

**инж. Румен Кулев Кулев**

**ИЗСЛЕДВАНЕ И УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ И  
ТЕХНИЧЕСКИТЕ СРЕДСТВА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА РЕМОНТНИ  
И ЛИКВИДАЦИОННИ РАБОТИ В ГАЗОВИ СОНДАЖИ ПРИ  
НИСКИ ПЛАСТОВИ НАЛЯГАНЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертация

за придобиване на образователната и научна степен „доктор“  
по научна специалност „Разработка и експлоатация на нефтени,  
газови и газокондензатни находища“

**Научен ръководител:  
доц. д-р Любомир Геров**

София, 2012

Защитата на дисертацията ще се състои на ..... от ..... часа в зала ..... на МГУ – София на заседание на Научното жури съгласно ЗРАСРБ.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се при секретаря на съвета, МГУ – София, КЦОК, каб. 4.

Данни за дисертационния труд:

- страници – 130;
- фигури – 45;
- таблици – 23;
- цитирани литературни източници – 94;
- публикации, свързани с темата на дисертацията – 4.

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на заседание на разширен катедрен съвет на катедра “Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ”, протокол №14 от 17.04.2012 г.

**Автор:** Румен Кулев Кулев

**Заглавие:** ИЗСЛЕДВАНЕ И УСЪВЪРШЕНСТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ И ТЕХНИЧЕСКИТЕ СРЕДСТВА ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА РЕМОНТНИ И ЛИКВИДАЦИОННИ РАБОТИ В ГАЗОВИ СОНДАЖИ ПРИ НИСКИ ПЛАСТОВИ НАЛЯГАНЯ

**Тираж:** 20 бр.

**Печат:** Издателска къща „Св. Иван Рилски” – София

## **Въведение**

Към настоящия етап на развитие на обществото не се забелязва спад в потреблението на нефт и газ като едни от основните енергийни суровини. Тези суровини до голяма степен се явяват базови и за химическата промишленост.

Поддържането на постоянен темп на добив на нефт и газ зависи, както от проучването и разработването на нови находища, така и от по-ефективното използване на ресурсите от находищата намиращи се в експлоатация.

В световен мащаб се увеличава броят на находищата намиращи се в период на намаляващ добив или в завършващ период, които се характеризират с усложнения в работата на експлоатационните сондажи. В такива сондажи протичат процеси като: натрупване на вода на забоя на сондажа, образуване на пясъчно-глинести натрупвания "тапи", разрушаване на призабойната зона, деформации на експлоатационната колона и други процеси, които водят до рязко спадане на добива на нефт и газ. Причина за появата на такива усложнения се явява спадането на пластовата енергия в резултат на добиването на флуид от пласта, внедряването на пластова вода в находищата и изменението на термобаричните условия на забоя и в ствола на сондажите. С тези и други проблеми се занимава създаденото и непрекъснато развиващото се направление в сондажното дело, свързано с провеждането на ремонтни работи в сондажите. В условия на ниски пластови налягания, свойствени за изтощени находища, процесите на провеждане на ремонтни работи в сондажите и последващите ги процеси на интензификация на добива на флуид от тях, са затруднени поради силното поглъщане на прилаганите технологичните течности от продуктивните пластовете. Аналогични са условията и в подземните газови хранилища (ПГХ), създадени на базата на изтощени нефтени и газови находища.

Темата за усъвършенстването на технологиите и техническите средства за провеждане на ремонтни работи в условия на ниски пластови налягания се явява актуална поради факта, че основната цел на ремонтните работи е възстановяването и дори повишаването на продуктивната характеристика на експлоатационните, а при подземните газови хранилища, на експлоатационно-нагнетателните сондажи, което в крайна сметка води до повишаване на добива на пластов флуид.

Не по-малко актуален е въпросът с качествено провеждане на ликвидационни работи в сондажите. Понастоящем част от сондажния фонд, по редица причини не се използва, поради което сондажите се консервират или се ликвидират. С течение на времето, поставените в тях циментови мостове се разхерметизират, протичат процеси на корозионно и ерозионно разрушаване на цимента зад колоните и корозия на самите обсадни колони, което води до нехерметичност в задтръбното и междуколонното пространство. Създава се потенциална възможност за миграция на нефт, газ и минерализирани пластови води. По този начин се

създават предпоставки за необратима загуба на минерални ресурси и опасност от появата на екологични проблеми, свързани със замърсяване на околната среда.

В дисертационния труд тези въпроси са разгледани по-детайлно, като е изследвано и анализирано текущото състояние на сондажния фонд от газови сондажи на ПГХ-Чирен и някои газови находища у нас. Предложени са редица нови и са усъвършенствани съществуващи технологии и технически средства за провеждане на ремонтни и ликвидационни работи в газови сондажи при ниски пластови налягания.

## **I. Обзор на ремонтните и ликвидационни работи, провеждани в газови сондажи при ниски пластови налягания**

### **I.1. Класификация на ремонтните работи**

Сондажите са сложни инженерни съоръжения, работещи при тежки геоложки условия, при постоянно променищи се налягане и температура, поради което обезпечаването на тяхната работоспособност изисква циклично провеждане на ремонтни работи. Според [13, 38, 41], те се делят на: ремонтно-профилактични мероприятия, текущи ремонти и капитални ремонти.

Целта на ремонтно-профилактичните мероприятия и текущите ремонти е да се установят видовете нарушения в режима на експлоатация на сондажите и подземното оборудване, да се промият пясъчно-глинестите натрупвания, както и хидратните отложения и продуктите от корозия, като по този начин се възстанови и повиши продуктивната характеристика на сондажите.

Капиталните ремонти представляват комплекс от мероприятия, включващ: ликвидиране на нехерметичност на експлоатационната обсадна колона (ЕК) и/или нехерметичност в задтръбното пространство; зарязване и сондиране на втори ствол на сондажа; изолационни работи и разкриване на нови обекти в рамките на продуктивния хоризонт; интензификация на добива на газ посредством реперфорация, хидропясъко-струйна перфорация, хидравлично разкъсване на пласта; заглушаване на сондажите с цел възстановяване на продуктивната характеристика на призабойната зона и др.

### **I.2. Основни видове технологии, прилагани при провеждане на ремонтни работи в газови сондажи в условия на ниски пластови налягания**

#### **I.2.1. Заглушаване на сондажите при ниски пластови налягания**

За заглушаване на газови сондажи се използват технологични течности с такава плътност, с която може да се обезпечи необходимото противоналягане на пласта. Според някои автори [12, 13], минималната стойност на превишаване на налягането създадено от стълба заглушаваща течност на определена дълбочина, спрямо хидростатичното

налягане, може да се изрази чрез произведението  $A.K_{ан}$ , където  $A$  е коефициент, отчитащ колебанията на хидростатичното налягане при провеждане на спуско-подемни операции като се приема, че за диаметър на сондажа  $d < 215,9$  mm,  $A=5$ , а при  $d > 215,9$  mm,  $A=3$ , а  $K_{ан}$  е коефициент на аномалност на пластовото налягане.

При известни стойности на пластовото налягане и дълбочината на залягане на продуктивния хоризонт, може да се определи плътността на заглушаващата течност по следната зависимост:

$$\rho_{zm} = K \frac{P_{пл} \cdot 10^6}{g \cdot H} \quad (1.1)$$

където:  $\rho_{zm}$  - е плътността на заглушаващата течност, kg/m<sup>3</sup>;

$K$  - коефициент отчитащ нарастването на пластовото налягане в дълбочина;

$P_{пл}$  - пластово налягане, МРа;

$H$  - дълбочина на залягане на продуктивния хоризонт, m.

Заглушаващата течност трябва да притежава определени физико-химични свойства, съответстващи на конкретните условия, като:

- Да бъде химически инертна към скалата колектор;
- Да изключва необратима колматация в поровото и пукнатинно пространство;
- Да не оказва корозионно въздействие върху метала на подземното оборудване и да е взривопожаробезопасна и нетоксична;
- Да притежава стабилност на зададените и параметри за конкретните термобарични условия във времето;

Анализът на промишлените данни от заглушаването на газови сондажи при ниски пластови налягания (НПН) показва, че основната причина за снижаване на проницаемостта на продуктивния пласт се явява поглъщането на значителен обем на заглушаваща течност, поради ниските стойности на пластовото налягане и наличието на високо-проницаеми и силно дренирани колектори [23, 58]. В такива условия, като заглушаващи агенти, широко се прилагат устойчивите трифазни пени. Използването на трифазна пена предполага снижаване до минимум на репресията върху продуктивния пласт, на базата на регулиране на нейната плътност и структурно-механичните и свойства, обуславящи намаляването до минимум на интензивността на поглъщането и в пласта.

## **1.2.2. Изследване на сондажите за определяне на техническото им състояние**

Доброто техническо състояние на сондажите обезпечава: надеждното изолиране на отделните пластове, херметичност на запълненото с тампонажен материал задтръбно пространство, херметичност на експлоатационната и кондукторната колони, херметичност на устието и др. Първите изследвания относно техническото състояние на сондажите се провеждат по време на тяхното прокарване. В процеса на експлоатация,

задтръбното пространство и експлоатационната колона са подложени на механично и корозионно въздействие при съприкосновението им с минерализирани, в различна степен, пластови води. Освен това те са подложени на непрекъснато променящи се термобарични условия. Всички тези фактори определят необходимостта от периодично изследване на техническото състояние на сондажите и планиране на ремонтни работи в тях. Основните методи за изследване на сондажите са: геофизични, промишлени и комплекс от промишлено-геофизични изследвания [66].

### **1.2.3. Ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите при ниски пластови налягания**

Едни от основните ремонтни работи са свързани с ликвидирането на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите. Механизмът на образуване на пясъчно-глинести натрупвания се състои в следното: в процеса на експлоатация на сондажите, в тях заедно с газа, постъпва и разрушен материал от призабойната зона. Натрупването му на забоя на сондажите се осъществява в резултат на увеличаването на отделни пясъчни частици чрез газовия поток от повърхността на филтрация, и на изнасянето на пясъчни частици от пласта по каналите на филтрация на газа [13, 55]. С течение на времето на забоя на сондажите се формират пясъчно-глинести натрупвания, наричани още “тапи” или “пробки”, които прикриват зоната на филтрация и водят до снижаване на дебита на сондажите. За да се очисти призабойната зона от тези натрупвания, те трябва да бъдат премахнати чрез сондиране или промиване. Промивната течност и нейните качества се подбират в зависимост от пластовото налягане и състоянието на призабойната зона. Плътността на промивната течност се контролира през целия период на провеждане на операцията, тъй като е възможно изнасяния пясък да повиши, в някаква степен, тази плътност.

Най-често, като промивен агент при ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите при ниски пластови налягания се използват пенни системи.

Някои автори [56, 57], предлагат технология за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания чрез продухване. При нея вместо течен промивен агент се използва газообразен такъв. Предимството на тази технология според авторите е, че при нейното прилагане се запазва максимално проникваемостта на призабойната зона и се създава възможност за разрушаване на пясъчните тапи в условия на депресия.

### **1.2.4. Възстановяване на херметичността на задтръбното пространство на сондажите**

Причините за появата на нехерметичност в задтръбното пространство могат да се разделят на първични, свързани с некачествено проведени циментационни работи и вторични, свързани с провеждането на технологични операции в сондажите при тяхната експлоатация и ремонт. Всички

тези причини водят до намаляване на сцеплението на циментовия камък с ограничаващите го повърхности.

