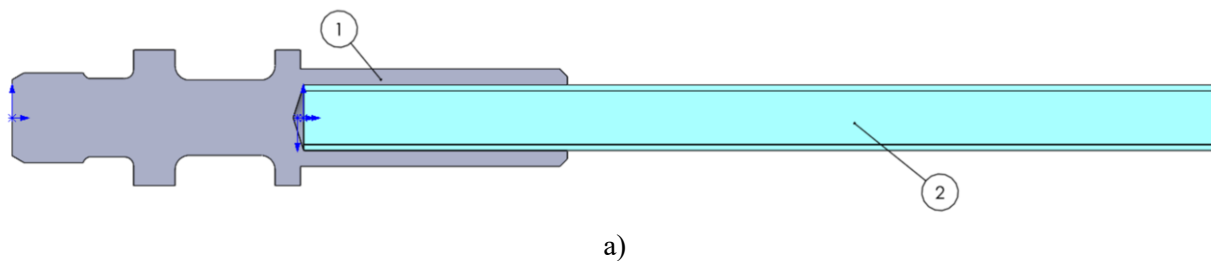
а)



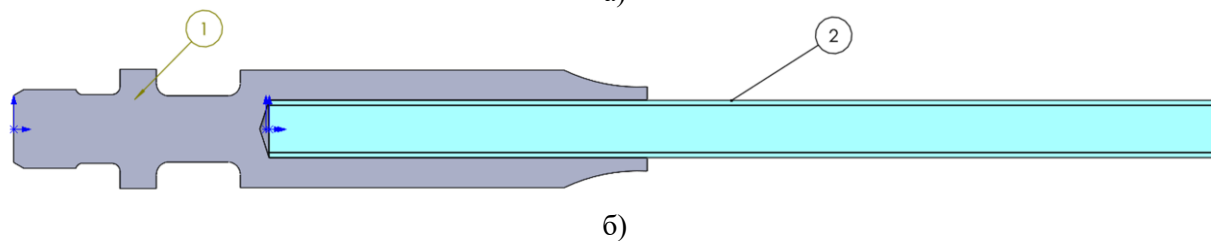
б)

а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням;  
1 – сталевий наконечник; 2 – тіло штанги

Рисунок 2 – Тривимірні моделі з'єднання тіла штанги та сталевого наконечника



а)



б)

а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням;  
1 – сталевий наконечник; 2 – гібридне тіло штанги

Рисунок 3 – Тривимірні моделі з'єднання тіла штанги та сталевого наконечника у розрізі

На рисунку 5 наведено розрахункову схему, що застосована під час імітаційних досліджень.

Слід зауважити, що для дослідження взято насосні штанги діаметром 22 мм; довжина гібридного тіла рівна 220 мм.

Щодо контакту деталей з'єднання, то під час моделювання він задавався як «зв'язано», тобто поверхні деталей ніби ідеально приклеєні одна до одної.

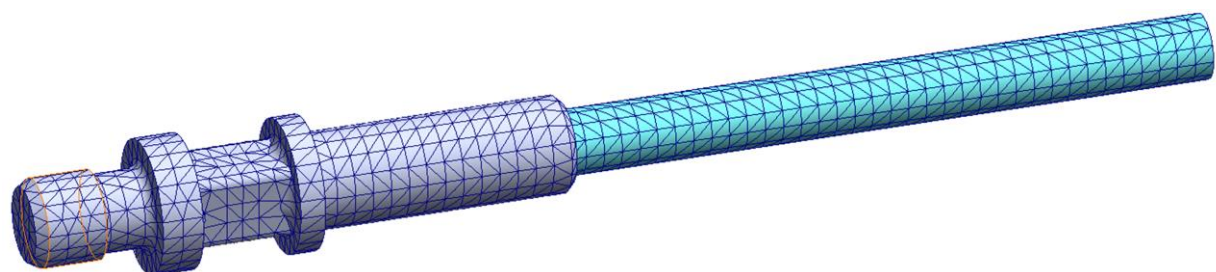
Із рисунка 6 можна зробити висновок, що у наконечнику із меншою товщиною стінки максимальне значення напружень складає 507 МПа, а у наконечнику із більшою товщиною стінки – 433 МПа (менше за рахунок більшої довжини отвору металевого наконечника, менший момент згину за однакової довжини моделі). Проте розподіл напружень по тілу гібридної штанги є більш рівномірним при використанні наконечника з меншою товщиною стінки.

**Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості матеріалів, що застосовуються для виготовлення насосних штанг**

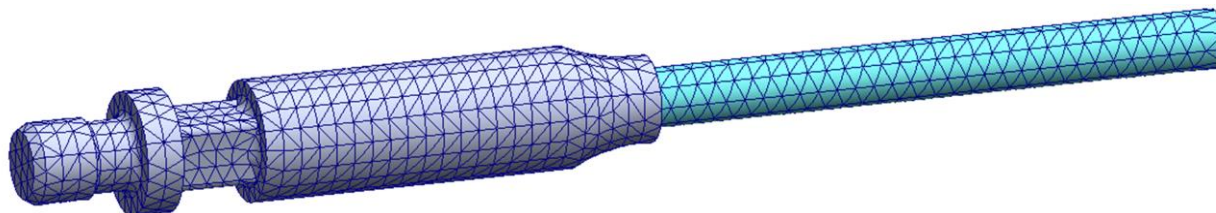
Найменування показника	Значення		
	Склопластик	Вуглепластик	Сталь
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2000	1800	7850
Міцність на розрив, МПа	1600	2000	900
Модуль пружності, МПа	50 000	160 000	210 000
Теплопровідність, Вт/м×К	0,15	-	50
Коефіцієнт шорсткості, ум. од.	0,0015	-	0,03
Робоча температура, °С	до 130	до 130	до 300
Морозостійкість, °С	-60	-	-
Корозійна стійкість	Дуже висока	Дуже висока	Низька
Стійкість до кручення	Низька	Низька	Висока
Стійкість до стирання	Низька	Низька	Висока
Характер деформації	Пружна	Пружна	Пружно-пластична

**Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості вуглепластика, вибрані для моделювання**

Модуль пружності в напрямі X	3,95e+05	МПа
Модуль пружності в напрямі Y	6000,0	МПа
Модуль пружності в напрямі Z	6000,0	МПа
Коефіцієнт Пуассона в напрямі XY	0,20000	
Коефіцієнт Пуассона в напрямі YZ	0,40000	
Коефіцієнт Пуассона в напрямі XZ	0,20000	
Модуль зсуву в напрямі XY	8000,0	МПа
Модуль зсуву в напрямі YZ	2142,9	МПа
Модуль зсуву в напрямі XZ	8000,0	МПа



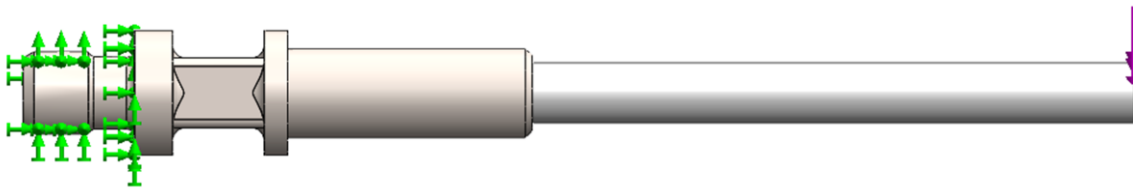
а)



б)

