

## РОЗРОБКА СВЕРДЛОВИННОГО ПАКЕРА ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ УСТЬОВОГО ТА ПРОТИВИКИДНОГО ОБЛАДНАННЯ

<sup>1</sup>М.А. Дорохов, <sup>2</sup>І.В. Костриба, <sup>3</sup>О.В. Ущенко

<sup>1</sup>Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка;  
м. Полтава, пр. Першотравневий, 24, тел. (050) 6317980, e-mail: m a x i t r u . 5 @ g t a i l . c o t

<sup>2</sup>ІФНТУНГ; м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264,  
e-mail: n o @ n i n g . e d u . u a

<sup>3</sup>Полтавська воєнізована частина по попередженню і ліквідації відкритих  
нафтових і газових фонтанів ПАТ «Укрнафта»; м. Полтава, вул. Ливарна, 10,  
тел. (0532) 664905, e-mail: s l p v c h 2 @ e - t a i l . p l . u a

Зазначено важливість етапу випробування приустьової частини обсадної колони разом з противикидним обладнанням після встановлення останнього на свердловині. Висвітлено конструкцію найбільш поширеного устьового пакера типу УВЧ виробництва спеціальної аварійно-рятувальної служби «ЛІКВО» ПАТ «Укргазвидобування». Зазначено вплив герметизаційної здатності вузла ущільнення пакера на якість проведення випробування устьового та противикидного обладнання. Проведено аналіз недоліків представлені в статті конструкції пакера. Здійснено аналіз закордонних і вітчизняних публікацій та досліджень, який показав відсутність системного підходу у проектуванні самоущільнюючих манжет устьових пакерів. Сформувано ряд актуальних науково-практичних задач в розрізі проектування манжет. Висвітлено основні етапи та результати експериментальних досліджень залежності контактних тисків на спряженій поверхні: манжета – обсадна труба від найбільш впливових факторів. Описано етапи і результати комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану базової та вдосконаленої манжет з врахуванням найбільш впливових факторів. За результатами досліджень висвітлено вдосконалену конструкцію устьового випробувального пакера виробництва Полтавської воєнізованої частини з попередження і ліквідації відкритих нафтових і газових фонтанів ПАТ «Укрнафта» із зазначенням порядку роботи та конструктивних особливостей.

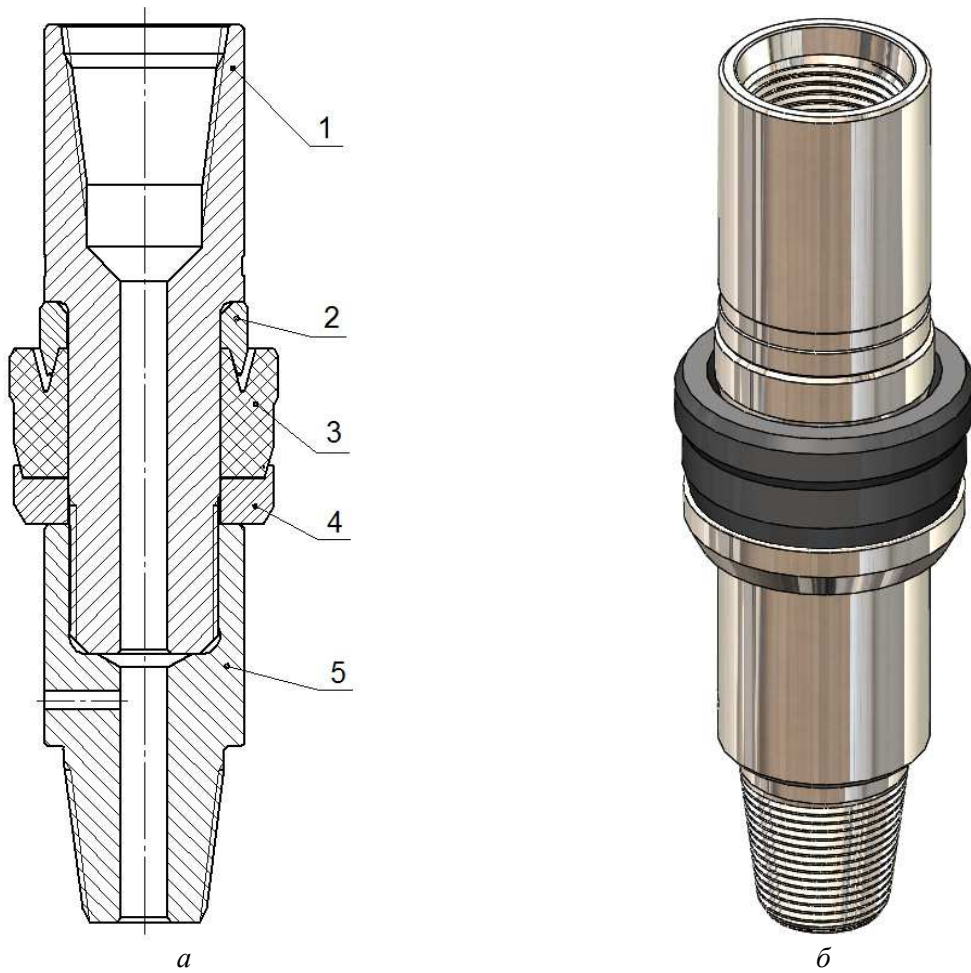
Ключові слова: устьове та противикидне обладнання, герметизаційна здатність, устьовий випробувальний пакер, самоущільнююча манжета, контактний тиск.

Указано важность этапа испытания приустьеовой части обсадной колонны вместе с противовыбросовым оборудованием после установки последнего на скважине. Освещены конструкции наиболее распространенного устьевого пакера типа УВЧ производства специальной аварийно-спасательной службы «ЛИКВО» ПАО «Укргаздобыча». Отмечено влияние герметизационной способности узла уплотнения пакера на качество проведения испытания устьевого и противовыбросового оборудования. Проведен анализ недостатков представленной в статье конструкции пакера. Осуществлен анализ зарубежных и отечественных публикаций и исследований, который показал отсутствие системного подхода в проектировании самоуплотнительных манжет устьевых пакеров. Сформулирован ряд актуальных научно-практических задач в разрезе проектирования манжет. Освещены основные этапы и результаты экспериментальных исследований зависимости контактных давлений на сопряженной поверхности: манжета – обсадная труба от наиболее влияющих факторов. Описаны этапы и результаты компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния базовой и усовершенствованной манжет с учетом наиболее влияющих факторов. По результатам исследований отображено усовершенствованную конструкцию устьевого испытательного пакера производства Полтавской военизированной части по предупреждению и ликвидации открытых нефтяных и газовых фонтанов ПАО «Укрнафта» с указанием порядка работы и конструктивных особенностей.