В сондажната практика за ликвидиране на нехерметичност в задтръбното пространство се прилагат различни херметизиращи състави и технологии, съобразени с конкретните условия при които се провеждат ремонтно-изолационните работи. В последно време широко се прилагат тампониращи състави на полимерна основа [4]. Те се поддават на регулиране на вискозитета и на други техни физико-химични показатели, в широки граници. Сред полимерните тампонажни материали намират приложение фенолформалдехидните смоли, хидрофобните тампониращи материали, селективните тампонажни материали, полиакриламидите и др. Отсъствието на твърда фаза във фенолформалдехидните смоли, обезпечава тяхната висока проникваща способност и високата им филтрация в порести среди.

### **1.2.5. Ликвидиране на нехерметичност на обсадните колони и на колоната от помпено-компресорни тръби (ПКТ)**

#### Ликвидиране на нехерметичност на обсадните колони(ОК)

В сондажната практика по света отсъства достатъчно пълна класификация на видовете и причините за нарушения на херметичността на обсадните колони. Някои автори [13] разделят основните фактори за загуба на херметичност на четири основни групи: *геоложки, технически, физико-механични и субективни*.

Съществуващите, в практиката, способности за възстановяване на херметичността на обсадните колони се разделят в три основни групи:

- Без намаляване на вътрешния диаметър на колоната;
- С незначително намаляване на вътрешния диаметър на колоната;
- Със съществено намаляване на вътрешния диаметър на колоната.

Към първата група способности се отнасят: херметизиране на резбовите съединения на колоната чрез донавиването им в сондажа, провеждане на вторично циментиране на междутръбното пространство в зоната на нехерметичност и др.

Към втората група се отнасят: спускане и фиксиране, чрез валцоване върху вътрешната повърхност на колоната, на метални втулки. Те се прилагат при възстановяване на херметичността на участъци от обсадни колони подложени на интензивна корозия, или в участъци в които по различни причини е нарушена тяхната цялост.

Третата група способности включва: спускане в сондажа на колона от помпено-компресорни тръби с пакер, фиксиран над перфорирания интервал или спускане и установяване на колона с по-малък диаметър в зоната на нехерметичност.

#### Ликвидиране на нехерметичност на колоната от ПКТ

Помпено-компресорните тръби се използват не само при експлоатацията на газовите сондажи, но и при провеждане на ремонтни работи в

тях, като: промиване на пясъчно-глинести натрупвания, хидравличен разрыв на пласта, киселинни обработки на призабойната зона и др.

Задължително условие при експлоатацията на газови сондажи е подземното оборудване и в частност колоната от ПКТ да са херметични. В процеса на експлоатация помпено–компресорните тръби са подложени на различни по характер натоварвания, като: вътрешно налягане, напрежения на опън, осово натоварване, свързано с установяването на експлоатационен пакер в сондажа, напрежения на огъване в изкривените участъци от сондажа, температурно разширение и др. [67]. Освен това колоната от ПКТ е подложена на механично и корозионно износване. Посочените по-горе фактори водят до нарушаване на цялостта на колоната от ПКТ или на отделни нейни елементи и в крайна сметка до нарушаване на нейната херметичност.

Преди въвеждането в експлоатация на сондажа, след проведените ремонтни работи, задължително условие е колоната от ПКТ да бъде хидравлично изпитана на херметичност (опресована), което е гаранция за последваща надеждна експлоатация на сондажите.

### **1.2.6. Усвояване на сондажите при ниски пластови налягания**

Предизвикването на приток на флуид от пласта се осъществява чрез създаване на депресия на пласта посредством замяна на намиращата се в сондажа течност с такава с по-ниска плътност, например: нефт, газирани разтвори, пяна и др., или чрез снижаване на нивото на течността посредством изтласкването и с газ (продухване).

При усвояване на сондажи в условията на ниски пластови налягания, широко се използват пенни системи поради факта, че при тяхното приложение се създава възможност за плавно снижаване на налягането на забоя на сондажите и предизвикване на приток от пласта [61, 63].

Когато съществуващите методи за усвояване на газови сондажи са недостатъчно ефективни, за “продухване” се използва азот [20]. Той е взривобезопасен, химически ниско активен и нетоксичен.

### **1.3. Ликвидационни работи в сондажите**

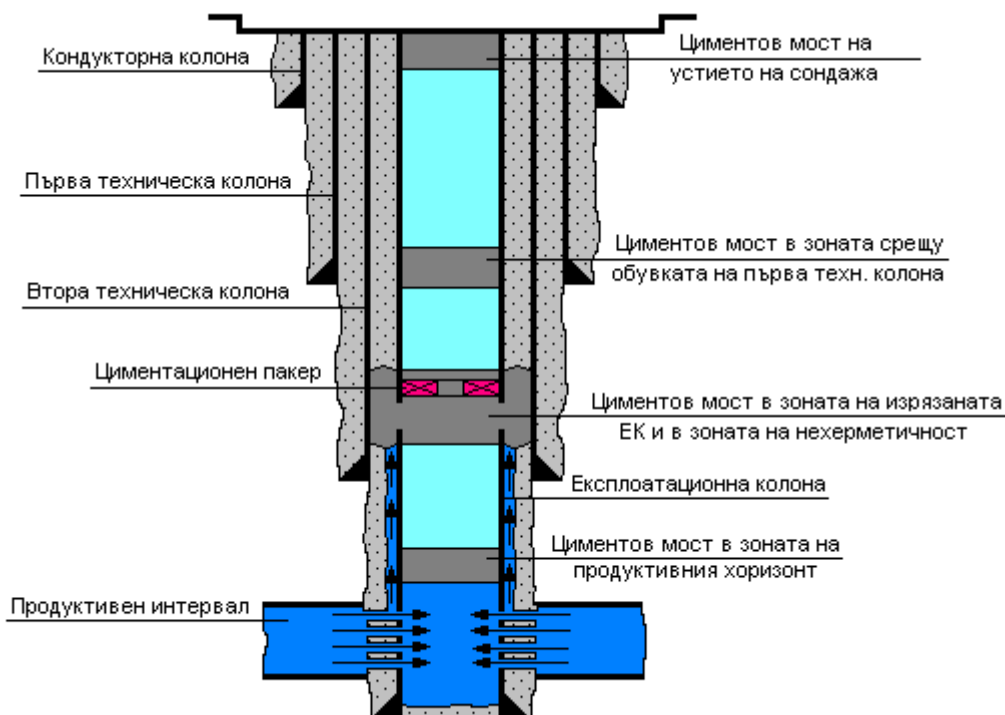
В последните десетилетия една от актуалните задачи, с решаването на която се занимават редица нефтени, газови и сервизни компании, се явява качествената и надеждна ликвидация на сондажите, изпълнили своята цел и предназначение.

Най-често проблемите в обектите подлежащи на консервация или ликвидация са тези, свързани с наличието на междупластови притоци на флуиди и наличието на налягане в задколонното пространство [68]. Те са широко разпространени в целия свят и не винаги зависят от условията в конкретните нефтени и газови находища. Броят на сондажите, в които са възникнали подобни проблеми, зависи в значителна степен от периода на тяхната експлоатация.

Понастоящем едно от най-широко разпространените и използвани в



практиката технически решения за ликвидация и консервация на сондажи се явява поставянето на циментови мостове с отчитане на геолого-техническите условия. За определяне на техническото състояние на сондажа преди консервация или ликвидация се провеждат геофизични изследвания. Ако след провеждане на изследванията се установи лоша връзка на циментовия камък с колоната или миграция на флуид в задколонното пространство, се прилага метод състоящ се в изрязване (фрезование) на не по-малко от 10-15 m от експлоатационната колона и цимента зад нея, над зоната на установената нехерметичност. След провеждането на тази операция в същия интервал се поставя под налягане ликвидационен циментов мост, чиято цел е надеждно да се изолира както пространството в самата експлоатационна колона, така и пространството зад нея, като изолиращия разтвор достигне до последната спусната техническа обсадна колона. На **Фигура I.1.** е показана принципна схема за ликвидация на сондаж чрез прилагане на тази технология.



**Фигура I.1. Принципна схема за поставяне на ликвидационен циментов мост чрез изрязване на ЕК**

## **II. Цел и задачи на дисертационния труд**

### **II.1. Цел на дисертационния труд**

През периода от 1960-2010г. в Република България са открити и разработвани над 15 газови находища и газови акумулации. Сондажният фонд в тях се експлоатира в продължение на десетки години. Продължителната експлоатация на сондажите води до влошаване на техническото им състояние. Това налага провеждането на комплексни сондажно-геофизични и газохидродинамични изследвания за изясняване на

състоянието и херметичността на спуснатите обсадни колони и подземно оборудване, както и състоянието на призабойната зона и продуктивната характеристика на сондажите. На базата на получената информация от проведените комплексни изследвания, в сондажите се провеждат ремонтни работи, чиято цел е възстановяване на доброто техническо състояние, възстановяване и в някои случаи подобряване на продуктивната им характеристика. В България има вече натрупан опит при провеждането на ремонтни работи в газови сондажи в условията на ниски пластови налягания и това в значителна степен се отнася за ПГХ-Чирен [15, 27,60]. Там се прилагат съвременни технологии и материали за заглушаване на сондажите, за разрушаване на пясъчно-глинестите натрупвания на забоя, за провеждането на допълнителни перфорационни и реперфорационни операции и интензификационни мероприятия, както и за успешно усвояване на сондажите след приключване на ремонтните работи в тях.

Друг важен проблем е този, свързан с текущото състояние на сондажите изпълнили своите задачи или предназначение. У нас броят на прокараните търсеци, проучвателни и експлоатационни сондажи за нефт и газ е над 3000. Част от тях са ликвидирани, други са консервирани, а трети просто са изоставени, без в тях да са взети мерки за изолиране на хоризонтите. Това е свързано с възможна миграция на пластови флуиди и замърсяване на водоносните хоризонти, което от своя страна може да доведе до екологични проблеми.

Всичко това налага провеждане на значителен обем от научни изследвания, опитно-промишлени работи и разработване на технически средства и технологии, съответстващи на конкретните особености на обекта, подлежащ на ремонт или ликвидация.

Целта на дисертационния труд е да се **изследват и усъвършенстват технологиите и техническите средства за провеждане на ремонтни и ликвидационни работи в газови сондажи при на ниски пластови налягания**, характерни за подземни газохранилища и газови находища намиращи се в период на намаляващ добив или в завършващ период.

## **II.2. Задачи на дисертационния труд**

Така формулираната цел поставя следните задачи за решаване в дисертационния труд:

1. Преглед и анализ на проведените изследователски, ремонтни и ликвидационни работи в сондажите от ПГХ-Чирен и някои газови находища у нас.

2. Разработване и усъвършенстване на техническите средства и технологията за изясняване на техническото състояние на сондажите и продуктивната им характеристика чрез провеждане на съвместни газохидродинамични и геофизични изследвания.

3. Усъвършенстване на технологията за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на газови сондажи, при ниски пластови налягания.

4. Разработване на изваждаемо устройство (клапан) за секционно и цялостно хидравлично изпитване на колона от ПКТ при провеждане на ремонтни работи в газови сондажи.

5. Разработване на технически средства и технология за изрязване на обсадни колони и поставяне на циментови мостове при провеждане на ликвидационни работи.

### **III. Преглед и анализ на проведените изследователски, ремонтни и ликвидационни работи в сондажите от ПГХ-Чирен и някои газови находища у нас**

В тази глава от дисертационния труд е направен преглед и са анализирани проведените изследователски, ремонтни и ликвидационни работи в подземното газохранилище Чирен и три газови находища у нас.

Материалът в тази глава е структуриран по следния начин:

#### **III.1. Обект на разглеждане**

##### **III.1.1. Общи сведения за обекта**

##### **III.1.2. Сондажен фонд**

##### **III.1.3. Преглед и анализ на проведените изследователски, ремонтни и ликвидационни работи в сондажите**

В параграфи III.1, III.2, III.3 и III.4 са разгледани съответно: газово находище Българево, ПГХ-Чирен, газокондензатното находище Бутан, и газокондензатно находище Ъглен. Критерият за реда на разглеждане е дълбочината на залягане на продуктивните хоризонти.