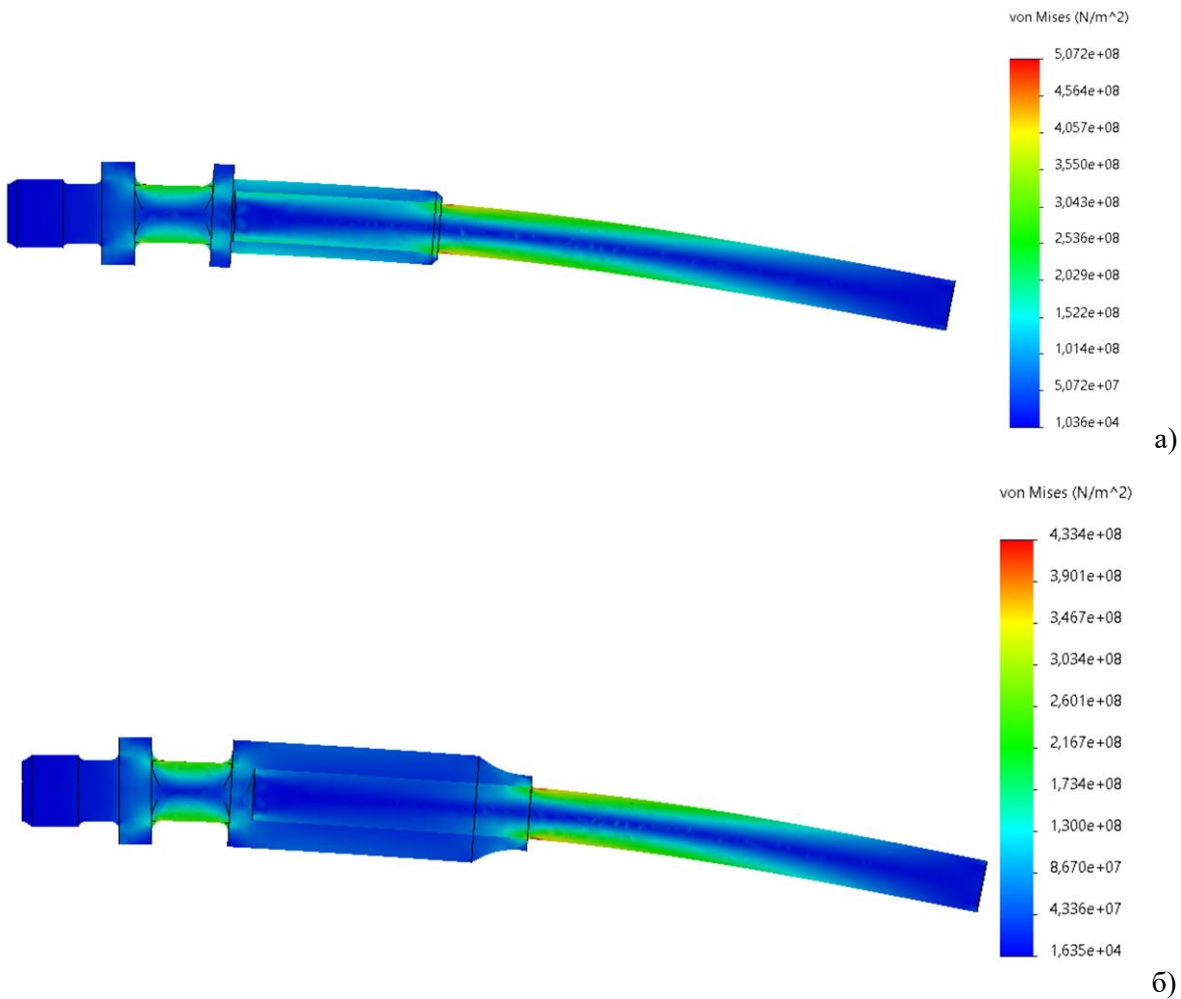
а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням

**Рисунок 4 – Сітка кінцевих елементів**



стрілки зеленого кольору – обмеження переміщення закріпленої деталі;  
стрілки фіолетового кольору – прикладене навантаження

Рисунок 5 – Розрахункова схема для проведення імітаційних досліджень



а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням

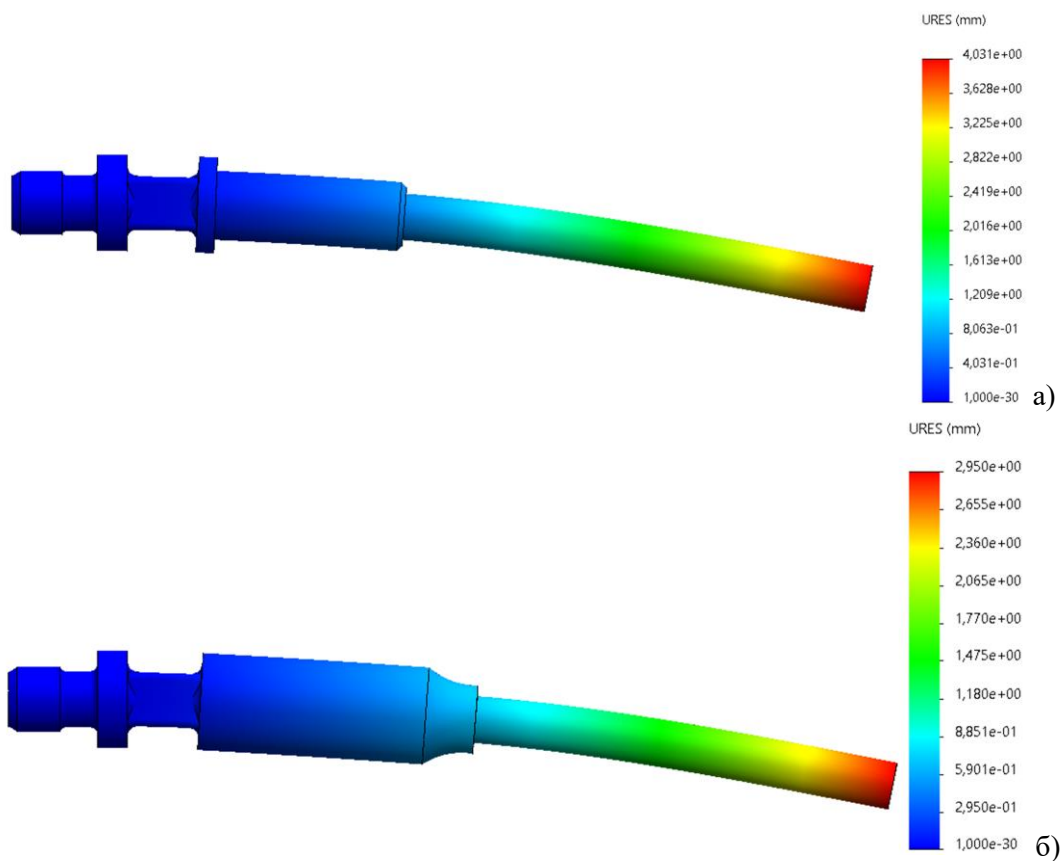
Рисунок 6 – Епюра еквівалентних напружень

