

УДК 622.245

М. Є. Чернова, Б. О. Чернов, В. М. Мовчан

Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ОБСАДНИХ КОЛОН

Запропоновано конструкції муфтових з'єднань обсадних труб з високогерметизуючим елементом для забезпечення герметичності обсадних колон за високих параметрів тиску і температур. Науково обґрунтовано пружно-деформований стан труб зі вставним герметизуючим елементом. Подано результати експериментальних досліджень натурних зразків обсадних труб на герметичність, які підтвердили високі експлуатаційні характеристики з'єднань.

Ключові слова: герметичність, з'єднання, конструкція, елемент.

Україна належить до держав, які відчувають дефіцит енергоносіїв, оскільки задовольняє свої потреби в енергоносіях лише на 50 %. Тому досягнення максимально можливого рівня забезпеченості паливно-енергетичними ресурсами є принциповим завданням національної економіки України, вирішення якого є неможливим без збільшення об'ємів буріння геолого розвідувальних та експлуатаційних свердловин.

Буріння та експлуатація свердловин в складних геологічних умовах супроводжується різними ускладненнями та аваріями, найбільш затратними серед яких є пошкодження обсадних колон. Одним із найбільш поширених видів пошкоджень обсадних колон є втрата герметичності різьбових з'єднань, особливо при кріпленні похило-скерованих і горизонтальних свердловин.

В процесі будівництва нафтогазових і газових свердловин елементи обсадної колони перебувають у пружно-деформованому стані. Проблемою розрахунку напружень в герметизуючих елементах обсадної колони займався багато науковців, та все ж на сьогоднішній час дослідженням напружено-деформованого стану цих систем, що відчувають осесиметричну деформацію, та володіють ускладненою геометричною конструкцією меридіонального січення, якими є герметизуючі елементи, уваги приділено не так багато. Це пояснюється тим, що герметизуючі елементи конструюються науковцями в кожному випадку індивідуально для кожного конкретного випадку проблеми, що виникла, а тому дослідження цих елементів є надзвичайно актуальними.

Незважаючи на спрощення, які вносить осьова симетрія в основні рівняння механіки твердого деформованого тіла, знаходження розв'язків, а особливо, доведення їх до кінцевого числового результату викликає значні труднощі. Якщо конструкція володіє складною геометричною формою, або коли в задачі для даної конструкції існують складні граничні умови, то математичні труднощі, що зустрічаються під час застосування аналітичних методів, є в більшості випадків досить суттєвими. Відсутність моделі розрахунків напружень, на основі яких можна отримати науково обґрунтовані рекомендації з вибору оптимальних величин геометричних параметрів елементів герметизації, та відсутність для проектування розрахунків міцності матеріалів, з яких будуть виготовлені ці елементи позбавляють впевненості в експлуатаційній надійності високовартнісних об'єктів, якими є обсадні колони.

Обсадні труби нафтового сортаменту у відповідності ГОСТ 632-80 виготовляються з різьбою трикутного і трапецеїдального профілю [1]. Значний відсоток продукції трубопрокатних заводів країни випускається з різьбою трикутного профілю, яка є негерметичною, а існуючі ущільнюючі мастила в більшості випадків не забезпечують герметичності обсадних колон.

З метою підвищення експлуатаційних характеристик обсадних колон у ВНДІБТ (м. Москва) розроблено конструкції різьбових з'єднань ОТТГ [2], які забезпечують значно вищу герметичність ніж з'єднання ОТТМ, та з різьбою трикутного профілю (ОТМ). Герметичність з'єднання ОТТГ забезпечується конічними ущільнюючими поверхнями, що знаходяться за різьбою з боку менших діаметрів ніпеля і муфти та контакту по внутрішньому упорному торцю труби і уступу муфти, який точно фіксує заданий натяг в процесі згвинчування з'єднання. Експериментальні і промислові дослідження даного з'єднання показали, що в процесі згвинчування і розгвинчування часто відбуваються задирання конічних ущільнюючих поверхонь (герметизуючого пояса), що призводить до необхідності зменшення величини діаметрального натягу, а відповідно, до зменшення ступеня герметичності різьбових з'єднань. При нарізанні різьби значення діаметрального натягу ущільнюючих поверхонь контролюється спеціальними калібрами. Дослідженнями геометричних параметрів обсадних труб з різьбовими з'єднаннями ОТТГ виявлено, що лише 10 % з'єднань виготовляється з додатним діаметральним натягом по герметизуючому пояску. Це свідчить про те, що на заводі виробнику обсадних труб свідомо занижують величину діаметрального натягу по ущільнюючих конічних поверхнях щоб уникнути відбраковування труб.