Ключевые слова: устьевое и противовыбросовое оборудование, герметизационная способность, устьевой испытательный пакер, самоуплотняющаяся манжета, контактное давление.

The article indicates the importance of the test phase of the wellhead casing portion together with the blowout equipment after installation of the latter at the well. It also explains the most common design of the wellhead packer of the UVCh type produced by the special emergency rescue service "LIKVO", PJSC "Ukrhazvydobuvannia". The influence of pressurization capability of the packer assembly on the quality of the wellhead and blowout equipment testing process was mentioned. The packer design shortcomings presented in the article were analyzed. There was also conducted an analysis of some foreign and domestic publications and studies, which showed an absence of the systematic approach to designing of the self-sealing cuffs of wellhead packers. A number of topical scientific and practical problems in the context of cuffs designing were formulated. The article also explains the main stages and results of the experimental studies of the dependence of contact pressures on the mating surface "cuff – casing" on the most influential factors. The stages and results of computer modeling of the stress-strain state of the base and improved cuffs with the account of the most influential factors were described. Based on the study results, there was described an improved design of the wellhead test packer produced by Poltava militarized unit for prevention and elimination of open oil and gas flows, PJSC "Ukrnafta", with indication of operations order and design features.

Keywords: wellhead and blowout equipment, pressurization capability, wellhead test packer, self-sealing cuff, contact pressure.



*а – конструктивне оформлення пакера; б – загальний вигляд пакера;  
1 – корпус; 2 – втулка опорна; 3 – самоущільнююча манжета; 4 – упор; 5 – перевідник*

**Рисунок 1 – Пакер устьовий УВЧ 168×50**

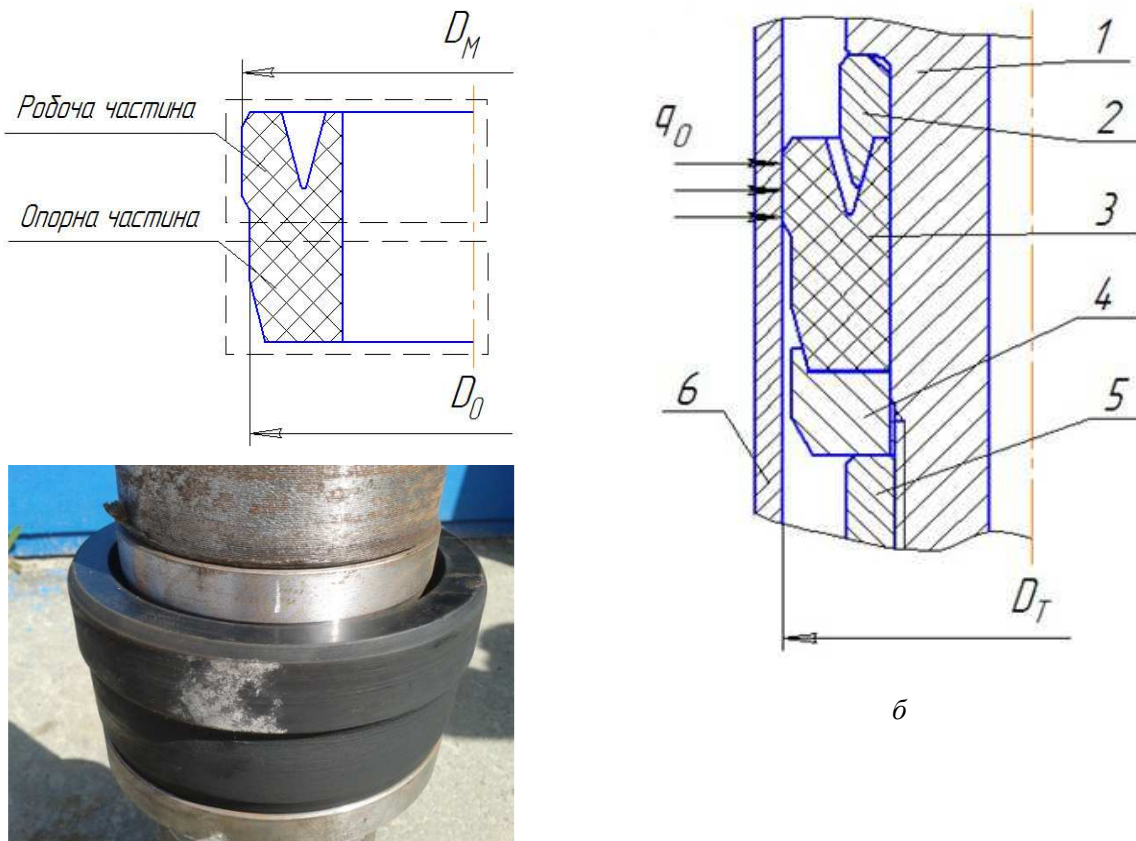
**Вступ.** Підземний ремонт нафтових і газових свердловин є одним із етапів їх життєвого циклу і може тривати в часі, залежно від факту ремонтних робіт, від декількох днів до декількох місяців. Причиною ремонту можуть бути: відновлення герметичності ствола свердловини, заміна устьового та свердловинного обладнання, інтенсифікація нафтогазовидобутку, перехід на інший продуктивний пласт тощо.

Підземний ремонт свердловини в тією чи іншій мірі пов'язаний з необхідністю дотримання правил і норм фонтанної безпеки. Особливо високі вимоги щодо фонтанної безпеки відчуються під час проведення ремонту фонтанних нафтових і газових свердловин.

Правилами безпеки у нафтогазовидобувній промисловості України передбачено, що свердловини під час проведення ремонтів повинні бути оснащені противикидним обладнанням. Після встановлення противикидне обладнання випробовується на максимально очікуваний тиск. Нерідко гідравлічні випробування проводять в умовах відкритого ствола свердловини (за наявності зони перфорації експлуатаційної колони), що унеможливає дотримання вимог установленого регламенту гідравлічних випробувань [1].