На рисунках 7-8 наведено результати, отримані за допомогою імітаційного моделювання.

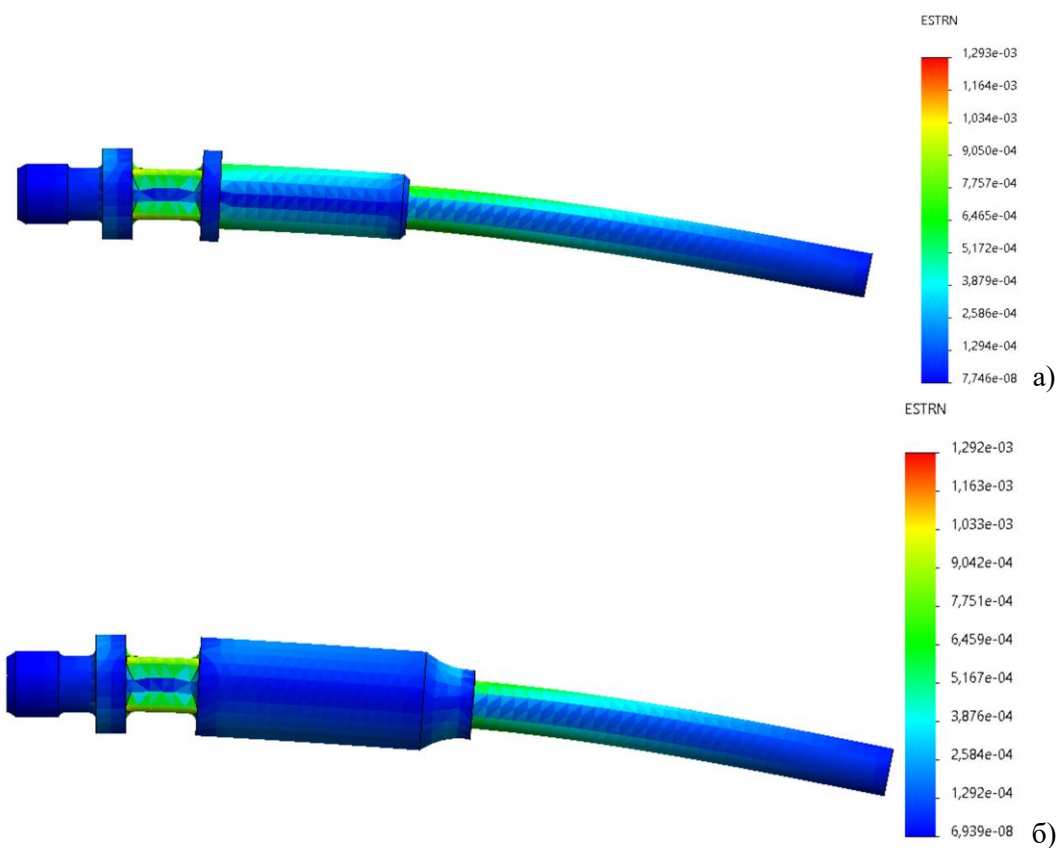
Також слід зазначити, що досліджувана конструкція з'єднання із застосуванням тільки циліндричного отвору для приклеювання циліндричного тіла гібридної штанги є доволі недосконалою для сприйняття нею значних осьових навантажень. Це пояснюється тим, що податливість металевго наконечника та тіла насосної штанги є різними (різні фізичні властивості матеріалів). Тому варто розглянути, як ідею, нака-

тування гвинтової поверхні як у середині отвору металевго наконечника, так і на тілі гібридної штанги. Причому гвинтова поверхня повинна бути змінного кроку, величину якого можна дослідити згідно алгоритму, що висвітлений у даному дослідженні.