На основі аналізу конструктивних і технологічних властивостей різьбового з'єднання ОТТГ запропоновано нову конструкцію муфтових різьбових з'єднань підвищеної герметичності (ОТТПГ), що усуває вище вказані недоліки [3].

Дана конструкція різьбового з'єднання відрізняється від з'єднання ОТТГ тим, що на конічному ущільнюючому пояску різьби на трубі виконується циліндрична проточка заданого діаметра на який встановлюється конічний герметизуючий елемент, що виготовлений із матеріалу коефіцієнт об'ємного температурного розширення якого значно більший ніж матеріалу труби і муфти.

Посадка герметизуючого елемента здійснюється з заданим діаметральним натягом. При загвинчуванні різьбового з'єднання здійснюється щільна посадка конічних ущільнюючих поверхонь та поверхонь герметизуючого елемента з початковим діаметральним натягом $\Delta_{\text{поч}}$, в результаті чого виникають напруження, які призводять до деформації муфти, труби та герметизуючого елемента. З підвищенням температури, за рахунок різних значень коефіцієнтів об'ємного розширення матеріалів, виникають додаткові контактні тиски по взаємодіючих поверхнях, що також сприяє підвищенню герметичності різьбового з'єднання.

Згідно теоретичних розрахунків запропонована конструкція з'єднання забезпечує герметичність обсадних колон при високих параметрах тисків і температур та дії статичних і динамічних навантажень.

Результати аналітичних досліджень одержали підтвердження даними експериментальних досліджень на герметичність натурних зразків муфтових з'єднань обсадних труб діаметром 168 мм з різьбою ОТТГ та ОТТПГ зі сталі групи міцності Д і Е та результатами промислових випробувань 220 конструкцій обсадних труб з різьбою ОТТПГ(свердловина Гнідинці-201).

Для визначення оптимальних геометричних параметрів та технологій кріплення різьбового з'єднання ОТТПГ нами досліджено пружно-деформований стан запропонованої конструкції з'єднання з герметизуючим елементом при дії високих значень тиску і температури [4]. Враховуючи, що деформаційні процеси, які відбуваються в обсадних трубах і муфтах під дією тиску, описуються моментною теорією тонкостінних колових оболонок, нами одержано аналітичні залежності для визначення в довільних перерізах радіальних переміщень конічного герметизуючого елемента різьбового з'єднання ОТТПГ, додаткового контактного та сумарного тисків, та оптимальних геометричних параметрів з'єднання.

Дослідженнями встановлено, що пружно-деформований стан конічної частини герметизуючого елемента повністю визначається радіальним натягом на конічних ущільнюючих поверхнях. При згвинчуванні та розгвинчуванні муфтових з'єднань з різьбою ОТТПГ задири та подряпин на конічній поверхні герметизуючого елемента виявлено не

було. Це пояснюється зменшенням коефіцієнта тертя бронзи зі сталлю та зменшенням жорсткості по всій довжині конструкції з герметизуючим елементом.

Як було зазначено вище, потребують удосконалення обсадні труби з різьбовими з'єднаннями ОТМ і ОТТМ. Для вирішення цієї проблеми та підвищення герметичності різьбових з'єднань, які працюють при високих тисках і температурах та піддаються значним статичним і динамічним навантаженням авторами [5] запропоновано різьбове з'єднання труб, яке включає в себе муфту з внутрішньою різьбою, кінці труб з відповідними зовнішніми різьбами і конічними внутрішніми поверхнями біля торців труб та встановленими між торцями труб ущільнюючими елементами, які мають зовнішні конічні поверхні та торці з двох сторін і деформуються при взаємодії з відповідними поверхнями і торцями при згвинчуванні з'єднання.

Однак, такий герметизуючий елемент у випадку великого кута між твірними конічної поверхні має недостатню для герметизації з'єднання площу контакту з трубами. А у випадку малого кута між твірними конічної поверхні на останній виникають значні сили тертя, які призводять до само заклинювання труб і перешкоджають забезпеченню герметичності з'єднання. Прикладання збільшеного крутного моменту до такого з'єднання для підвищення його герметичності призводить до втрати форми і руйнування герметизуючого елемента.