На часі існує величезна кількість методів та засобів для проведення робіт з випробування устьового та противикидного обладнання. Найбільш вдало себе зарекомендували свердловинні пакери. Для випробування повинні використовуватись пакери, які відрізняються простою експлуатації та високою герметизаційною здатністю. Таким вимогам на сьогоднішній день відповідають пакери на базі самоущільнюючих манжет. Для досягнення герметизації відсутня необхідність у прикладанні зовнішніх зусиль, оскільки ущільнення пакерів на базі самоущільнюючих манжет спрацьовують автоматично з появою надлишкового тиску випробувальної рідини в надпакерному просторі.

Сучасний ринок обладнання для спорудження чи експлуатації нафтових і газових свердловин характеризується різноманітністю конструкції пакерів на базі самоущільнюючих манжет. Серед наявних найкраще себе зарекомендувала конструкція пакера типу УВЧ виробництва спеціальної аварійно-рятувальної служби «ЛІКВО» ПАТ «Укргазвидобування» (рис. 1). Пакер складається з корпусу 1, опорної втулки 2, самоущільнюючої манжети 3, упора 4, перевідника 5.



*a*

*a* – у вільному стані, *б* – в обсадній трубі;

1 – корпус; 2 – опорна втулка; 3 – манжета; 4 – упор; 5 – перевідник; 6 – обсадна труба

**Рисунок 2 – Самоущільнююча пакерна манжета**

Якість процесу випробування устьового та противикидного обладнання залежить від герметизаційної здатності його основного конструктивного елемента – самоущільнюючої манжети. Конструкцію манжети (рис. 2) можна умовно поділити на дві частини – робочу і опорну. Робоча частина манжети виконана у вигляді двох губ – зовнішньої і внутрішньої. Геометрія губ повинна бути такою, щоб після опускання пакера в свердловину гарантувати створення попередніх контактних тисків  $q_0$  на спряжених поверхнях: внутрішня губа – ствол пакера та зовнішня губа – обсадна труба, що дасть можливість реалізувати принцип самоущільнення при роботі манжети. Останнє буде мати місце у разі наявності натягу вказаних спряжених з'єднань. Опорна частина манжети розміщена під робочою. Зовнішній діаметр  $D_0$  опорної частини манжети повинен бути меншим від внутрішнього діаметра  $D_T$  обсадної труби, що забезпечує безперешкодне спускання пакера в свердловину.

Процес роботи манжети можна розділити умовно на два етапи. На першому етапі за невисоких тисків працює робоча частина манжети і герметичність забезпечується завдяки розклинюванню губ і створенню необхідних для герметизації контактних тисків на ущільнюваних поверхнях. Зі збільшенням тиску над манжетою

починає працювати її опорна частина. Під дією тиску в свердловині здійснюється осьова та радіальна деформації опорної частини манжети, що призводить до перекриття зазору між манжетою 3 і обсадною трубою 6. При великих тисках гума манжети витискається в зазор між упором 4 і обсадною трубою 6, що може бути причиною руйнування манжети, і, як наслідок, порушенню герметичності пакерування. Зразок зруйнованої внаслідок витискання гуми в зазор манжети зображений на рисунку 3.

Практика експлуатації свердловинного пакера представленої конструкції показала, що основним недоліком цього пристрою є вузол ущільнення, що характеризує пакер низькою надійністю. Недоліком вузла ущільнення є конструкція манжети, що самоущільнюється, а саме її низька еластичність. Низька еластичність визначена малою висотою зовнішньої губи та її значною товщиною, що в разі пакерування у зношених обсадних колонах (або зі значною овальністю чи раковинами на поверхні обсадної труби) [2] не дозволяє досягти герметичності, і при створенні початкового тиску випробування відбувається затікання випробувальної рідини між зовнішньою поверхнею зовнішньої губи та внутрішньою поверхнею обсадної колони. Низька еластичність форми манжети призводить до збільшення зон концентра-

ції напружень, що в результаті їх перевищення граничного стану призводять до пластичних деформацій та, як приклад, до затікання гуми манжети в зазор між опорою манжети та внутрішньою стінкою обсадної колони. До невдалої конструкції пакера також можна віднести неможливість регулювання посадки манжети на корпусі пакера, при незначних пластичних деформаціях манжети після декількох разів експлуатації пакера. Практичний досвід показав, що пакер має низьку надійність нижньої приєднувальної різьби, а, отже, низьку вантажопідйомність пакера в загалом, внаслідок того, що нижня приєднувальна різьба сприймає сукупність всіх осевих навантажень на пакер – навантажень від ваги, яку складають підвішені знизу до пакера труби НКТ, та навантаження від тиску випробування у надпакерного простору.



**Рисунок 3 – Приклад руйнування опорної частини самоущільнюючої манжети внаслідок видавлювання гуми в зазор між упором та обсадною трубою**

Підсумовуючи наведену вище інформацію, зауважимо, що на часі відсутня досконала конструкція свердловинного пакера, яка б забезпечила якісне проведення робіт з випробування приустьової частини обсадної колони разом з противикидним обладнанням. Створенню такого пакера має передувати низка ґрунтовних досліджень. Акцент має бути поставлений на дослідженні герметизаційної здатності манжети, яка є комплексним показником роботи ущільнення в конкретних експлуатаційних умовах.

**Аналіз закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій.** Дослідженню вузлів ущільнення пакерів присвячена множина наукових праць.

Авторами роботи [3] проведені дослідження герметизаційної здатності вузла ущільнення та встановлена залежність між контактними тисками на спряженій поверхні: ущільнення – обсадна колона, та випробувальним (робочим) тиском. Зважаючи на той факт, що дослідження проводилися з свердловинними пакерами, ущільнення яких є циліндричними (герметизація

відбувається через радіальну деформацію ущільнення при його осьовому стисканні зовнішньою силою), результати експериментальних досліджень не можуть бути застосовані для конструювання самоущільнюючих манжет устьових пакерів, які автоматично спрацьовують під дією тиску.