Варта також зауважити, що глибина отвору, виконаного у металевому наконечнику, також впливає на його напружено-деформований стан. Тому проаналізуємо його більш конкретно (рис. 9).



а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням  
Рисунок 7 – Епюра переміщень



а) наконечник стандартний; б) наконечник з потовщенням  
Рисунок 8 – Епюра деформацій

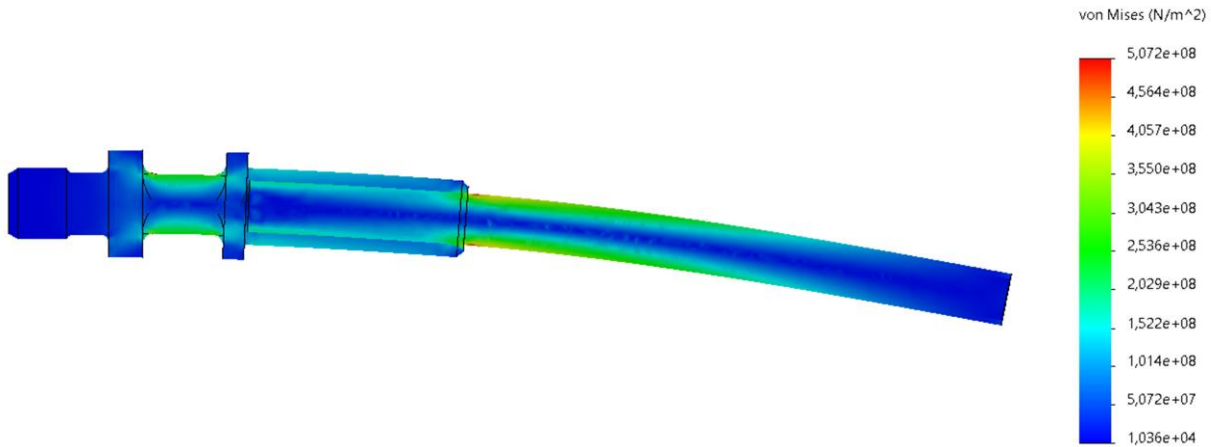


Рисунок 9 – Розподіл еквівалентних напружень у з’єднанні

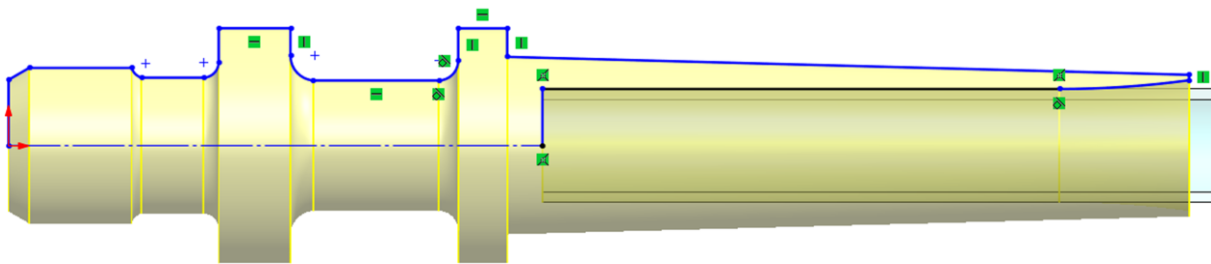


Рисунок 10 – Ескіз вдосконаленої конструкції наконечника

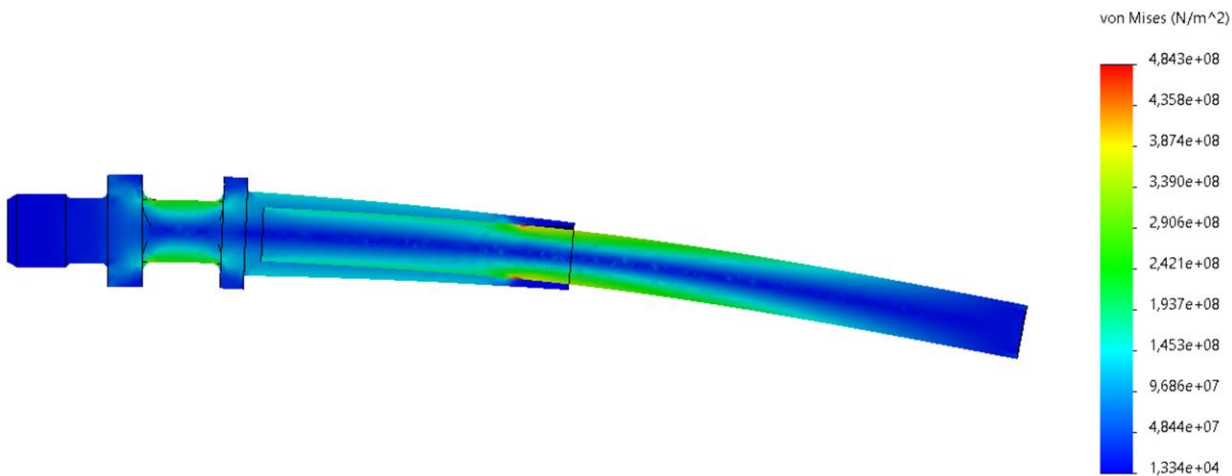


Рисунок 11 – Епіюра еквівалентних напружень вдосконаленого з’єднання

Отже, якщо виконати отвір у металевому наконечнику ще більшої глибини, то у результаті збільшимо величини напружень, що будуть концентруватись у зоні переходу під ключ. Проте більшою проблемою є концентрація напружень у тілі гібридної штанги у зоні виходу її із металевого наконечника. За таких значень напружень та за умов роботи при знакозмінних циклічних навантаженнях довговічність з’єднання буде доволі низькою.

Можливими варіантами вирішення вищеписаної проблеми може бути виконання циліндричної частини металевого наконечника змін-

ної товщини, виконання прорізів у цій циліндричній частині у вигляді пелюсток (для зменшення жорсткості) тощо.

Далі наведено пропоновану конструкцію наконечника. Її відмінністю від конструкції наконечника з меншою товщиною стінки (що розглядалася у вищенаведеному дослідженні) є виконання наконечника змінної товщини та виконання галтелі на виході з контакту наконечника та тіла штанги (рис. 10).

На рисунку 11 наведено результати імітаційного дослідження пропонованої конструкції наконечника.



**Висновки**

Скінченно-елементний аналіз в програмному середовищі SolidWorks має практичний інтерес при проектуванні конструкцій з'єднання сталеві головки з композиційним тілом гібридної насосної штанги методом кінцевих елементів.

Пропонована конструкція з'єднання має більш рівномірний розподіл напружень по довжині тіла штанги та менші значення максимальних напружень – 483 МПа.

У подальшому можливо провести оптимізацію пропонованої конструкції з'єднання, а саме: оптимізувати величину радіуса галтелі (щоб відбувалося плавне прилягання до неї тіла вуглепластикової штанги залежно від прикладеного навантаження згину).

Створене з'єднання полімерно-композиційного тіла з сталевією головою гібридної штанги має високі характеристики міцності та опору втомі для використання в свердловинах при глибині спуску насоса більше 2000 м.