На основі вище наведеного при розробці нової конструкції муфтового різьбового з'єднання обсадних труб ставиться задача – підвищити надійність та щільність контакту між ущільнюючими поверхнями у з'єднанні труб при дії високих тисків шляхом компенсації розсіювання відстані між торцями труб, збільшення площі контакту з трубами, відсутності заклинювання при згвинчуванні з'єднань та підвищення контактного тиску за рахунок зменшення жорсткості герметизуючого елемента і його пружної деформації.

Для вирішення задачі розроблено конструкції різьбових з'єднань з герметизуючим елементом обсадних труб [6]. Схему муфтового різьбового з'єднання для обсадних труб з герметизуючим елементом наведено на рис. 1.

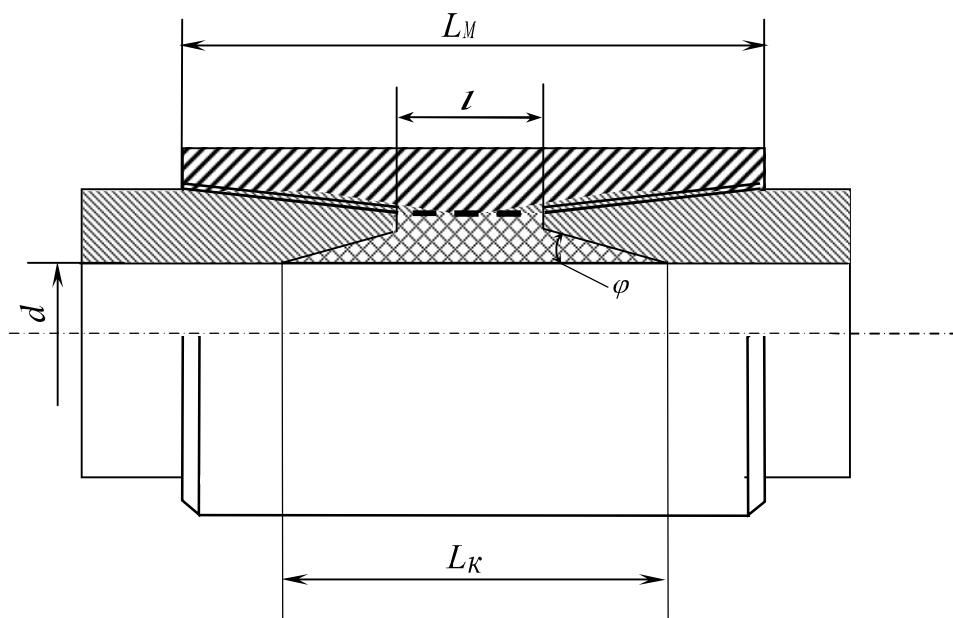


Рис. 1. Схема муфтового з'єднання ОТ з герметизуючим елементом: L_M – довжина муфти; L_K – довжина герметизуючого елемента; φ – кут конуса конічної поверхні герметизуючого елемента; l – ширина циліндричної частини герметизуючого елемента; d – внутрішній діаметр труби

Різьбове з'єднання складається з кінців труб, з'єднаних муфтою, і розміщеним між ними герметизуючим елементом, двома упорними уступами, між якими на зовнішній і на внутрішній поверхнях герметизуючого елемента виконані кільцеві канавки, та ущільнюючими конічними поверхнями. Відстань між торцями герметизуючого елемента відповідає найбільш допустимій відстані між торцями труб у з'єднанні. Сумарна ширина канавок відповідає найбільш допустимій величині розсіювання відстані між торцями труб у з'єднанні.

З наведеного рис. 2 видно, що герметичність різьбового з'єднання забезпечується за рахунок посадки з натягом відповідних конічних поверхонь герметизуючого елемента та труби. При цьому різьбові з'єднання не упорного типу (ОТТМ і ОТМ) перетворюються на різьбові з'єднання упорного типу, що сприяє підвищенню ступеня герметичності такого різьбового з'єднання. Ущільнення і герметизація досягаються за рахунок силового контакту торця і розточеного конуса труби з відповідними конічними поверхнями герметизуючого елемента під час згвинчування муфти і труб.