В наукових працях [4, 5] відображено конструкцію свердловинного пакера на базі самоущільнюючої манжети з практичними рекомендаціями щодо підвищення герметичності на етапі проектування. Так, в роботі [4] надано рекомендації щодо радіального зазору між упором вузла ущільнення та стінкою обсадної колони, а в джерелі [5] наведено коротку інформацію про величину необхідного натягу манжети.

Але матеріали праць [4, 5] не підтверджені ні експериментальними ні теоретичними дослідженнями. Причому практичний досвід застосування конструкції самоущільнюючого вузла пакера описаного в роботі [5] свідчить про необхідність створення імпульсних навантажень (закачування випробувальної рідини з великою продуктивністю насосних агрегатів) для спрацювання манжети і досягнення герметизації в процесі випробування. Такий режим випробування викликаний малим натягом манжети, а, отже, відсутністю достатніх початкових контактних тисків  $q_0$ . Зважаючи на не значну глибину встановлення випробувальних пакерів з самоущільнюючими манжетами, а, отже, як наслідок на обмежений об'єм затрубного простору, куди подається випробувальна рідина, існує висока імовірність руйнування обладнання і травмування працюючих за умов імпульсних навантажень.

Враховуючи відсутність вичерпних результатів для проектування самоущільнюючих манжет свердловинних випробувальних пакерів, було проведено аналіз наукових праць з дослідження роботи самоущільнюючих манжет в галузі загального машинобудування. Принцип роботи самоущільнюючих манжет свердловинних випробувальних пакерів є аналогічним до принципу роботи манжет, що використовуються для запирання робочих рідини у рухомих та нерухомих з'єднаннях різноманітних гідравлічних та пневматичних систем агрегатів чи пристроїв.

У роботі [6] висвітлено результати досліджень умових манжет силових гідроциліндрів у вигляді графічної залежності між випробувальним тиском; величиною радіального зазору: між упором та стінкою гідроциліндра та величиною об'єму матеріалу манжети, що витискується в процесі її роботи в зазор. В науковій праці [7] висвітлено залежність величини попередніх контактних тисків  $q_0$  самоущільнюючих манжет від величини попереднього натягу та величини випробувального тиску. В роботі [8] подано результати експериментального дослідження впливу фізико-механічних властивостей матеріалу самоущільнюючих манжет на герметичність гідроциліндрів автонавантажувачів. Не менш важливим є результати прове-

дених досліджень самоущільнюючих воротникових манжет гідроциліндрів [9], які показали суттєвий вплив стану ущільнюваної поверхні на процес герметизації ущільнюючих поверхонь.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Результати наукових праць [6 – 9] не можна повною мірою вважати базою для створення системного підходу у конструюванні самоущільнюючих манжет свердловинних випробувальних пакерів.

Підтвердженням цього є ряд досліджень [10], які свідчать, що рівень герметизаційної здатності та значення напружень, які мають місце під час експлуатації, суттєво залежать, в першу чергу, від розмірів, форми, матеріалу та температури експлуатації ущільнення. Порівнюючи складові конфігурації самоущільнюючих манжет устьових випробувальних пакерів та манжет загального машинобудування, можна стверджувати, що, окрім принципу роботи, вони не мають нічого спільного.

Зважаючи на викладене, конкретизуємо ряд нерозв'язаних науково-технічних задач, що мають місце при проектуванні пакерних манжет та експлуатації випробувальних пакерів. До таких, перш за все, відносяться:

1) обґрунтування раціональної форми і геометричних параметрів самоущільнювальної манжети. Манжета повинна реалізовувати ефект самоущільнення, забезпечувати безперешкодне опускання – піднімання пакера в свердловину, мати за необхідності підсилену опорну частину для сприйняття високого тиску.

2) визначення необхідних для пакерування початкових радіальних контактних тисків в залежності від мікрогеометрії ущільнюваної поверхні обсадних труб, наявності на ущільнюваній поверхні труби бруду, продуктів корозії, можливих овальності та різностінності обсадних труб.

3) дослідження розподілу контактних тисків на спряжених поверхнях при різних режимах навантаження на манжету пакера.

4) дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних факторів на розподіл деформацій в манжеті.

Для розв'язання наведених вище задач розроблено методики комплексних досліджень, які передбачають: дослідження напружено-деформованого стану самоущільнюючих манжет за допомогою комп'ютерних програмних пакетів та експериментальні дослідження останніх з врахуванням найбільш впливових факторів.

**Мета роботи.** Проведені комплексні дослідження ставили за мету:

– визначити залежність контактних тисків на спряженій поверхні: манжета – обсадна труба, які є визначальними індикаторами дотримання манжетою умов герметичності (1) в процесі випробування противикидного обладнання від найбільш впливових експлуатаційних, конструктивних та технологічних факторів;

$$q \geq P, \quad (1)$$

де  $q$  – контактний тиск на спряженій поверхні манжета – обсадна труба;

$P$  – робочий тиск випробувальної рідини.

– визначити напружено-деформований стан манжети вузла ущільнення в умовах випробування для оцінювання герметизаційної здатності устьових випробувальних пакерів;

– реалізація отриманих результатів експериментальних та теоретичних досліджень в конструкцію вдосконаленого устьового випробувального пакера.

Висвітлення основного матеріалу. Для проведення як експериментальних, так і теоретичних досліджень за базу було обрано самоущільнюючу манжету найбільш поширеного свердловинного пакера типу УВЧ виробництва спеціальної аварійно-рятувальної служби «ЛКВО» ПАТ «Укргазвидобування» (рис. 1).

Проведення експериментальних досліджень дозволило проаналізувати герметизаційну здатність вузла ущільнення свердловинного випробувального пакера, а саме – величину робочих контактних тисків в умовах, наближених до реальних. Для проведення експерименту з визначення контактних тисків було розроблено та виготовлено лабораторну установку, що дозволила провести дослідження натурних зразків манжет. Загальний вигляд установки показаний на рисунку 4. Метод дослідження контактних тисків за допомогою представленої на рисунку 4 лабораторної установки дістав назву «метод контрольних отворів» [10].