**Література**

1. Ивановский В. Н., Дарищев В. И., Сабиров А. А., Каштанов В. С., Пекин С.С. Оборудование для добычи нефти и газа: В 2 ч. М: «Нефть и газ», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. Ч. 1. 768 с.
2. ГОСТ 31825-2012. Штанги насосные, штоки устьевые и муфты к ним. Технические условия.
3. Копей І.Б. Оцінка, прогнозування та підвищення надійності обладнання штангових свердловинних насосних установок. Рукопис. Дис. канд. техн. наук: 05.05.12, м. Івано-Франківськ, 2020.
4. API Spec 11B: Specification for Sucker Rods, Polished Rods and Liners, Couplings, Sinker Bars, Polished Rod Clamps, Stuffing Boxes, and Pumping Tees.
5. ГОСТ Р 51161-98 Штанги насосные стеклопластиковые. Технические условия.
6. ТУ У 29.5-13741713-002:2006. Штанги насосні металопластикові. Технічні умови. Введ. 19.04.2007. Без обмеження терміну дії. Івано-Франківськ, 2006.
7. Юй Шуанжуй. Підвищення працездатності насосних штанг з полімерних композитних матеріалів. Рукопис. Дис. канд. техн. наук: 05.05.12, Івано-Франківськ, 2018.
8. Копей Б. В., Копей В. Б. Копей І. Б. Насосні штанги свердловинних установок для видобування нафти. Монографія. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2009. 406 с.
9. Насосні штанги та труби з полімерних композитів: проектування, розрахунок, та випробування [Текст] / Б. В. Копей [та ін.] ; Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача НАН України, Івано-Франківський національний технічний ун-т нафти і газу. Л.: [б.в.], 2003. 352 с.: рис. Бібліогр.: с. 349-350. ISBN 966-02-3071-0
10. Патент України № 35751А Спосіб з'єднання сталевієї головки з полімерним композиційним тілом глибинно-насосної штанги / Копей Б.В., Копей В.Б., Копей І.Б. Заявл. № 98042004 від 22.04.98.
11. Патент України № 35781А Спосіб складання вузла кріплення полімерного стержня / Кіндрачук С.Б., Копей Б.В., Попович О.М. Заявл. № 98084478 від 18.08.98. Бюл.№ 3, 16.04.01.
12. Патент України № 50094А З'єднання сталевієї головки з полімерно-композиційним тілом насосної штанги / Крижанівський Є.І., Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б. Заявл. № 200107 5462 від 31.07.01. Бюл.№10, 15.10.02.
13. Патент України № 50093А. З'єднання головки насосної штанги з склопластиковим тілом / Копей Б.В., Стеліга І.І., Копей В.Б., Петрина Ю.Д. Заявл. № 2001075460 від 31.07.01. Бюл.№10, 15.10.02.
14. Щербина Н.М. Методи розв'язування контактних задач для пружних анізотропних шаруватих циліндричних оболонок. Препр. НАН України. Ін-т прикл. проблем механіки і математики ім. Я.С.Підстригача, №7, 1994. 58 с.
15. Пелех Б.Л., Сухорольский М.А. Контактные задачи теории упругих анизотропных оболочек. К.: Наук. думка, 1980. 216 с.
16. Григолюк З.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек. М.: Машиностроение, 1980. 416 с.
17. Пелех Б.Л., Максиму А.В., Щербина Н.Н. Контактная жесткость слоистых цилиндрических оболочек. Матричный метод решения контактних задач для многослойных оболочек. *Механика композитных материалов*, 1986, № 2, С. 276-280.
18. Попов Г.Я., Толкачев В.М. Проблема контакта тел с тонкостенными элементами. *Изв. АН СССР. Механика твердого тела*. 1980. №4. С.192-206.
19. Дослідження контактних напружень у з'єднанні сталевієї головки з склопластиковою штангою / Копей Б. В., Максимук О. В., Щербина Н. М., Копей І. Б. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 1996. № 33. С. 166-178.

20. Development of steel head joints with fiberglass sucker rod on the base of contact stresses investigation / Kopey B. V., Kopey I. B., Maksymuk A. V., Shcherbyna N. M. VTT SYMPOSIUM : Proceedings of Int. Symp. Fatigue Design 1998. (Espoo, Finland. 26-29 May 1998). 1998. 182. Vol. II. P. 603-612. ISSN 0357-9387.