Якщо з'єднання виконано з відстанню між торцями меншою за максимально допустимую, то герметизуючий елемент пружно стискається в осьовому напрямку за рахунок кільцевих канавок, не руйнуючись і цим забезпечує герметичність контакту ущільнюючих поверхонь. Під час впливу згинаючих навантажень, які діють на різьбове з'єднання в процесі його експлуатації, герметизуючий елемент відчуває на собі пружну деформацію згину, яка забезпечується знову ж таки наявністю кільцевих канавок, і таким чином, герметичність контакту ущільнюючих поверхонь не порушується.

Герметичність запропонованого різьбового з'єднання залежить від площі контактної поверхні між стиком торця герметизуючого елемента і торця труби, кута конуса конічних поверхонь герметизуючого елемента. Для визначення кута між твірними конічних ущільнюючих поверхонь запропонованого герметизуючого елемента розглянемо схему розподілу діючих сил (рис. 2).

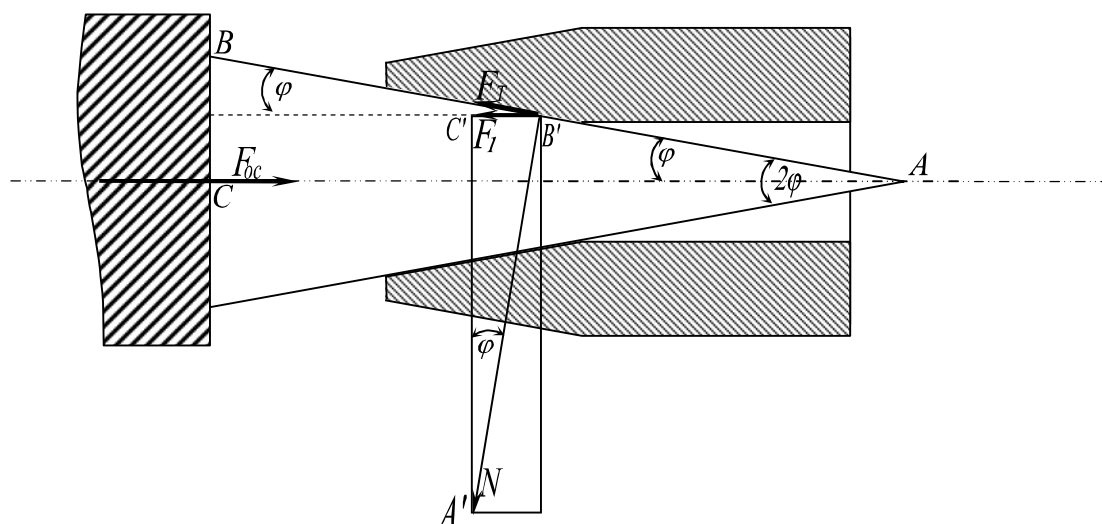


Рис. 2. Схема розподілу сил на дотичній до труби частині конічної поверхні герметизуючого елемента

З рис. 2 видно, що зменшення кута при вершині конуса герметизуючих поверхонь ($2\varphi_k$) призводить до збільшення контактної площі між конічною поверхнею герметизуючого елемента та відповідною конічною внутрішньою поверхнею труби, а відповідно до підвищення герметичності різьбового з'єднання. Оскільки параметри герметизуючого елемента

визначаються конструктивними особливостями обсадних труб, необхідно визначити оптимальні значення кута конуса конічної ущільнюючої поверхні герметизуючого елемента.

Під час згвинчування з'єднання на герметизуючий елемент діє осьова сила F_{oc} , а збоку труби на цей же елемент діє сила рівна за модулем, але протилежна за напрямком F_1 , тобто:

$$F_{oc} = -F_1.$$

Сила F_1 має дві складові, одна з яких співпадає з напрямком сили тертя F_T , що виникає між поверхнями контакту внутрішньої частини труби і герметизуючого елемента, а друга має напрям нормалі до конічної поверхні і є реакцією опори.

За законом Кулона для сил тертя:

$$F_T = \mu N, \quad (1)$$

де μ – безрозмірний динамічний коефіцієнт тертя між поверхнями, що дотикаються; N – сила нормального тиску, N .