#### **III.5. Обобщени изводи от направения преглед**

От направения обобщен анализ на текущото състояние на анализирания обекти могат да бъдат направени следните изводи:

1. В газовото находище Българево и подобни на него други малки находища, като Дуранкулак, Крапец, Блатница, Бутан, Бутан-юг и други, като правило не са провеждани ремонтни и ликвидационни работи, съответстващи на съвременните технологии и технически средства.

2. На ПГХ-Чирен, което в настоящия момент е със стратегическо значение за страната, са проведени ремонтни и ликвидационни работи в сондажите с технологии и технически средства, съответстващи на текущото състояние на хранилището – ниско пластово налягане, изменящо се в границите 6-12 МРа. Най-сложните по вид ремонтни работи, свързани основно с ликвидация на сондажите са извършвани от специализирани фирми, разполагащи с високотехнологични съоръжения. За целта са изразходвани значителни финансови средства.

3. В газокондензатното находище Ъглен, проведените ликвидационни работи в сондажите не отговарят на съвременните изисквания за провеждане на такива операции. Към момента техническото им състояние е незадоволително и в резултат на това е възможно възникване на значителни екологични проблеми, **Фигура III.1.**



**Фигура III.1. Текущо състояние на устието на сондаж Р-1, Ъглен**

**4.** Ликвидационните работи, проведени особено в "напуснатите" вече обекти, следва да бъдат актуализирани чрез прилагане на усъвършенствани технически средства и технологии.

**5.** Като цяло, при провеждане на ремонтни и ликвидационни работи в анализираните обекти, в условия на ниски пластови налягания, са използвани технически средства и технологии, част от които могат да бъдат усъвършенствани, подобрени и приложени с по-висока икономическа ефективност.

**6.** Изследването и усъвършенстването на нови или подобрени технически средства и технологии, което е основна цел на дисертационната работа, ще бъде насочено в следните направления:

- Усъвършенстване на технологиите и техническите средства за провеждане на ремонтни работи в условията на ниски пластови налягания, характерни за подземното газохранилище Чирен и газови находища в късен стадий на разработка, чрез:
  - изследване и разработване на технология за експресно изясняване на техническото състояние на сондажите и продуктивната им характеристика;
  - изследване и усъвършенстване на технологията за промиване на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите;
  - изследване и разработване на изваждаемо устройство (клапан) за секционен и цялостен хидравличен изпитване на колони от ПКТ.
- Изследване и усъвършенстване на техническите средства и технологиите за провеждане на ликвидационни работи в газови сондажи, чрез:
  - разработване на устройство за изрязване на обсадни колони с цел провеждане на изолационни работи;
  - оптимизиране на технологията за поставяне на циментови мостове.

#### IV. Разработване и усъвършенстване на техническите средства и технологията за изясняване на техническото състояние на сондажите и продуктивната им характеристика, чрез провеждане на съвместни газо-хидродинамични и геофизични изследвания

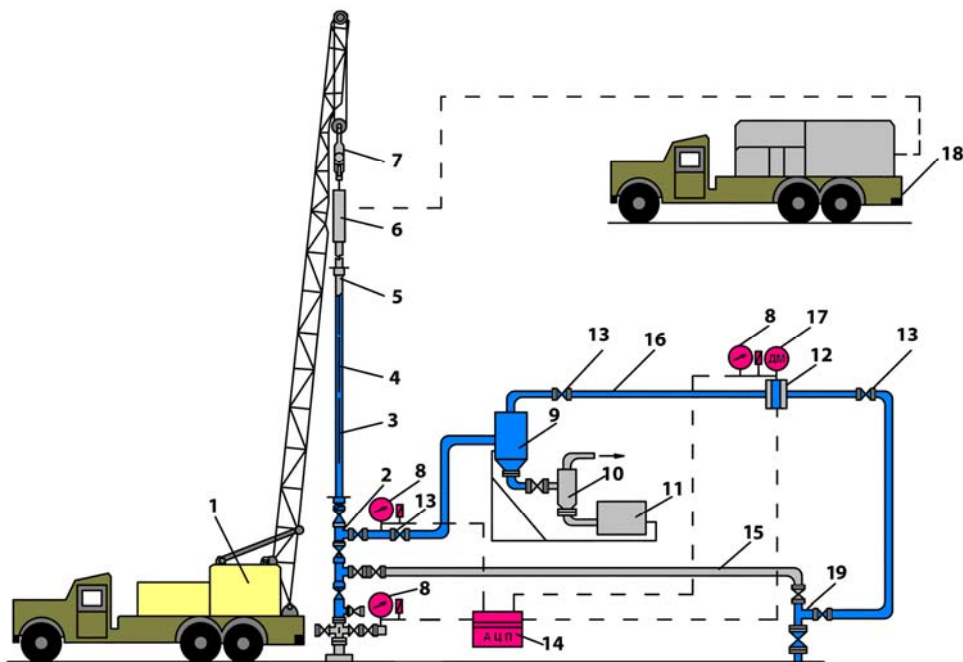
##### IV.1. Общи сведения

От направения преглед и анализ на проведените изследователски работи в сондажите от ПГХ-Чирен и някои газови находища у нас, е видно че техният обем е значителен.

До 1994г на Чиренското подземно газохранилище са проведени множество газодинамични изследвания на сондажите. Запознаването с технологията на провеждането на тези изследвания [16], показва следното:

- Всички изследвания са проведени през тестовата линия, разположена на територията на централната работна площадка.
- Отсъстват директни измервания на пластовото и забойните налягания по време на изследванията.

След 1994г на ПГХ-Чирен започва програма за провеждане на ремонтно-възстановителни работи на голяма част от сондажния фонд на хранилището. Тя предвижда провеждането на комплекс геофизични изследвания за изясняване на техническото състояние на сондажите, както и провеждане на газодинамични изследвания за уточняване на продуктивната им характеристика. Към онзи момент отсъства техническа и технологична възможност за провеждане на този вид изследвания. За целта от дисертанта е разработена и реализирана схема за комплексни газодинамични и геофизични изследвания, представена на **Фигура IV.1**.



Фигура IV.1. Схема за провеждане на комплексни газодинамични и геофизични изследвания

#### Означения на отделните позиции към Фигура IV.1

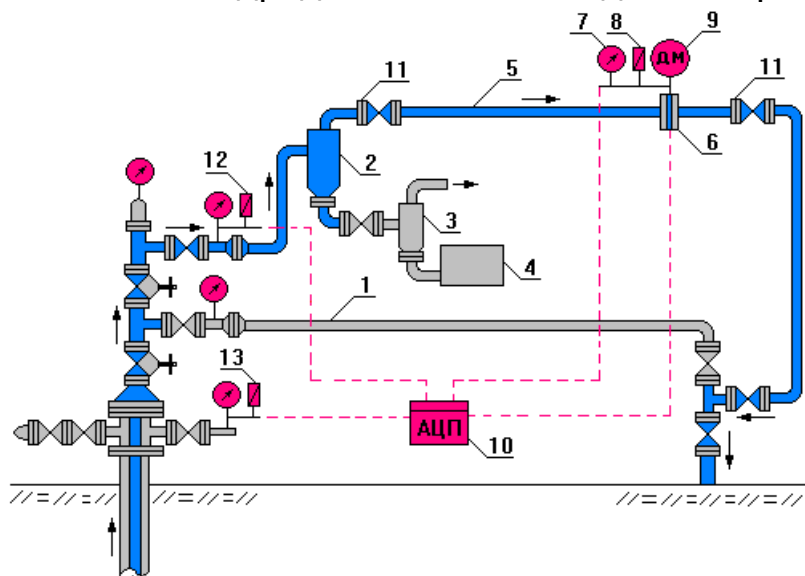
1 - подемен агрегат; 2 – фонтанна арматура; 3 - геофизични прибори;  
4 - тежести; 5 - лубрикатор; 6 - уплътнителен възел; 7 - подвижно окачване;  
8 - образцови манометри; 9 - основен циклонен сепаратор; 10 - допълнителен циклонен сепаратор; 11 - измерителен съд; 12 – измерителна диафрагма;  
13 – регулиращи кранове; 14 - аналого-цифров преобразувател с микрокомпютърна система; 15 - работна линия на сондажа; 16 - измерителна линия; 17- диференциален манометър; 18 - геофизична станция, 19 тройник за осъществяване на байпасна връзка на измерителния модул.

Схемата за комплексни изследвания условно се състои от два модула: геофизичен модул и подвижен измерителен модул.

Конфигурирането на последния се различава в зависимост от това дали газодинамичните изследвания се провеждат при режим нагнетяване на газ или при режим добив. За да се реализира изследването, на входа на шлейфа, се монтира тройник, позиция 19 от **Фигура IV.1**, позволяващ осъществяването на байпасна връзка между буфера на сондажа и шлейфа, към която се монтира измерителния възел.

#### **IV.2. Елементи на разработения измерителен модул за провеждане на газо-хидродинамични изследвания**

На **Фигура IV.2.** е показано комплектоването на измерителния модул при провеждане на газо-хидродинамични изследвания при режим добив.



**Фигура IV.2. Схема за комплектоване на измерителния модул за провеждане на газо-хидродинамични изследвания при режим на работа добив**

Принципно измерителния модул се състои от два основни възела: технологичен и измерителен. Технологичният възел е съставен от следните елементи: работна линия на сондажа 1, очистващи газа съоръжения, състоящи се от два циклонни сепаратора 2 и 3 и измерителен съд за течност 4. Към измерителния възел са включени: измерителна линия 5, комплектована с диафрагмен измерител 6, образцов манометър 7, тензометричен датчик за налягане 8 и диференциален манометър 9; микрокомпютърна система за управление с аналого-цифров преобразувател (АЦП) 10; регулиращи кранове 11. За измерване на налягането

на буферната линия на сондажа и налягането в извънтръбното пространство се използват тензометрични датчици **12** и **13**, дублирани с образцови манометри. Контролът на температурния режим се осъществява чрез две термодвойки, вградени съответно пред диафрагмения измерител и на буферната линия на сондажа (преди регулиращия кран). За измерване на диференциалното налягане се използва мембранен преобразувател на налягане тип "Сапфир 22ДД-Вн", сигналът от който се подава на аналого-цифровия преобразувател и допълнително е изведен на дисплей за осъществяване на текущ контрол.

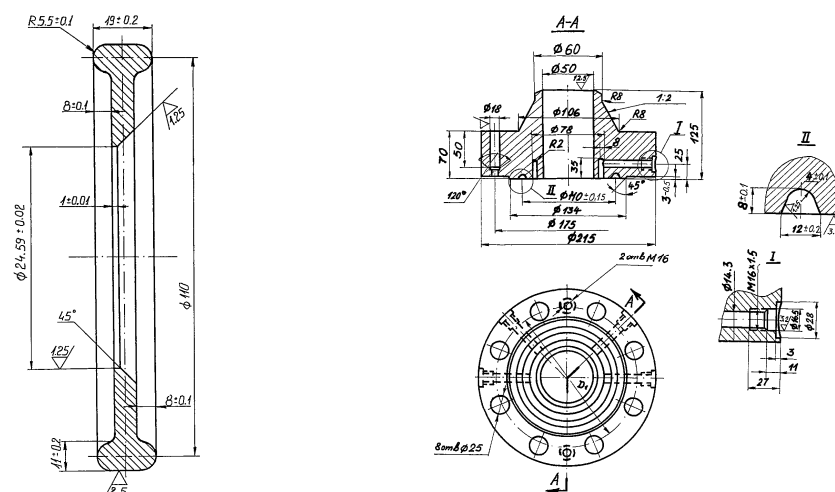
Когато схемата за провеждане на изследванията се реализира при режим нагнетяване, очистващите съоръжения **2**, **3** и **4** отпадат от комплектоването на технологичния възел.