За даним методом контактний тиск на спряженій поверхні визначається тиском зовнішньої вимірювальної гідравлічної системи, яка з'єднана з радіальним отвором малого діаметру, вихід із якого закритий зовнішньою поверхнею самоущільнюючої манжети. Остання під час випробування перебуває у внутрішньому просторі лабораторної установки під дією тиску випробування  $P$ . Коли тиск у зовнішній гідравлічній системі, стане рівним контактному тиску в місці контакту манжети з виходом радіального отвору, між зовнішньою поверхнею манжети та внутрішньою поверхнею обсадної труби з'явиться щілина, якою рідина із вимірювальної зовнішньої гідравлічної системи пройде в порожнину зливу. Тиск в момент відкриття щілини приймають рівним контактному тиску з деякою поправкою. Дана поправка була досліджена на спеціальній тарувальній установці.

Під час дослідження контактних тисків використовувалися манжети різних типорозмірів, що звулканізовані з гумової суміші ІРП-1293.

З метою отримання максимуму інформації при мінімумі витрат було проведено планування експерименту, що полягав у визначенні залежної змінної (відгуку), у виборі параметрів оптимізації та їх рівнів варіювання, визначення необхідного числа дослідів, встановленні порядку проведення експерименту, складанні математичної моделі і перевірці суттєвості статистичних зв'язків за допомогою дисперсійного і кореляційного аналізів [11].



Рисунок 4 – Загальний вигляд лабораторної установки для дослідження контактних тисків

При плануванні експерименту на основі апріорної інформації та попередніх досліджень за незалежні фактори приймали: радіальний зазор  $\delta$  між опорною втулкою та обсадною трубою, мм; діаметральний натяг манжети  $\Delta$ , мм; тиск випробування  $P$ , МПа та модуль зсуву матеріалу  $\sigma_{зс}$ , МПа. В якості цільової функції  $E$ , МПа було прийнято величину контактного тиску. Експеримент поставлено за програмою центрального композиційного рототабельного плану другого порядку Бокса-Хантера. Ядро плану було представлено напівреплікою  $2^{5-1}$  ( $1=X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$ ). Реалізовано 28 дослідів.

Функція відгуків апроксимована поліномом другого порядку виду

$$Y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i X_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} X_i X_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} X_i^2, \quad (2)$$

де  $k$  – число незалежних змінних.

Обробка результатів експерименту та аналіз регресійної моделі здійснено за допомогою модуля «Планування експерименту» статистичної програми Statgraphics 5.0 Plus. Рівняння регресії з урахуванням значущості коефіцієнтів отримало вигляд

$$\begin{aligned} q = & 30,475 + 1,28975 \cdot X_1 + 1,99608 \cdot X_2 - \\ & - 1,62917 \cdot X_3 + 1,19583 \cdot X_4 - 0,031875 \cdot X_1^2 + \\ & + 0,10625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,11875 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,00625 \cdot X_1 \cdot X_4 - \\ & - 0,045375 \cdot X_2^2 - 0,11875 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,00625 \cdot X_2 \cdot X_4 + \\ & + 0,27875 \cdot X_3^2 + 0,00625 \cdot X_3 \cdot X_4 - 0,04625 \cdot X_4^2. \quad (3) \end{aligned}$$

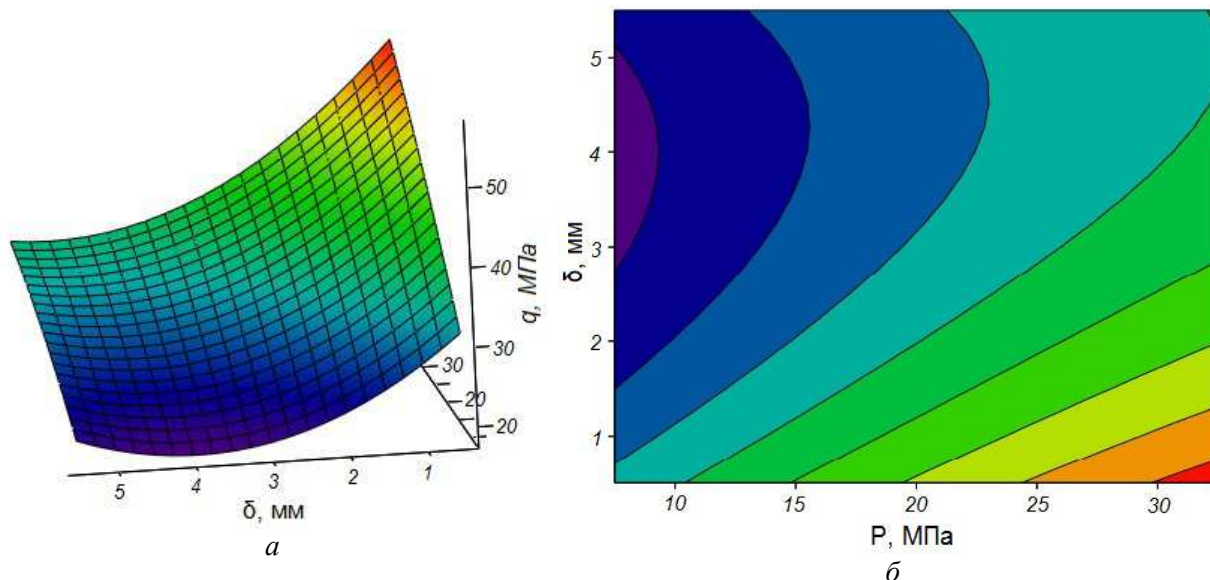
Результатом проведених досліджень стали графічні залежності контактних тисків від найбільш впливових експлуатаційних та конст-

руктивних факторів впливу. На рисунку 5 показано тривимірний графік залежності контактного тиску від тиску випробування та радіального зазору. Аналіз отриманої графічної залежності показав, що при максимальному тиску випробування герметизаційна здатність манжети знижується вже при величині більше 2 мм. При значенні радіального зазору більше за 2 мм тиск випробування має бути зменшеним, що не завжди відповідає плану робіт з випробування устьового та противикидного обладнання.

Зважаючи на достатньо високу вартість експериментальних досліджень з урахуванням усіх факторів та можливих технічних та конструктивних параметрів манжети, було проведено також пошук альтернативних методів дослідження. Альтернативними методами є аналітичний та числовий.