Разом з тим з рисунка видно, що трикутники ABC і $A'B'C'$ є подібними, з врахуванням цього кута при вершинах є однаковими, тому справедливими будуть рівності:

$$F_1 = N \sin \varphi \quad (2)$$

та

$$F_1 = F_T \cos \varphi. \quad (3)$$

Прирівнявши рівняння (2) та (3) з врахуванням рівності (1) одержимо:

$$N \sin \varphi = \mu N \cos \varphi \Rightarrow \mu = \operatorname{tg} \varphi.$$

Отже, кут при вершині конуса герметизуючих поверхонь визначається безрозмірним коефіцієнтом тертя поверхонь, що дотикаються.

Матеріал з якого виготовляється герметизуючий елемент повинен володіти міцністю, високою пружністю, пластичністю, значним коефіцієнтом лінійного та об'ємного температурного розширення. Таким вимогам найбільш задовольняє бронза марок: ОСЦ-555, Бр ОФ7-02, Бр ОЦС4-4-2,5 та ін.

Під час виготовлення герметизуючого елемента з бронзи ОСЦ-555, для якого коефіцієнт тертя ковзання бронзи по сталі становить 0,18 і тоді значення кута φ дорівнює $10^{\circ}12'1,5''$, при якому унеможливується самозаклинювання по ущільнюючих поверхнях та забезпечується найбільша площа контакту по поверхні конуса.

На основі аналітичних та експериментальних досліджень визначено оптимальні параметри елементів вузла герметизації при яких забезпечується висока герметичність обсадних труб.

Під час згвинчування муфтового різьбового з'єднання за рахунок діаметрального натягу конічна різьба та герметизуючий елемент набувають пружно-деформованого стану. Оскільки муфта і труба є тонкостінними циліндрами з лінійно змінною товщиною стінок l

$$L = x \operatorname{tg} \varphi,$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс кута нахилу твірної конічної поверхні до осі різьби; x – координата, яку відраховують від перетину конічної та циліндричної поверхонь.

Осесиметричні деформації кожної ділянки описуються з врахуванням коллоїдної моментною теорії оболонок диференціальним рівнянням [7]:

$$\frac{1}{x} \frac{d^2}{dx^2} \left(x^3 \frac{d^2 w}{dx^2} \right) + \left(\frac{12(1-\mu^2)}{R^2 (\operatorname{tg} \varphi)^2} \right) w = \left(\frac{12(1-\mu^2)}{R^2 (\operatorname{tg} \varphi)^2} \right) \frac{R^2}{E \operatorname{tg} \varphi} \frac{P(x)}{x}, \quad (4)$$

Де w – радіальні зміщення стінки у перетині осі x ; μ – коефіцієнт Пуассона; E – модуль пружності матеріалу; R – радіус серединної поверхні; $P(x)$ – розподіл тиску по зовнішній та внутрішній ділянках елементів з'єднання.

Розв'язок рівняння (6) дає змогу оцінити пружно-деформований стан стінок елементів з'єднання у перерізах по вісі x .

Результати експериментальних та теоретичних досліджень показали добру узгодженість між собою.

Висновки

1. Розроблено конструкцію високо герметичного муфтового різьбового з'єднання обсадних труб, що забезпечує високі експлуатаційні характеристики обсадних колон.

2. У муфтовому з'єднанні обсадних труб з герметизуючим елементом деталі взаємодіють між собою ділянками з певним контактним тиском, кожна з яких перебуває у моментному пружно-деформованому стані, який описується моментною теорією.

3. Герметизуючий елемент виготовляється з матеріалу, що володіє більшим коефіцієнтом об'ємного і лінійного температурного розширення порівняно з матеріалом муфт і труб, що забезпечує підвищення контактного тиску ущільнюючих поверхонь, а відповідно і герметичність обсадних колон в свердловині в широкому діапазоні тисків і температур.

Предложено конструкции муфтовых соединений обсадных труб с герметизирующим элементом для обеспечения герметичности обсадных колон при высоких параметрах давлений и температур. Научно обосновано упругодеформированное состояние соединений труб со вставным герметизирующим элементом. Приведены результаты экспериментальных исследований на герметичность натуральных образцов ОТ, подтверждающих высокие эксплуатационные характеристики данных соединений.

Ключевые слова: герметичность, соединение, конструкция, элементы.

During the casing operation under the conditions of the increased temperature and pressure, the elements of the clutch coupling are effected by great static and dynamic stresses, thermal cyclic loadings that lead to the elastic and plastic deformations of the section of the coupling, pipes and sealing elements that influence the hermiticity and the endurance of the casing and heat flow pipes. The elastically deformed state of the pipe junction with sealing coil is theoretically substantiated. The results of the experimental investigation that proved the high hermeticity of the casing with the suggested clutch coupling have been introduced.