Независимо по коя схема се провежда изследването, получените и регистрирани в АЦП резултати от даден режим на изследване постъпват за обработка в текущо време в микрокомпютърна система HP 41СХ, инсталирана на самата площадка на сондажа. По този начин е възможно отчитането на моментния разход на газ за всеки режим при съответните стойности на буферното налягане и налягането в извънтръбното пространство. С тези стойности в текущо време се изчислява забойното налягане и работната депресия в сондажа.

### IV.3. Изчисляване на диафрагмите за диафрагмения измерител

Изхождайки от конкретните термобарични условия в подземното газохранилище Чирен са пресметнати и изработени три броя диафрагми за различен максимален разход на газ при провеждане на газодинамичните изследвания. Пресмятанията са направени в съответствие с методика N 942-82 и стандарт ISO 5167, отнасящи се до определяне на диаметъра на отвора на диафрагмата и измерване на разхода на флуиди със стесняващи устройства.

На **Фигура IV.3.** е представена една от изработените диафрагми и фланцев елемент от диафрагмения измерител.



**Фигура IV.3. Диафрагма и фланцев елемент от диафрагмения измерител**

## **IV.4. Технология за провеждане на изследванията**

### **IV.4.1. Последователност на провеждане на изследванията**

#### Подготовка на сондажа

При подготовката на сондажа се предвиждат следните операции:

- Спиране на сондажа от работа и включване към измерителната линия;
- Престой на сондажа за стабилизация на пластовотното налягане;
- Монтиране на измерителния възел и геофизичния лубрикатор;
- Подготовка на геофизични прибори за провеждане в края на периода на фонове геофизични изследвания (ГК, НГК, термометрия);
- Тест на измерителната система за определяне на налягането и температурата, съответно на: буфера на сондажа, работната линия, извънтръбното пространство и диафрагмата, преди започване на изследването.

#### Изследване на сондажа при стабилизирани режим на филтрация (режимни изследвания)

Тези изследвания се провеждат в следната последователност:

- Сондажът се пуска в работа при минимален дебит, обезпечаващ изнасяне на течност от забоя (обикновено около  $40 \text{ m}^3/\text{d}$ );
- Спускане на комплекс от геофизични прибори и след стабилизация на параметрите на режима се провеждат геофизичните изследвания;
- След завършване на изследването при даден режим (с продължителност, обикновено около час) се преминава към следващ режим на работа.

В зависимост от продуктивните възможности на сондажа се осъществяват около 5-7 режима, от които един обратен.

Автоматизираният контрол на изследванията се осъществява на базата на микрокомпютърна система и на разработен за нея софтуер, което позволява непрекъснат контрол и обработка на данните за налягането на устието и забоя на сондажа, температурата и неговия дебит.

При последния режим комплексът от геофизични прибори се изважда и сондажа се затваря за получаване на крива на възстановяване на налягането. При изследваните сондажи това на практика се оказва невъзможно, поради незначителния период на възстановяване на налягането.

#### Заклучителни операции

Комплексът заключителни операции включва следното:

- Демонтиране на геофизичния лубрикатор и монтиране на лубрикатор за спускане на дълбочинен манометър;
- Измерване на пластовото налягане;
- Демонтаж на измерителния модул;
- Въвеждане на сондажа в нормална експлоатация.



#### IV.4.2. Методика на обработване на резултатите от проведените газо-хидродинамични изследвания

Резултатите от проведените газо-хидродинамични изследвания са обработени с методики, аналогични на тези, използвани и преди в практиката на Чиренското подземно газохранилище.

По този начин се създава възможност за съпоставяне на продуктивната характеристика на сондажите преди и след провеждане на ремонтните работи, както и получаване на информация за нейното изменение във времето.

За целта при обработване на резултатите от изследванията са използвани уравненията на приток и нагнетяване, съответстващи на двучленния закон на филтрация.

$$P_{пл}^2 - P_{заб}^2 = A.Q + B.Q^2 \quad (IV.1)$$

$$P_{заб}^2 - P_{пл}^2 = A.Q + B.Q^2 \quad (IV.2)$$

където:  $P_{пл}$  - е пластовото налягане, МПа;

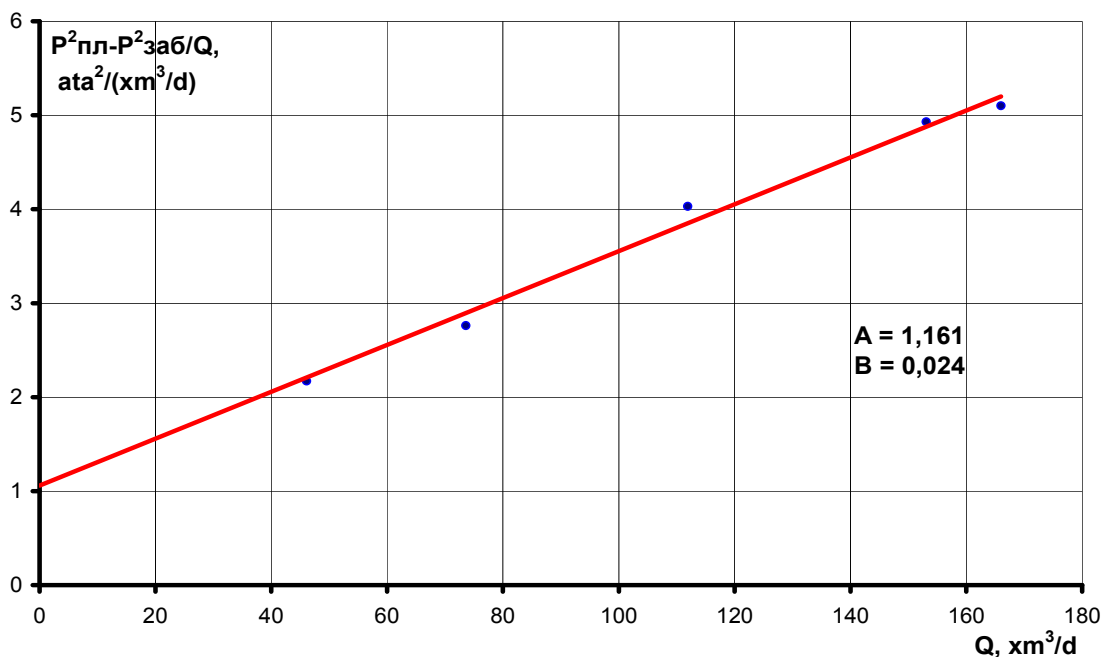
$P_{заб}$  - забойно налягане, МПа;

$Q$  - дебит на сондажа,  $m^3/h$ ;

#### IV.5. Резултати от проведените комплексни изследвания

Комплексни газо-хидродинамични и геофизични изследвания са проведени на шест сондажа от Чиренското подземно газохранилище. Част от тях са проведени при режим на добив, а други при режим добив и нагнетяване.

От получените резултати при провеждане на режимното изследване, е построена индикаторната зависимост на сондаж Р-10 при режим на работа добив, показана на **Фигура IV.4**.



Фигура IV.4. Индикаторната зависимост на сондаж Р-10 при режим на работа добив

Паралелно с газо-хидродинамичните изследвания в сондажа са проведени и геофизични изследвания (дебитометрия) за петте режима на работа при добив. Данните от тези изследвания са използвани за графично представяне на работещите зони от изследвания разкрит интервал 1771-1820 m и са показани на **Фигура IV.5**.

Отношението на работещата дебелина към общата дебелина на интервала е представено като *коэффициент на относителна продуктивност* (КОП). Той може да послужи за база при отделянето на обектите за интензификация и за определяне на интензивността на образуване на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите при различните режими на тяхната работа.

Коефициента на относителна продуктивност, показан в **Таблица IV.4**, е определен за всичките проведени пет режима на работа на сондаж Р-10 при добив.

**Таблица IV.1**

№ на режим	1	2	3	4	5
КОП	0,172	0,204	0,194	0,226	0,228

Съчетаването на газодинамичните изследвания с геофизични и непосредствената обмяна на информация от провежданите едновременно комплекси от изследвания увеличава значително тяхната достоверност, информативност и прецизност.

#### **IV.6. Основни изводи**

1. Предложени са технически средства, технология и методика за провеждане на съвместни газо-хидродинамични и сондажно-геофизични изследвания.

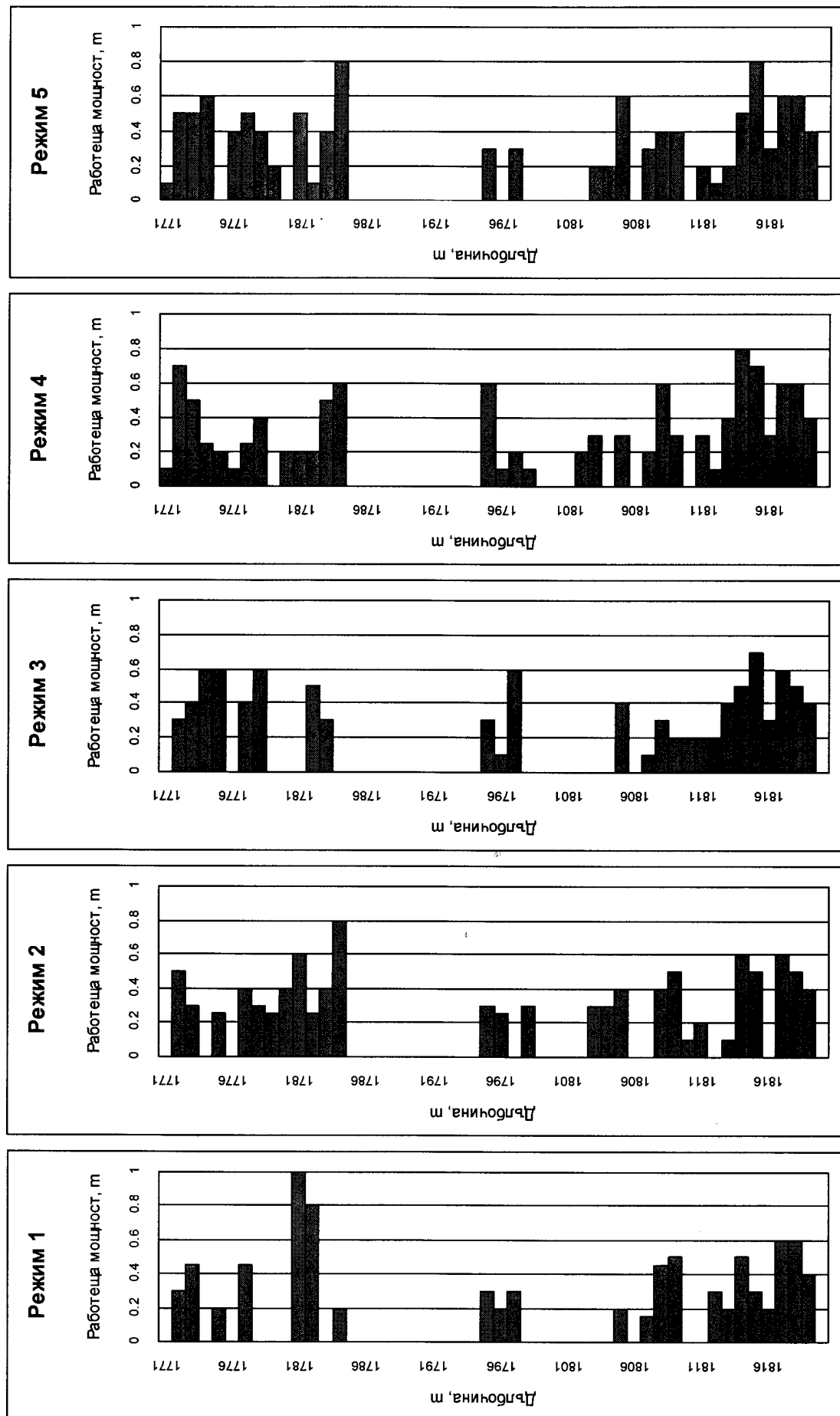
2. Чрез предложената технология за съвместни изследвания се получава следната изключително важна информация за:

- дебелините на работещите интервали;
- хипсометричното им положение в границите на перфорираните интервали;
- височината на стълба течност на забоя на сондажите.