Для більш складних конструкцій і граничних умов використовуються численні (комп'ютерні) методи вирішення задач, які дозволяють наближено описати нелінійні геометричні форми та способи прикладення зовнішнього навантаження. При цьому для отримання розв'язку задач навіть невеликої точності створюється система з великої кількості рівнянь, розв'язання якої вимагає значних розрахункових потужностей.

Одним із методів комп'ютерного моделювання є метод скінченних елементів. Він заснований на заміні досліджуваної області довільної форми скінченними елементами простішої конфігурації з відомими властивостями, які зв'язані між собою у вузлах. За відомими зна-



*a – тривимірний графік; б – контурна крива*

**Рисунок 5 – Тривимірний графік залежності контактного тиску від тиску випробування та радіального зазору**

ченнями області на границях моделі (граничні умови) знаходять параметри в будь-якій внутрішній точці. Сьогодні цей метод є найбільш розповсюдженим унаслідок універсальності підходу [12].

Методу скінченних елементів дає можливість вирішувати задачі знаходження деформацій і напруження моделей з різними геометричними розмірами та властивостями матеріалів, контактних взаємодій різнорідних тіл залежно від прикладених навантажень і умов взаємодії з навколишніми тілами.

Для дослідження напружено-деформованого стану самоущільнюючої манжети та відповідно герметизаційної здатності було вибрано метод скінченних елементів.

Комп'ютерне моделювання виконували в такій послідовності:

- 1) побудова геометричної моделі вузла ущільнення;
- 2) вибір моделі поведінки матеріалу ущільнення;
- 3) розбиття манжети на скінченні елементи;
- 4) визначення граничних умов та навантажень, які діють у процесі експлуатації устьового випробувального пакера;
- 5) проведення досліджень з отриманням відповідних епюр напружено-деформованого стану.

Завданням моделювання було отримання максимальних еквівалентних напружень (за Мізесом) та аналіз їх розподілу по тілу манжети під дією навантаження. Знання розподілу максимальних еквівалентних напружень є дуже важливим, з точки зору дослідження процесу екструзії матеріалу манжети в процесі випробування устьового обладнання в радіальний зазор між упором манжети та внутрішньою стінкою обсадної колони. Метод скінченних еле-

ментів було також досліджено значення попередніх та робочих контактних тисків.

Результатом проведення досліджень стали відповідні графічні залежності. Одна з них показана на рисунку 6.

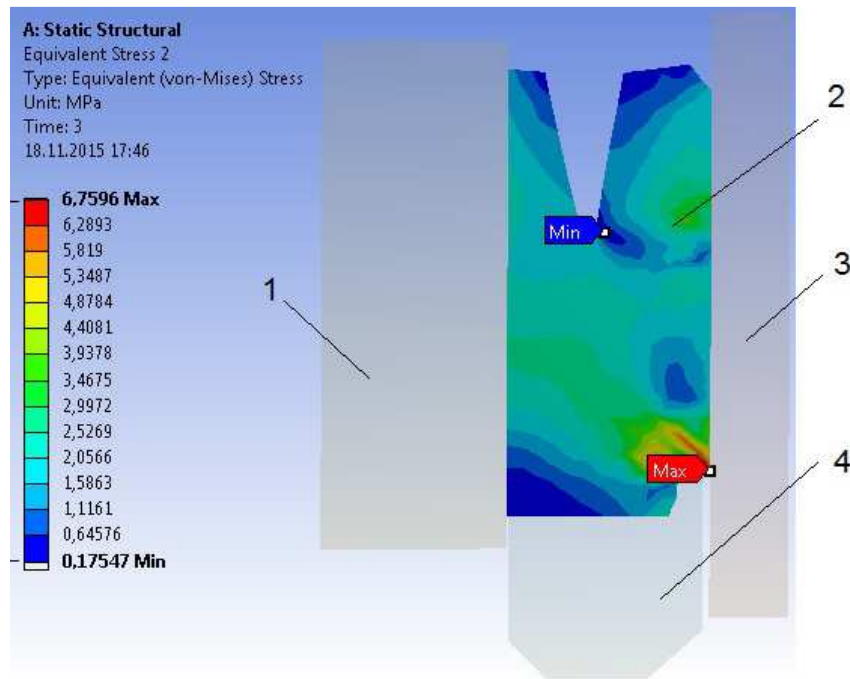
За отриманими результатами було зроблено порівняння з результатами експериментальних досліджень. Розбіжність між результатами комп'ютерного моделювання й експериментального дослідження склала 8%.

Виявлені результати моделювання дали можливість реалізувати їх у вдосконаленій конструкції манжети. Були проведені дослідження вдосконаленої манжети з урахуванням аналогічних факторів впливу. На рис. 7 наведено проміжні результати моделювання у вигляді епюри напружено-деформованого стану манжети із зазначенням відповідних обмежень.

Провівши аналіз результатів комплексних досліджень герметизаційної здатності вдосконаленої манжети, на її базі авторами роботи було розроблено та виготовлено вдосконалений устьовий випробувальний пакер. На рисунку 8 представлено конструктивні особливості та загальний вигляд пакера типу ПВУ.

Устьовий випробувальний пакер складається із циліндричного корпусу 1 з центральним осьовим каналом та буртом 2, опорної втулки 3, самоущільнюючої манжети 4 з внутрішньою 5 та зовнішньою 6 робочими губами і заглибленням між ними 7, в яке сідає опорна втулка 3, упору 8, регулюючої гайки 9 та перегородки 10 з радіальним отвором 11.