Key words: integrity, connection, design, element.

Література

1. ГОСТ 632-80 Трубы обсадные и муфты к ним.
2. Щербюк Н. Д., Якубовский Н. В. Резьбовые соединения труб нефтяного сортамента и забойных двигателей. – М.: Недра, 1974. – 256 с.
3. А. с. 1663174 А1 СССР, МКИ Е 21 В 17/02, 17/042, Ф. 16L 15/00. Резьбовое соединение теплонагнетательных труб / Б. А. Чернов, И. С. Бабюк, К. А. Оганов, Я. Б. Чернов; Опубл. 15.07.91, Бюл. № 26.
4. Чернов Б. О., Чернова М. С., Яворський В. М. Пружно-деформований стан муфтового з'єднання обсадних труб з герметизуючим елементом у високотемпературних свердловинах // Нафтогазова енергетика. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – С. 41–44.
5. А. с. 1772341 А1 СССР МКИ Е 21 В 17/02, 17/042. Резьбовое соединение труб / Б. А. Чеонов, В. М. Гринив, и др; Опубл. 30.10.92, Бюл. № 40.

6. Пат. 57111 Україна, МПК Е 21 В 17/02, Е 21 В 17/042. Різьбове з'єднання обсадних та насосно-компресорних труб / М. Є. Чернова, В. М. Яворський, Б. О. Чернов, В. Б. Чернов; Заявл. 22.07.10; Опубл. 10.02.11, Бюл. № 3.
7. Чернов Б. О., Кулинин Т. М., Палійчук І. І. Деформації елементів муфтового з'єднання обсадних труб з герметизуючою втулкою // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ: Факел, 2002. – № 4(5). – С. 56–60.

Надійшла 13.07.12

УДК 624.22. 05.55

Я. В. Кунцяк

ПрАТ НДКБ «Бурового інструменту», м. Київ

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВІДБОРУ КЕРНА В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИНАХ

В даній статті подано розроблені вимоги до конструкцій керноприймальних пристроїв для відбору керна в похило-скерованих і горизонтальних свердловинах. Приведено результати експериментальних і промислових досліджень удосконаленої конструкції кулькової підвіски, призначеної для відбору керна у свердловинах з великими zenітними кутами викривлення, нових конструкцій важільців та пружинок керновідривачів і технологію їх виготовлення.

Ключові слова: *гірська порода, керн, свердловина, керновідривач, сплав.*

Одним з найважливіших завдань, що постає перед бурінням розвідувальних та експлуатаційних свердловин, є детальне вивчення літологічних та фізико-петрографічних характеристик продуктивних пластів. Можливості промислово-геофізичних досліджень дозволяють отримати лише часткову характеристику розрізу продуктивних горизонтів. Найважливішу і найвірогіднішу характеристику порід, інформацію про стан продуктивних горизонтів можна одержати лише вивчивши достатню кількість якісного кернового матеріалу піднятого із свердловини.

Недостатня вивченість продуктивних горизонтів на основі кернового матеріалу може призвести до помилок в складанні схем розробки родовищ, неправильного підрахунку запасів вуглеводнів і, в кінцевому результаті неефективної розробки родовищ.

В даний час найпоширенішими є керноприймальні пристрої серії «Недра», «Кембрій» та «Силур». Вони складаються з корпусу, верхнього і нижнього перехідників, керноприймальної труби з кульковою підвіскою і керновідривача.

За останні роки з'явилися нові конструкції керноприймальних пристроїв.[1–5]. Однак слід зауважити, що дані конструкції не в повній мірі відповідають вимогам, що ставляться перед керноприймальними пристроями. Враховуючи великі габаритні розміри керноприймальних пристроїв та непристосованість конструкції до роботи в свердловинах з великими zenітними кутами унеможлиблює використання їх в похило-скерованих та горизонтальних свердловинах.

У зв'язку з інтенсивним нарощуванням об'ємів буріння горизонтальних свердловин розроблені технічні засоби для орієнтованого відбору керна. Над вирішенням проблеми відбору орієнтованого керна працювала значна кількість спеціалістів, якими запропоновано багато приладів і пристроїв. Однак із-за великої похибки в орієнтації або складності конструкції вони не одержали широкого практичного застосування [6].