3. Информацията от тези изследвания позволява да бъдат уточнени коефициентите на хидравлично несъвършенство на сондажите по степен и характер на разкриване, а с това да бъде определена и продуктивната им характеристика.

4. От анализа на получените резултати от проведените изследвания могат да се направят съществени изводи за местоположението и динамиката на образуване на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите.

5. Получените резултати от проведените съвместни изследвания могат да бъдат използвани при бъдещо проектиране на ликвидационни работи в сондажите.



Фигура IV.5. Разпределение на работещите зони от изследвания интервал на сондаж Р-10 при петте режима на работа - добив

## V. Усъвършенстване на технологията за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на газови сондажи при ниски пластови налягания

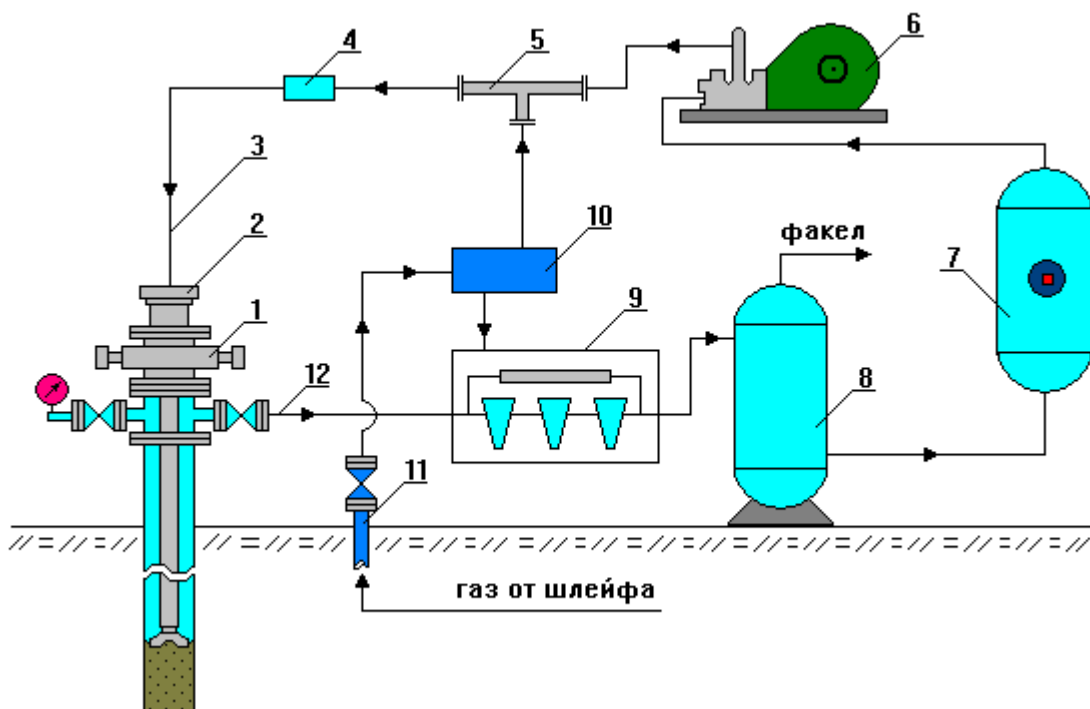
### V.1. Технология на провеждане на операции по ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на газови сондажи (в частност ПГХ-Чирен)

В раздел I.2.3. е описан механизмът на формиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите.

От направения анализ на експлоатацията на газовите находища, разгледани в настоящия дисертационен труд не бяха открити данни за провеждане на операции по ликвидиране на пясъчно-глинеест натрупвания в сондажите. Такива операции се провеждат само в сондажите от подземното газохранилище Чирен.

Анализът от проведените изследвания показва, че в долната част на разкритите чрез перфорация интервали, в повечето сондажи от ПГХ, са формирани пясъчни натрупвания (отложения). Формираните отложения прикриват част от работните интервали и по този начин намаляват производителността на сондажите. Ликвидирането на тези отложения в условията на аномално ниски пластови налягания, е значително затруднено.

През 1993-1994 г, в ПГХ-Чирен започва да се прилага технологията за ликвидиране (сондиране) на пясъчните натрупвания с използване на пенни системи, разработена от института "СевКав-НИПИгаз"- Ставропол, Русия. Характерно за тази технология е, че при сондирането на пясъчните натрупвания, циркулацията на пенната система се осъществява по затворен прав цикъл [15]. Тя е представена на **Фигура V.1.**



Фигура V.1. Затворена схема за промиване на пясъчни натрупвания, по [15]

Същността на затворената схема за ликвидиране на пясъчни натрупвания се състои в следното:

В сондажа с помпено-компресорни тръби се спуска длето до върха на пясъчната тапа. В тръбната система се включва обратен клапан. Устието на сондажа се оборудва с превентор **1** и с херметизираща въртяща се глава **2**. Пенообразуващата течност от резервоар **7** с помощта на помпен агрегат **6** се подава под налягане в ежектора **5**. Едновременно с това в него постъпва дозирано количество газ от шлейфа **11**, чрез разпределителния блок за подаване **10**. Параметрите на подаваната към сондажа пяна се следят от блока за контрол на пяната **4**. След това по нагнетателната линия **3** пяната се нагнетява в сондажа. При това положение плашките на превентора се намират в отворено положение, а сондажът е затворен с херметизиращата глава. Преминавайки през промивните отвори на длетото, пяната заедно с частици от разрушената тапа се издига по задтръбното пространство към устието на сондажа, откъдето по изходната линия **12** постъпва в блок **9**. В този блок пяната преминавайки през серия от хидроциклони се очиства от твърдата фаза, а нейното пълно разрушаване и дегазиране се осъществява в сепаратора **8**. По този начин се осъществява затворен цикъл на промиване на сондажа.

В последните десетилетия, затворената (херметизирана) схема на промиване, се прилага успешно при разкриване на продуктивните газоносни хоризонти чрез сондиране в условията на ниски пластови налягания. Тази схема позволява в процеса на сондиране да се регулира и поддържа определено диференциално налягане в системата сондаж-пласт [59].

## **V.2. Усъвършенстване на технологията за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите**

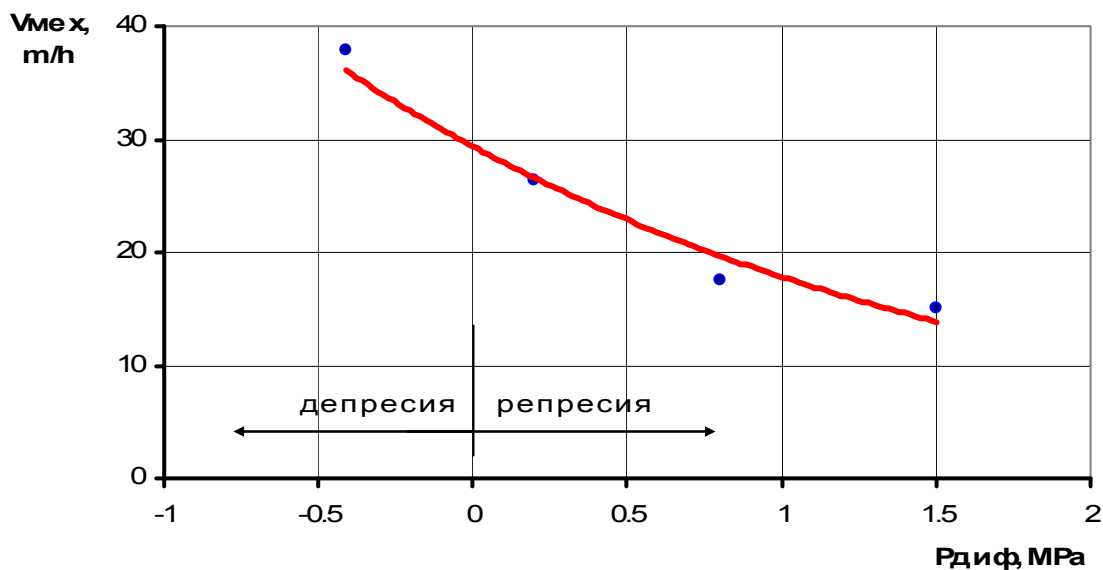
Правейки аналогия между процеса на разрушаване на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите и процеса на сондиране, интерес представлява изучаването на зависимостта между скоростта на разрушаване на натрупванията и диференциалното налягане. За изясняване на тази зависимост, от дисертанта съвместно със специалисти от "СевКав-НИПИгаз"- Ставропол, Русия, бяха проведени промишлени изследвания в сондажи Е-26 и Е-27. Целта на тези изследвания бе чрез прилагане на описаната схема от **Фигура V.1.**, да се разрушат пясъчните натрупвания в посочените сондажи при намаляване на репресионното налягане на забоя на сондажите до депресия и се проследи изменението на механичната скорост.

Изследванията са проведени при следните условия:

- Коефициент на аномалност на пластовото налягане 0,56;
- Промиването се осъществява с двуфазна пяна със степен на аерация  $\alpha=25-40$ , като приготвянето на пяната се извършва с ежектор и нагнетателен агрегат ЦА-320;
- Фактическата производителност на агрегата при подаване на пенообразуваща течност (ПОТ) в ежектора е  $5 \text{ dm}^3/\text{s}$ ;

- При промиването на сондажите е използвана ПОТ с еднакви реологични свойства и компонентен състав;
- Интервалът за промиване в сондаж Е-26 е с дебелина 180 m, а в сондаж Е-27 е с дебелина 17 m.

В процеса на промиване се променят степента на аерация на пяната и устиевото налягане с цел регулиране на налягането на стълба пяна върху забоя на сондажа. На **Фигура V.2.** е представена получената фактическа зависимост на изменение на механичната скорост на разрушаване на пясъчните натрупвания от диференциалното налягане за сондаж Е-26.



**Фиг. V.2. Изменение на механичната скорост от диференциалното налягане, Е-26**

От показаната зависимост се вижда, че в процеса на провеждане на промишленото изследване, диференциалното налягане се изменя от репресия–разликата между забойното налягане и пластовото ( $P_{заб.} - P_{пл.}$ ), до депресия–разликата между платовото налягане и забойното ( $P_{пл.} - P_{заб.}$ ). За сондаж Е-26 това изменение е в границите от 1,5 MPa до (-0,4) MPa, При намаляване на репресията, механичната скорост нараства и достига максимална стойност при създаване на депресия.

В рамките на изменение на диференциалното налягане, скоростта на разрушаване в сондаж Е-26 е увеличена 2,5 пъти, а в сондаж Е-27 е увеличена 2,3 пъти. При репресия на пласта над 1,5 MPa се наблюдава поглъщане на пяна със загуба на циркулация, а при депресия над 0,5 MPa се наблюдава приток на газ от пласта с интензивност затрудняваща почистването и разрушаването на пяната.