Перед експлуатацією устьовий випробувальний пакер збирають наступним чином. На циліндричний корпус 1 з центральним осьовим каналом встановлюють опорну втулку 3 до контакту її основи з буртом 2 корпусу пакера. Далі з попереднім натягом встановлюють самоущільнюючу манжету 4 з внутрішньою 5 та зо-



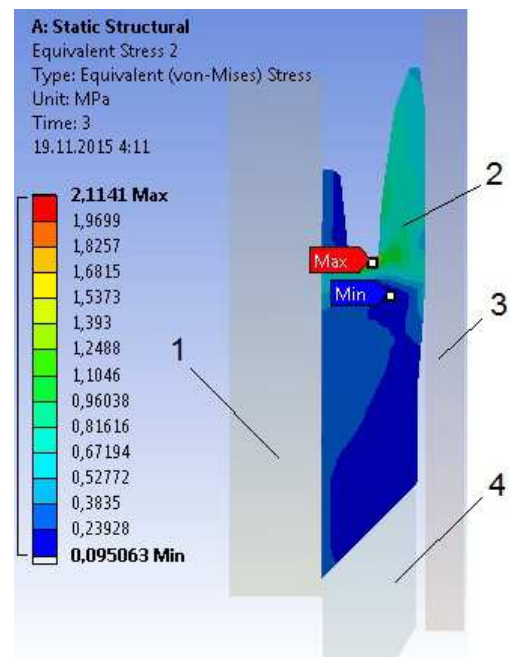
(умови:  $\Delta=2$  мм,  $\delta=1$  мм,  $\sigma_{zc}=2,47$  МПа,  $P=30$  МПа)  
 1 – корпус пакера; 2 – манжета; 3 – обсадна труба; 4 – упор

**Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень (за Мізесом)**

внiшньою 6 робочими губами до контакту її заглиблення 7 з вiдiгнутою назовнi частиною опорної втулки 3. Пiсля посадки самоуцiлюючої манжети 4 на цилiндричному корпусi 1 встановлюють упор 8, причому зрiзана всередину конiчна поверхня має спiвпасти зi зрiзаною назовнi конiчною поверхнею манжети. Для досягнення гарантованої щiлности контактуючих поверхонь внутрiшньої робочої губи 5 манжети та опорної втулки 3 самоуцiлюючу манжету 4 затягують регулюючою гайкою 9. Далi до нижньої приєднувальної рiзби цилiндричного корпусу устьового пакера приєднують перевiдник 10 з запобiжним рiдiальним отвором 11, наявнiсть якого в рядi випадкiв дозволяє швидко виявляти негерметичнiсть самоуцiлюючої манжети.

Устьовий випробувальний пакер працює наступним чином. Пакер через нижню приєднувальну рiзбу перевiдника 10 приєднують до попередньо пiднятої та зафiксованої на устi свердловини бурової колони або колони насосно-компресорних труб. Пiсля цього до верхньої приєднувальної рiзби цилiндричного корпусу 1 пакера приєднують необхідну кiлькiсть бурових чи насосно-компресорних труб.

Далi устьовий випробувальний пакер опускають в свердловину з попереднiм натягом, за рахунок того, що максимальний зовнiшнiй дiаметр самоуцiлюючої манжети 4 бiльший за внутрiшнiй дiаметр обсадної колони до попередньо визначеного та пiдготовленого мiсця пакування. Закривають плашки противикидного обладнання i в надпакерний простiр насосним агрегатом подають робочу рiдину. Створюють тиск  $5\pm 1$  МПа та витримують впродовж 5 хвилин. Пiд дiєю тиску робочої рiдини, яка

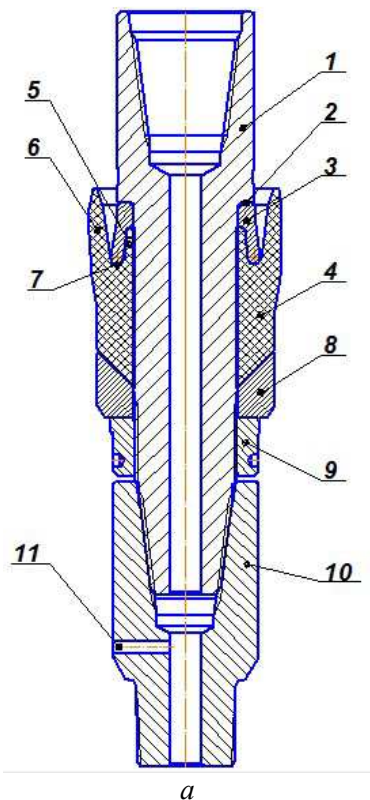


(умови:  $\Delta=2$  мм,  $\delta=1$  мм,  $\sigma_{zc}=2,47$  МПа,  $P=30$  МПа)  
 1 – корпус пакера; 2 – манжета; 3 – обсадна труба;  
 4 – упор

**Рисунок 7 – Розподіл еквівалентних напружень (за Мізесом)**

заповнює порожнину мiж опорною втулкою 3 та зовнiшньою робочою губою 6 манжети, відбувається процес самоуцiлювання манжети та герметизацiя затрубного простору. Якщо впродовж 5 хвилин тиск не зменшується, його доводять до розрахункового та витримують протягом 30 хвилин. Якщо зниження тиску не відбу-





(а – конструктивне оформлення пакера; б – загальний вигляд пакера)  
 1 – корпус, 2 – упорний бурт корпуса, 3 – опорна втулка, 4 – манжета,  
 5, 6 – внутрішня та зовнішня робочі губи, 7 – заглиблення манжети; 8 – упор;  
 9 – регулююча гайка; 10 – перевідник; 11 – запобіжний радіальний отвір

**Рисунок 8 – Устьовий випробувальний пакер ВПУ–168**

лося, а також відсутні у з'єднаннях, ущільненнях та вузлах об'язки обладнання спітніння зварних швів і корпусних його деталей, устьове і противикидне обладнання вважається таким, що витримало випробування на внутрішній тиск. У разі зниження тиску визначають його причини, усувають їх та проводять повторне випробування. Після випробування устьовий випробувальний пакер піднімають на поверхню та консервують до подальшого використання.

Устьовий випробувальний пакер має низку конструктивних особливостей.

Введення в конструкцію пакера регулюючої гайки між перевідником та упором дає можливість підвищити надійність нижньої приєднувальної різби циліндричного корпуса в процесі експлуатації. Це досягається шляхом її розвантаження внаслідок розподілу осьових навантажень на пакер – навантажень від ваги, яку складають підвішені знизу до пакера бурові або насосно-компресорні труби, та навантаження від тиску випробування, між нижньою приєднувальною різьбою корпуса пакера та різьбою регулюючої гайки відповідно. Також введення в конструкцію регулюючої гайки дає можливість, шляхом її підтягування, підтримувати постійну щільність контактуючих між собою поверхонь внутрішньої робочої губи манжети та втулки опорної, що порушується при пластичних деформаціях манжети після декількох разів експлуатації пакера.