### References

1. Yvanovskiy V. N., Daryshchev V. Y., Sabyrov A. A., Kashtanov V. S., Pekyn S.S. *Oborudovanye dlia dobuchy nefty y haza: V 2 ch. M: «Nef't i haza», RHU nefti i haza im. I.M. Hubkyna, 2002. Ch. 1. 768 p. [in Russian]*
2. HOST 31825-2012. *Shtanhy nasosnue, shtoky ustevue y muftu k nym. Tekhnicheskyye usloviya. [in Russian]*
3. Kopei I.B. *Otsinka, prohnozuvannia ta pidvyshchennia nadiinosti obladnannia shtanhovykh sverdlovyynykh nasosnykh ustanovok. Rukopys. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.05.12, m. Ivano-Frankivsk, 2020. [in Ukrainian]*
4. API Spec 11B: *Specification for Sucker Rods, Polished Rods and Liners, Couplings, Sinkers Bars, Polished Rod Clamps, Stuffing Boxes, and Pumping Tees.*
5. HOST R 51161-98 *Shtanhy nasosnue stekloplastykovue. Tekhnicheskyye usloviya. [in Russian]*
6. TU U 29.5-13741713-002:2006. *Shtanhy nasosni metaloplastykovyi. Tekhnichni umovy. Vved. 19.04.2007. Bez obmezhenia terminu dii. Ivano-Frankivsk, 2006. [in Russian]*
7. Iui Shuanzhui. *Pidvyshchennia pratsezd-tnosti nasosnykh shtanh z polimernykh kompozytnykh materialiv. Rukopys. Dys. kand. tekhn. nauk: 05.05.12, Ivano-Frankivsk, 2018. [in Ukrainian]*
8. Kopei B. V., Kopei V. B. Kopei I. B. *Nasosni shtanhy sverdlovyynykh ustanovok dlia vydobuvannia nafty. Monohrafiia. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2009. 406 p. [in Ukrainian]*
9. *Nasosni shtanhy ta truby z polimernykh kompozytiv: proektuvannia, rozrakhunok, ta vyprobuvannia [Tekst] / B. V. Kopei [ta in.] ; Instytut prykladnykh problem mekhaniky i matematyky im. Ya.S.Pidstryhacha NAN Ukrainy, Ivano-Frankivskiy natsionalnyi tekhnichnyi un-t nafty i hazu. L.: [b.v.], 2003. 352 p.: rys. Bibliohr.: p. 349-350. - ISBN 966-02-3071-0 [in Ukrainian]*
10. Patent Ukrainy No 35751A *Sposib ziednannia stalnoi holovky z polimernym kompozytsiinym tilom hlybynno-nasosnoi shtanhy / Kopei B.V., Kopei V.B., Kopei I.B. Zaiavl. No 98042004 vid 22.04.98. [in Ukrainian]*
11. Patent Ukrainy № 35781A *Sposib skladannia vuzla kriplennia polimernoho sterzhnia / Kindrachuk S.B., Kopei B.V., Popovych O.M. Zaiavl. No 98084478 vid 18.08.98. Biul. No 3, 16.04.01. [in Ukrainian]*
12. Patent Ukrainy № 50094A. *Ziednannia stalnoi holovky z polimerno-kompozytsiinym tilom nasosnoi shtanhy / Kryzhanivskiy Ye.I., Kopei B.V., Steliha I.I., Kopei V.B. Zaiavl. No 200107 5462 vid 31.07.01. Biul. No 10, 15.10.02. [in Ukrainian]*
13. Patent Ukrainy № 50093A. *Ziednannia holovky nasosnoi shtanhy z skloplastykovym tilom / Kopei B.V., Steliha I.I., Kopei V.B., Petryna Yu.D. Zaiavl. No 2001075460 vid 31.07.01. Biul. No 10, 15.10.02. [in Ukrainian]*
14. Shcherbyna N.M. *Metody rozviazuvannia kontaktnykh zadach dlia pruzhnykh anizotropnykh sharuvatykh tsylindrychnykh obolochok. Prepr. NAN Ukrainy. In-t prykl. problem mekhaniky i matematyky im. Ya.S.Pidstryhacha, No 7, 1994. 58 p. [in Ukrainian]*
15. Pelekh B.L., Sukhorolskiy M.A. *Kontaktne zadachy teoryy upruhykh anizotropnykh obolochek. K.: Nauk. dumka, 1980. 216 p. [in Russian]*
16. Hryholiuk Z.Y., Tolkachev V.M. *Kontaktne zadachy teoryy plastyn y obolochek. M.: Mashynostroenye, 1980. 416 p. [in Russian]*
17. Pelekh B.L., Maksymu A.V., Shcherbyna N.N. *Kontaktnaia zhestkost sloystukh tsylindrycheskykh obolochek. Matrychnui metod resheniya kontaktnykh zadach dlia mnohosloinykh obolochek. Mekhanyka kompozytnykh materialov. 1986. No 2. P. 276-280. [in Russian]*
18. Popov H.Ia., Tolkachev V.M. *Problema kontakta tel s tonkostennymi elementami. Yzv. AN SSSR. Mekhanyka tverdoho tela. 1980. No 4. P. 192-206. [in Russian]*
19. *Doslidzhennia kontaktnykh napruzhen u ziednanni stalevoi holovky z skloplastykovoioiu shtanhoioiu / Kopei B. V., Maksymuk O. V., Shcherbyna N. M., Kopei I. B. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. 1996. No 33. P. 166-178. [in Ukrainian]*
20. Development of steel head joints with fiberglass sucker rod on the base of contact stresses investigation / Kopey B. V., Kopey I. B., Maksymuk A. V., Shcherbyna N. M. VTT SYMPOSIUM : Proceedings of Int. Symp. Fatigue Design 1998. (Espoo, Finland. 26-29 May 1998). 1998. 182. Vol. II. P. 603-612. ISSN 0357-9387.