Получените данни, за сондаж Е-26, се описват от следната корелационна зависимост:

$$V_{мех} = 29,466 \cdot e^{-0,5151\Delta P} \quad , \quad R^2 = 0,9642 \quad (V.1)$$

където:  $V_{мех}$  - е механичната скорост на разрушаване, m/h;

$\Delta P$  - диференциално налягане в системата сондаж-пласт, MPa.

При разрушаване на пясъчните натрупвания в сондажи Е-26 и Е-27 в условията на депресия е използвана лека пяна със степен на аерация  $\alpha = 25-40$ . Това обуславя ефективното почистване на ствола на сондажите от разрушения материал. Сnižаването на диференциалното налягане на забоя предизвиква приток на газ от перфорирания интервал, което интензифицира процеса на реинтеграция на уплътнените пясъчни частици при разрушаване на пясъчно-глинестите натрупвания.

С увеличаване на степента на аерация, вискозитетът на пяната намалява. Това води до увеличаване на хидравличната мощност на промивния поток в зоната на контакт между скалоразрушаващия инструмент и пясъчно-глинестите натрупвания.

След получените положителни резултати от проведените промишлени изследвания, усъвършенстваната технология се прилага, при провеждане на ремонтни работи във всички сондажи от ПГХ-Чирен, в които са установени пясъчни натрупвания.

### **V.3. Основни изводи**

1. Усъвършенствана е технологията за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите, чрез изменение на диференциалното налягане от репресия към депресия.

2. От анализа на получените резултати при прилагането на усъвършенстваната технология могат да се направят следните изводи:

- Изменението на диференциалното налягане в системата сондаж-пласт от репресия към депресия води до увеличаване на механичната скорост на разрушаване на пясъчно-глинестите натрупвания;
- Изменението на диференциалното налягане в границите от 2,0 МПа, води до увеличаване на механичната скорост на разрушаване от 2,3 до 2,5 пъти;
- При снижаване на репресионното диференциално налягане се намаляват загубите на пенообразуваща течност и се съкращава времето за провеждане на ремонтни работи.

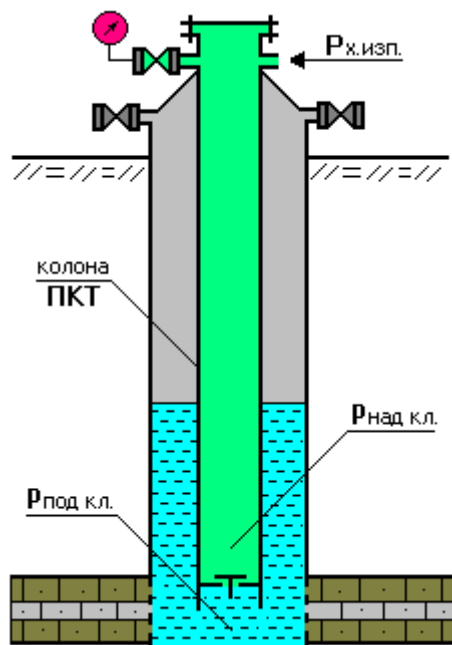
## **VI. Разработване на изваждаемо устройство (клапан) за секционно и цялостно хидравлично изпитване на колона от ПКТ при провеждане на ремонтни работи в газови сондажи**

### **VI.1. Уводни бележки**

Основните фактори водещи до нарушаване на цялостта на колоната от ПКТ, а оттам и до нарушаване на нейната херметичност са разгледани в раздел I.2.5.

Задължително условие при последващата експлоатация, след провеждане на ремонтни работи в газови сондажи, е обезпечаването на херметичност на спусканите в тях колони от помпено-компресорни тръби. Независимо от значителния напредък при изготвянето на непроницаеми резбови съединения и използване на различни видове херметизиращи

материали, се налага колоната да бъде хидравлично изпитана на херметичност (опресована) при определено налягане. В зависимост от начина на използване на колоната, процедурата се провежда по време на спускането (секционно изпитване) или цялостно, след нейното окончателно спускане в сондажа. Различните фирми производителки на сондажно оборудване предлагат различни технически решения за изпитване на колоната, но с една и съща цел, а именно да се затвори временно вътрешнотръбното пространство в долния край на спуснатата в сондажа колона от ПКТ. В зависимост от предназначението на колоната тя се запълва с подходяща течност и с помощта на помпен агрегат се провежда нейното опресоване. Принципната схема за провеждане на изпитването на херметичност, когато колоната е спусната изцяло в сондажа, е представена на **Фигура VI.1**. Едно от възможните технически решения е използването на специална муфта, представена на **Фигура VI.2**, която се навива в долния край на колоната от ПКТ и се спуска заедно с нея в сондажа [91]. Този тип муфи са снабдени с един или няколко срезни щифта. Подборът на броя на тези щифтове и тяхното сечение, определят величината на силата на срязване в тях. При достигане на определена гранична стойност на тази сила, респективно налягане в колоната от ПКТ, щифтовете се срязват и част от муфата се отделя от нея, отваряйки отново вътрешнотръбното пространство, след провеждане на хидравличното изпитване.



**Фигура VI.1. Схема за провеждане на хидравлично изпитване на колона от ПКТ**



**Фигура VI.2. Муфи за хидравлично изпитване на колона от ПКТ, по [91]**

Налягането, при което се изпитва колоната от помпено-компресорни тръби на херметичност е по-ниско от граничното при което се срязват щифтовете. Друго техническо решение, базирано на принципа на срезните щифтове е използването на съчмени клапани, като процедурата

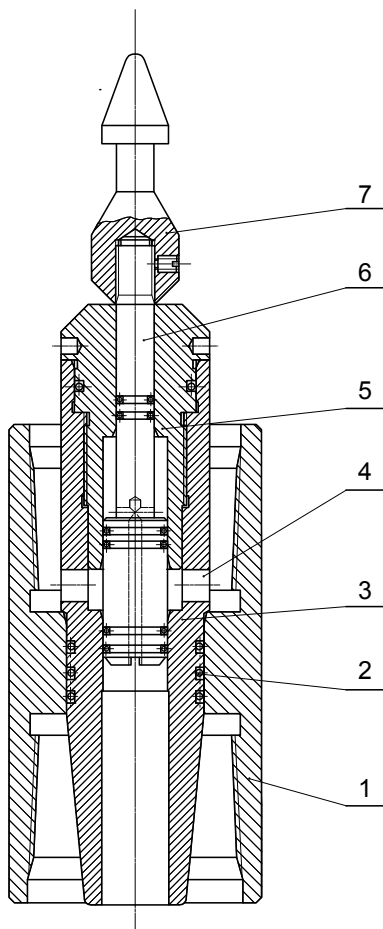


по опресване е аналогична. След приключване на операцията, намиращата се в колоната течност попада в сондажа и след неговото усвояване тя се добива. При газови сондажи се използва метанол или кондензат за запълване на колоната от ПКТ при нейното опресване.

Като основен общ недостатък на представените технически средства може да се посочи обстоятелството, че след срязване на щифтовете целият затварящ елемент или част от него попадат на забоя на сондажа. Това би могло да затрудни значително провеждането на бъдещи ремонтни работи свързани с промиване на пясъчни натрупвания, удълбочаване на сондажа, провеждане на интензификационни работи и др.

## VI.2. Разработване на устройство (клапан) за хидравлично изпитване на колони от ПКТ

Посоченият по-горе основен недостатък на разгледаните технически средства налага необходимостта от разработване на устройство, което да запазва своята цялост и да се използва многократно при провеждане на операции от разгледания тип. На **Фигура VI.3.** е представена конструкцията на устройството, състоящо се от изваждаем херметизиращ клапан и херметизираща муфа.



### Основните елементи на устройството са следните:

**1** - изработена по съответен размер муфа за колона от помпено-компресорни тръби с уплътняващо седло; **2** – уплътнителни елементи тип "О" пръстен; **3** – основно тяло на изваждаемия клапан; **4** - отвори в тялото на клапана за хидравлична връзка между вътрешнотръбното пространство на колоната от ПКТ и задтръбното пространство в сондажа; **5** - водач на клапана, навит чрез резбово съединение към тялото на клапана; **6** - вретено на клапана, с канали за уплътнителни елементи тип "О" пръстен и възможност за движение във вертикална посока; **7** – съединителен крайник за захващане с овершот и изваждане на клапана на повърхността.

**Фигура VI.3. Конструкция и основни елементи на устройство (клапан) за хидравлично изпитване на колони от ПКТ**

Разработеното устройство за хидравлични тестове е предназначено за секционен и окончателен (цялостен) хидравличен изпитване на колона от помпено-компресорни тръби в газови сондажи.

Принципът на действие на устройството се състои в следното:

След комплектоване на вретеното **6**, с необходимия брой уплътнителни елементи, то се поставя във водача **5**, който се навива в тялото **3** на клапана. Вретеното се позиционира в долно крайно положение така, че да прикрие четирите радиално разположени отвори в тялото на клапана. Ограничител за това положение на вретеното се явява съединителният накрайник **7**, навит и фиксиран на вретеното. След поставяне на уплътнителните елементи **2** в каналите на тялото на клапана, той се монтира в седло, по вътрешният му диаметър, оформено в муфа **1**. След монтажа на клапана, муфата се включва на определено място в комплекта от помпено-компресорни тръби (в зависимост от конфигурацията на експлоатационния лифт), след което започва спускане на колоната в сондажа. След навиване и спускане на няколко комплекта от колоната от ПКТ в сондажа, тя се запълва с подходяща течност (метанол или кондензат) и се опресова при определено налягане с помощта на помпен агрегат. Ако се установи, че тази част от колоната е херметична, то към нея се навиват и спускат следващите няколко комплекта, долива се от течността и отново се опресова. Тази операция се повтаря, в посочения ред, до спускане на цялата колоната до проектната дълбочина в сондажа. След успешно провеждане на операцията по опресване на колоната от ПКТ в нея, с помощта на лебедка, се спуска овершот, който се свързва с вретеното на клапана чрез съединителния накрайник. След леко изтегляне на въжето, вретеното се позиционира в горно крайно положение, отваряйки четирите радиални отвора в тялото на клапана и способствайки по този начин изтичането на течността от колоната в сондажа и изравняване на налягането под и над клапана. След като налягането под и над клапана се изравни, се продължава изтеглянето на въжето с овершота и в крайна степен се изважда целия херметизиращ клапан, като тялото на муфата остава цяло в мястото на разполагането и.

### **VI.3. Разчет на силите, действащи при изтегляне на вретеното на клапана в горно крайно положение**

При провеждане на хидравличното изпитване на колоната от ПКТ, върху клапана действа хидростатично налягане  $P_{\text{над кл.}}$ , създадено от стълба течност в колоната, спусната на съответната дълбочина. Под клапана действа хидростатично налягане  $P_{\text{под кл.}}$ , превишаващо текущото пластово налягане, обикновено с 10% и базирано на стълба течност намиращ се в сондажа, зад колоната от ПКТ.