Виконання упора з кінчно скошеною серединою поверхнею, а самоущільнюючої герметизуючої манжети зі зрізаною назовні кінчною поверхнею, та їх взаємодія по цій поверхні в процесі експлуатації забезпечує зменшення концентрацій напружень в опорній частині манжети. Результатом цього є зменшення утворення пластичних деформацій в процесі експлуатації та, як наслідок, зменшення затікання гуми самоущільнюючої манжети в зазор між упором та внутрішньою стінкою обсадної колони.

Виконання зовнішніх стінок втулки опорної відігнутими назовні дає можливість збільшити простір між її зовнішньою поверхнею та зовнішньою робочою губою, куди надходить робоча рідина в процесі випробування. Це призводить до кращого притискання зовнішньої робочої губи манжети до внутрішньої стінки обсадної труби в режимі самоущільнення. В результаті краще притискання дає можливість досягти герметизації затрубного простору при менших подачах насосним агрегатом випробувальної рідини, що має місце на етапі створення початкового тиску випробування. Крім того, спирання втулки опорної у заглиблення між внутрішньою і зовнішньою робочими губами самоущільнюючої манжети забезпечує надійну щільність контактуючих між собою поверхонь внутрішньої робочої губи манжети та втулки опорної. Таке конструктивне рішення виключає

ймовірність пропусків робочої рідини між циліндричним корпусом пакера та внутрішньою губою манжети при випробуванні.

Виконання зовнішньої робочої губи манжети із звуженими по товщині закінченнями дає можливість підвищити її еластичність, та в разі пакування у зношених обсадних колонах (або зі значною овальністю чи раковинами на поверхні обсадної труби), досягти гарантованої герметизації затрубного простору.

Представлений устєвий випробувальний пакер був розроблений на базі Полтавської воєнізованої частини з попередження і ліквідації відкритих нафтових і газових фонтанів ПАТ «Укрнафта».

Пройшовши успішні промислові випробування на кількох свердловинах Бугруватівського нафтового та Рибальського нафтогазоконденсатному родовищі, був впроваджений у нафтогазовидобувному управлінні «Охтирканафтогаз» ПАТ «Укрнафта».

### Висновки

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження герметизаційної здатності самоущільнюючого вузла свердловинного пакера для випробування устєвого та противикидного обладнання дали наступні результати:

1. Систематизовано комплекс експлуатаційних, конструктивних та технологічних факторів, що впливають на рівень герметизаційної здатності устєвого випробувального пакера.

2. Вперше досліджено напружено-деформований самоущільнюючий манжет устєвих випробувальних пакерів;

3. Вперше досліджено залежність робочих контактних тисків на спряженій поверхні: манжета – обсадна труба від найбільш впливових факторів.

4. Впровадження вдосконаленого устєвого випробувального пакера типу ПВУ на базі модернізованої самоущільнюючої манжети дало можливість ефективніше проводити роботи з випробування приустєвої частини обсадної колони разом з противикидним обладнанням після встановлення останнього на свердловині.

### Література

1 Костриба І.В. Підвищення рівня фонтанної безпеки в процесі ремонту газових свердловин [Текст] / І.В. Костриба, Х.А. Бойкович : Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нафтогазова енергетика 2015», 21-24 квітня 2015 р. : Тези доповідей. – Івано-Франківськ. – 2015. – С. 45 – 47.

2 Износ и защита обсадных колон при глубоком бурении [Текст] / М.Л. Кисельман. – М.: Недра, 1971. – 210 с.

3 Яковлев А. С. Исследование работы манжетных уплотнителей пакеров в режиме самоуплотнения [Текст] / А.С. Яковлев, С.С. Яковлев // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2006. – № 9. – С.44 – 46.

4 Ледашов О.А. Пакеры для опрессовки устья скважин типа ПОУ [Текст] / О.А. Ледашов, В.Г. Никитченко, Е.Н. Штахов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – № 1. – С.25 – 27.

5 Римчук Д.В. Нові технічні засоби ДП «ЛІКВО» для забезпечення фонтанної та газової безпеки під час буріння та капітального ремонту свердловин [Текст] // Нафтогазова галузь України. – 2015. – № 6. – С.37 – 40.

6 Buyalich G. D. Modeling of Hydraulic Power Cylinder Seal Assembly Operation [Text] / G. D. Buyalich, K. G. Buyalich // Presented at Mining 2014: Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control: Chinese Coal in the Century: Mining, Green and Safety, China, Qingdao, 17–20 October 2014. – Amsterdam – Paris – Beijing: Atlantis Press, 2014. – P. 167–170.

7 Boart P. On the Normal Stress Effect in Grease-Lubricated Bearing Seals [Text] // P. Boart, M. Lugt, B. Procash // Tribology Transactions. – 2014. – Vol. 57. – Issue 5. – P. 939 – 943.

8 Gözl J. Experimental Study on the Sealing Mechanism of Bidirectional PTFE Lip Seals [Text] // J. Gözl, F. Bauer, W. Haas // Tribology Transactions. – 2014. – Vol. 57. – Issue 5. – P. 866 – 870.

9 Huang Y. Simulation of the Effects of a Plunge Ground Rod on Hydraulic Rod Seal Behavior [Text] // Y. Huang, R. Slant // Tribology Transactions. – 2013. – Vol. 56. – Issue 6. – P. 986 – 996.

10 Dorokhov M.A. Experimental research of the process of probationary self-sealing packer during the construction of oil and gas wells / M.A. Dorokhov, I.V. Kostriba, V.O. Betsun V.O., I.V. Piienko // International Journal of Applied Science and Engineering Research. – Radom, Poland. – 2015. – Vol. 2.

11 Сергеев П.В. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки окисних копалин (практикум) [Текст] / П.В. Сергеев, В.С. Білецький. – Маріуполь: Східний видавничий дім, 2016. – 119 с.

12 Дорохов М. А. Чисельний метод у дослідженні вузлів ущільнень випробувальних свердловинних пакерів / М. А. Дорохов // Матеріали 68-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, 19 – 22 квітня 2016 р.: тези доповідей. – Полтава, 2016. – С. 54 – 57.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.05.16

Рекомендована до друку  
професором **Райтером П.М.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Винниковим Ю.Л.**  
(Полтавський національний технічний  
університет ім. Ю. Кондратюка, м. Полтава)