Силата, необходима за изтегляне на вретеното на клапана в горно крайно положение и отваряне на радиалните отвори за изтичане на течността от колоната от ПКТ и изравняване на налягането под и над клапана, може да се изрази със следната зависимост:

$$F_{изт.} = (P_{над.кл.} - P_{под.кл.}) \cdot 10^3 \cdot S + F_{тр.} \quad (VI.1)$$

където:  $F_{изт.}$  - е силата за изтегляне на вретеното в горно крайно положение, kN;

$P_{под.кл.}$ ;  $P_{над.кл.}$  - налягане, действащо под и над клапана, МПа;

$S$  - площ на напречното сечение на вретеното,  $m^2$ ;

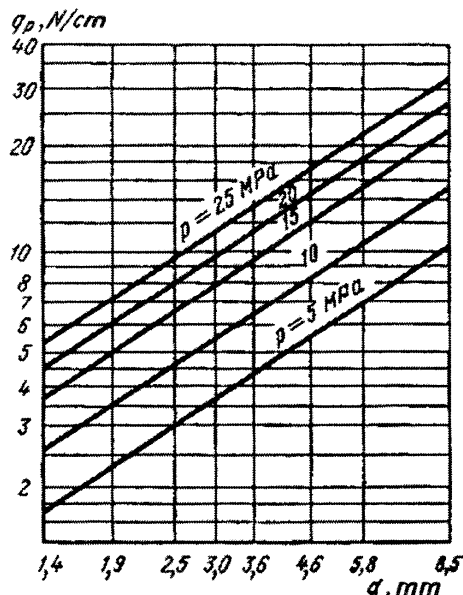
$F_{тр.}$  - сила на триене в подвижното съединение, kN.

Силата на триене в подвижното съединение, вретено-водач и тяло на клапана, уплътнено с "О" пръстени [48], може да се изрази чрез зависимостта:

$$F_{тр.} = q_p \cdot \pi \cdot D \cdot 10^{-3} \quad (VI.2)$$

където:  $q_p$  - е относителна (специфична) сила на триене, N/cm;

$D$  - диаметър на уплътняваната повърхност, cm.



Фигура VI.4.

Относителната сила на триене се определя от графика, представен на **Фигура VI.4**, където  $d$  е диаметъра на съответния уплътнителен елемент тип "О" пръстен. Резултатите от направения разчет са представени в **Таблица VI.1**. За сравнение в таблицата е пресметната и силата  $F_{неп.вр.}$  (неподвижно вретено), необходима за изваждане на целия клапан, при положение че конструктивно не е предвидена възможност за изравняване на налягането под и над клапана.

Разчетите са направени за външен диаметър на клапана 50 mm (73 mm колона от ПКТ).

Таблица VI.1

Резултати от направените разчети	Стойност
Сила на триене в подвижното съединение $F_{тр.}$ , kN	0,121
Сила, необходима за изтегляне на вретеното $F_{изт.}$ , kN	1,027
Сила за изтегляне на кл. при неподвижно вретено $F_{неп.вр.}$ , kN	11,38

#### VI.4. Основни изводи

1. Разработено е изваждаемо устройството (клапан) за секционно и цялостно хидравлично изпитвана на колон от ПКТ.

2. Разработеното устройство се характеризира със следните технологични предимства:

- Простота на конструкцията и възможност за унифициране. При различните типоразмери на колоните от ПКТ може да се използва един и същ типоразмер на водача на клапана и същинския клапан. Променя се само диаметъра на муфата и размера на седлото;
- Възможност за многократно използване при хидравлично изпитване на колони от ПКТ в газове и нефтени сондажи;
- Възможност за изваждане на клапана, чрез овершот, след завършване на операциите по опресоване и запазване на забоя на сондажа;
- Незначителни усилия за изваждане на клапана.

## **VII. Разработване на технически средства и технология за изрязване на обсадни колони с цел поставяне на циментови мостове при провеждане на ликвидационни работи в газове сондажи**

### **VII.1. Технически средства за изрязване на обсадни колони**

Както бе отбелязано в раздел I.3., едно от най-широко разпространените в практиката технически решения за ликвидация и консервация на сондажи се явява поставянето на циментови мостове в тях. За да се обезпечи надеждна изолация на задколонното пространство се прилага метод състоящ се в изрязване (фрезование) на експлоатационната колона и циментовия камък зад нея. След провеждането на тази операция в същия интервал се поставя под налягане ликвидационен циментов мост, чиято цел е надеждно да се изолира както пространството в самата експлоатационна колона, така и пространството зад нея, като изолиращия разтвор запълва изцяло прорязания интервал.

За изрязване на определени участъци от обсадните колони най-широко разпространение в последните години получи използването на фрези с разтварящи се работни елементи (ФРРЕ), [64]. Те са механични устройства, които имат различни конструкции и начини на задействане по време на работа. Най-общо те се състоят от няколко главни елемента: тяло с присъединителна резба в двата си края, работни елементи, които фрезват обсадната колона и циментовия камък зад нея и механизми за привеждане в работно и транспортно положение. В зависимост от механизма на привеждане на работните елементи в работно/транспортно положение, те се делят на: хидравлични; хидромеханични; механични и електромеханични.

### **VII.2. Разработване на устройство за изрязване на обсадни колони, необходимо при провеждане на ликвидационни работи в газове сондажи**

#### **VII.2.1. Конструктивно решение на проблема**

Разгледаните в раздел VII.1. ФРРЕ са предназначени за изрязване на участъци от експлоатационната обсадна колона, в следните случаи:

- изрязване на участък от експлоатационната колона за прокарване на нов ствол на сондажа или за прокарване на хоризонтален такъв;
- изрязване на участъци от експлоатационната колона, в установени в нея интервали на нехерметичност, при провеждане на ремонтно-изолационни работи;
- Фрезоване на експлоатационната колона в зоната на перфорация с цел разширяване на ствола на сондажа за формиране на гравийен филтър или за продължаване на експлоатацията на сондажа с открит забой.

В огромната си част експлоатационните сондажи в експлоатираните нефтени и газови находища завършват с 5½" обсадни колони. В значителна част от тях предстои извършването на ремонтни или ликвидационни работи. Особено тази задача е актуална за подземното газохранилище Чирен, където се очаква в близките години ликвидиране на основния фонд експлоатационно-нагнетателни сондажи, които са с 5½" експлоатационни колони.

За провеждане на качествена и надеждна ликвидация на газови сондажи при появата на междупластови притоци или налягане в задколонното пространство, е необходимо да се използва тръборезно устройство с висока ефективност на работа. За целта в дисертационната работа е разработена усъвършенствана конструкция на тръборезно устройство, наречено (ТУ-1). Устройството е предназначено за изрязване на участъци от 5½" обсадни колони, с цел поставяне на ликвидационни циментови мостове в зоната на изрязване и се базира на хидромеханичен принцип на действие.

#### А. Основни изисквания при разработване на ФРРЕ

За надеждно и безаварийно провеждане на операциите по изрязване на участъци от обсадни колони с ФРРЕ е необходимо да бъдат изпълнени следните изисквания:

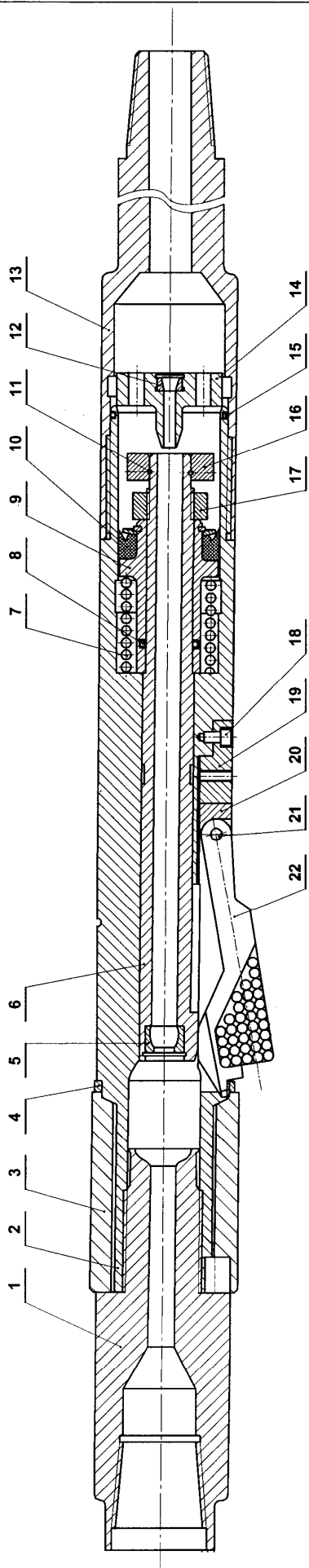
- Режещите елементи да обезпечават изрязването на минимум 15-20 m от колоната, без да се налага тяхната подмяна;
- Отделните елементи и устройството да са устойчиви на ударни натоварвания;
- Да се гарантира конструктивно надеждно приваждане в работно и транспортно положение на работните елементи на устройството;

#### Б. Конструкция на тръборезното устройство ТУ-1

Съобразно с дефинираните по-горе изисквания е разработено устройство за изрязване на обсадни колони с разтварящи се работни елементи, ТУ-1. На **Фигура VII.1.** е представена конструкцията му и са описани отделните негови елементи.

#### В. Определяне на параметрите на рязане и необходимата задвижваща мощност

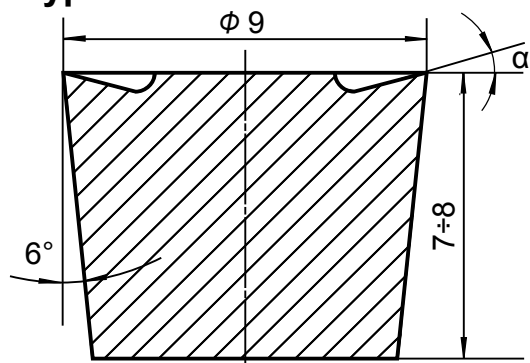
Най-близката аналогия на процеса на изрязване на участъци от обсада колона е тази с *рязането при струговане* и по-точно, *вътрешно разстъргване с радиално подаване посредством кръгъл профилен нож.*



- |  |   |  |
|--|---|--|
| 1 – накрайник къс;                     | 8 – пръстен уплътнителен $D=45, d=5$ ;  | 16 – тяло лагерно;                     |
| 2 – тяло;                              | 9 – бутало;                             | 17 – гайка специална;                  |
| 3 – центратор;                         | 10 – елемент уплътнителен;              | 18 – винт фиксиращ М 8;                |
| 4 – втулка ограничителна;              | 11 – съчма $\Phi 4$ – лагер;            | 19 – упор;                             |
| 5 – дюза $\Phi 15$ ;                   | 12 – дюза $\Phi 9,5, l=9$ ;             | 20 – хомут;                            |
| 6 – прът бутален;                      | 13 – накрайник дълъг;                   | 21 – щифт упорен $\Phi 11 \times 24$ ; |
| 7 – пружина $D_{ср}=70, t=30, d=7,8$ ; | 14 – тяло повеждащо;                    | 22 – елемент работен (нож).            |
|  | 15 – пръстен уплътнителен $D=95, d=5$ ; |  |

Фигура VII.1. Конструкция и основни елементи на тръборезно устройство ТУ-1

Тази аналогия е избрана, поради факта, че подвижните работни елементи (ножове), показани на позиция **22** от **Фигура VII.1.** са заредени с 32 броя режещи щифтове, изработени от твърдосплавен материал от вида Т30К4. Профилът и размерите на щифтовете са представени на **Фигура VII.2.**



**Фигура VII.2. Режещ щифт**

Силата на рязане за 1mm дължина от режещия ръб на щифта -  $f_z$  е определена експериментално и зависи от подаването (дебелината на срязвания слой от обработвания материал) за 1 режещ щифт -  $f_1$ , измерено в mm за един оборот. В **Таблица VII.1.** е показана тази тази зависимост.

**Таблица VII.1.**

зависимост на стойността на силата на рязане $f_z$ от подаването $f_1$									
$f_1$	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,1
$f_z$	11	13	15	19	22	26	29	32	38

При тази схема, силата на рязане за един режещ щифт се определя от следната зависимост:

$$F_{z1} = f_z \cdot L_a \cdot K_{FZM} \cdot K_{FZ\alpha} \quad (\text{VII.1})$$

където:  $F_{z1}$  - е силата на рязане за един режещ щифт, daN;

$f_z$  - сила на рязане за 1mm дължина на режещия ръб на щифта, daN;

$L_a$  - дължина на режещия ръб на щифта, mm

$K_{FZM}$  - корекционен коефициент, зависещ от обработвания материал;

$K_{FZ\alpha}$  - корекционен коефициент, зависещ от големината на предния ъгъл  $\alpha$  на профила на режещия щифт, **Фигура VII.2.**

Дължината на режещият ръб на 1 щифт се определя по зависимостта:

$$L_a = \frac{\pi \cdot d}{2} \quad (\text{VII.2})$$

където:  $d$  - е диаметърът на режещият щифт,  $d = 9$  mm.

Корекционните коефициенти  $K_{FZM}$  и  $K_{FZ\alpha}$  са определени за различните марки стомана от които са изработени обсадните колони и стойностите им са представени в **Таблица VII.2.**

Силата на рязане за един работен елемент (нож), зареден с режещи щифтове се определя от зависимостта:

$$F_z = n \cdot F_{z1} \quad (\text{VII.3})$$

където:  $F_z$  - е силата на рязане за един нож, daN;

$n$  - брой на участващите режещи елементи при пълното прорязване на обсадната колона. Пресметнато е, че за ТУ-1,  $n = 7$ .

Таблица VII.2

марка стомана API	якост на опън $\sigma_B$ , МПа	$K_{FZM}$	$K_{FZ\alpha}$
H-40	414	0,64	1,24
J-55	517	0,76	1,18
K-55	655	0,90	1,18
C-75	655	0,90	1,18
L-80	655	0,90	1,18
N-80	690	0,94	1,18
C-90	690	0,94	1,18
C-95	724	0,97	1,18
P-110	862	1,11	1,12

Моментът на рязане се определя от следната зависимост:

$$M = N \cdot F_Z \cdot \frac{D_{CP}}{2} \quad (VII.4)$$

където:  $M$  - е моментът на рязане, daN.m;

$N$  - брой на подвижните ножове;

$D_{CP}$  - среден диаметър на обсадната колона, m.

Необходимата мощност за осъществяване на процеса на рязане се определя от зависимостта:

$$P = \frac{F_Z \cdot V}{60 \cdot 10^2 \cdot \eta} \quad (VII.5)$$

където:  $P$  - е необходимата мощност за рязане, kW;

$V$  - скорост на рязане, m/min;

$\eta$  - КПД на задвижващия механизъм.

Скоростта на рязане се определя от:

$$V = \pi \cdot D_{CP} \cdot n_1 \quad (VII.6)$$

където:  $n_1$  - е честотата на въртене на инструмента,  $\text{min}^{-1}$ .

В **Таблица VII.3.** са показани резултатите от направените разчети относно параметрите на рязане за три марки стомана, при различни стойности на подаването -  $f_1$ .

Таблица VII.3

марка стомана	$F_{Z1}$ , daN	$F_Z$ , daN	$M$ , daN.m	$P$ , kW
подаване (дебелина на срязания слой за 1 режещ елемент) - $f_1 = 0,03$				
J-55	190,2	1331,4	269,6	21,1
N-80	235,3	1647,1	333,5	26,1
P-110	263,6	1845,2	373,6	29,3
подаване (дебелина на срязания слой за 1 режещ елемент) - $f_1 = 0,05$				
J-55	278,9	1952,8	395,5	31,0
N-80	345,0	2415,3	489,1	38,3
P-110	386,7	2707,1	548,2	42,9
подаване (дебелина на срязания слой за 1 режещ елемент) - $f_1 = 0,1$				
J-55	481,9	3373,1	683,1	53,5
N-80	595,9	4171,9	844,8	66,2
P-110	667,9	4675,9	946,8	74,2



### Г. Комплектоване на ТУ-1 преди провеждане на операция по изрязване на участък от ЕК

Преди да се спусне в сондажа за провеждане на операция по изрязване на участък от обсадната колона, тръборезното устройство се комплектова по следния начин:

Към резбовото съединение на долния къс накрайник на ТУ-1, позиция **1** от **Фигура VII.1.**, се навива водещ конусен накрайник. Неговата дължина е равна на дължината на тръборезното устройство и е 1400 mm. Към резбовото съединение на горния дълъг накрайник **13** на устройството се комплектова тежък долен край (ТДК).

Обикновено от практически съображения се препоръчва дължината на ТДК да не е по-малка от 40-50 m.

Над тежките щанги се комплектова  $2\frac{7}{8}$ " (73mm) сондажен лост с обща дължина, съобразена с дълбочината на която ще се провежда операцията по прорязване на колоната.

#### **VII.2.2. Принцип на действие на тръборезното устройство**

Принципът на действие на тръборезното устройство се състои в следното: след комплектоването на ТУ-1 и спускането му до проектната дълбочина в сондажа, то се привежда във въртливо движение. При пускане на промивната помпа и при преминаването на промивната течност през отвора на дюзата, показана като позиция **12** на **Фигура VII.1.**, възниква пад на налягане под действието на който буталото **9** свива пружината **7**, премествайки буталния прът **6** към вътрешния контур на работния елемент **22**. Движението на челото на буталния прът по вътрешната наклонена повърхност на работния елемент предизвиква неговото отваряне до опирането му във вътрешната стена на обсадната колона. По този начин, под действие на създаденото радиално усилие, започва процеса на рязане (струговане) на колоната. В процеса на рязане, движението на буталото продължава до опирането му в упорния ръб на тялото **2**, при което работните елементи са напълно отворени и колоната е прорязана. В момента на пълното отваряне на работните елементи, тялото на буталния прът се е отделило от повеждащото тяло **14**, индикация за което е рязкото спадане на налягането на промивната течност, отчитано по манометър на повърхността. В същото време буталния прът остава в долно крайно положение под действие на възникналия пад на налягане в дюза **5**, монтирана в челото на буталния прът. От този момент започва прорязването на обсадната колона по дължина, което се осъществява чрез прилагане на определено осово натоварване, като в същото време процеса на въртене на работния инструмент продължава. Разрушаването на обсадната колона и на циментовия камък зад нея продължава до достигане на проектната дълбочина или до пълното износване на режещите щифтове, индикация за което е изменението на механичната скорост.

След края на операцията фрезование, тръборезното устройство се привежда в транспортно положение по следния начин:

След промиване на сондажа в течение на най-малко един цикъл, въртенето на сондажния инструмент продължава, като той се повдига докато се "обере" целия осов товар прилаган при операцията. Помпата се спира, при което свитата пружина привежда буталото и буталния прът в изходно положение. Това дава възможност на работните елементи да се приберат към корпуса на устройството и то да бъде успешно извадено на повърхността.

### **VII.2.3. Проектиране на операция по изрязване на участък от обсадн колона с цел поставяне на циментови мостове при ликвидиране на газов сондаж**

Извършване на операция по ликвидиране на газов сондаж чрез прилагане на метода за поставяне на циментов мост след изрязване на участък от експлоатационната колона се осъществява въз основа на работен проект. В проекта се пресмятат всички основни параметри на операцията, а за тръборезното устройство се пресмята режима на работа, който включва следните елементи: *честота на въртене; осово натоварване; работен дебит и налягане.*

#### A. Честотата на въртене

При определяне на честотата на въртене се изхожда от типоразмера на обсадната колона и технологичните параметри на рязане. Препоръчителните стойности за честотата на въртене при прорязване на обсадна колона с диаметър 5½", в зависимост от марката стомана са посочени в **Таблица VII.4.**

**Таблица VII.4**

зависимост на честотата на въртене от марката стомана				
марка стомана	J-55	K-55	N-80	P-110
честота на въртене, об/min	60	60	30	30

#### B. Осово натоварване

Осовото натоварване при прорязване на участъци от обсадни колони се определя от силата на рязане (**Таблица VII.3.**) по следната зависимост:

$$C = n.m.F_{z1} \quad (\text{VII.7})$$

където: **C** - е осовото натоварване, kN;

**n** - брой на режещите щифтове;

**m** - брой на работните елементи;

**F<sub>z1</sub>** - сила на рязане за един режещ щифт, kN.

Препоръчва се прорязването на колони изработени от марки стомана J-55 и K-55 да се извършва при осово натоварване от порядъка на 15-20 kN, докато за такива изработени от марка стомана N-80 и P-110, осовото натоварване да бъде по-ниско, в границите на 10-15 kN.

#### B. Работен дебит и налягане

При определянето на дебита за промиване по време на операция по прорязване на участък от обсадна колона е необходимо да се отчитат три базови изисквания. Проектираният работен дебит следва да осигури:

- отваряне на работните елементи на тръборезното устройство;
- охлаждане на режещите елементи;
- почистване на фрезования участък, както от металните стружки отделени при фрезозането, така и от частиците на разрушения циментов камък.

Работният дебит може да се определи от следната зависимост:

$$Q = \sqrt{\frac{1,975 \cdot \Delta P_{\text{дюза}9,5} \cdot C_e^2 \cdot A^2}{\rho}} \quad (\text{VII.8})$$

където:  $Q$  - е разходът на течност през дюзата (дебит),  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\Delta P_{\text{дюза}9,5}$  - пад на налягане в дюзата  $\Phi$  9,5 mm, Pa;

$C_e$  - коефициент зависещ от типа на дюзата;

$A$  - площ на сечението на отвора на дюзата,  $\text{m}^2$ .

$\rho$  - плътност на промивната течност,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

Падаът на налягане в дюзата може да се определи от зависимостта:

$$\Delta P_{\text{дюза}9,5} = \frac{F_6}{S_6} \quad (\text{VII.9})$$

където:  $F_6$  - е силата действаща върху буталото, N;

$S_6$  - площ буталото,  $\text{m}^2$ .

Силата действаща върху вътрешната наклонена повърхност на работния елемент преди окончателното му отваряне се разлага на две сили: силата  $F_6$  действаща успоредно на надлъжната ос на буталния прът и силата на рязане  $F_z$ , действаща перпендикулярно на тази ос. Знаейки стойността на силата на рязане може да се определи силата  $F_6$ , а оттам и пада на налягане в дюзата.

Резултатите от направените примерни разчети за работния дебит при средна стойност на силата на рязане са показани в **Таблица VII.5**.

**Таблица VII.5**

Определяне на $Q_{\text{п.т.}}$ при средна стойност на $F_z = 2415,3 \text{ daN}$ (Таблица VII.3.)				
$F_6, \text{ N}$	$\Delta P_{\text{дюза}}, \text{ Pa}$	$d_{\text{дюза}}, \text{ m}$	$\rho_{\text{п.т.}}, \text{ kg}/\text{m}^3$	$Q_{\text{п.т.}}, \text{ m}^3/\text{s}$
$0,07 \cdot 10^6$	$14,8 \cdot 10^6$	0,0095	1150	<b>0,0107</b>

Работното налягане може да бъде определено по следната зависимост:

$$P_{\text{раб}} = \Delta P_{\text{с.л}} + \Delta P_{\text{дюза}} + \Delta P_{\text{итп}} + \Delta P_{\text{п.с}} \quad (\text{VII.10})$$

където:  $P_{\text{раб}}$  - е работното налягане на промивната помпа, MPa;

$\Delta P_{\text{с.л}}$  - загуби на налягане в сондажния лост, MPa;

$\Delta P_{\text{итп}}$  - загуби на налягане в извътърбното пространство, MPa;

$\Delta P_{\text{п.с}}$  - загуби на налягане в повърхностните съоръжения, MPa.

Хидравличните загуби се определят в зависимост от типоразмера на сондажния лост, обсадната колона, дълбочината на провеждане на операцията и свойствата на използваната промивна течност. За целта се използват известни в сондажната тръбна хидравлика зависимости [42,81].

### VII.3. Оптимизиране на технологията за поставяне на циментови мостове по метода на заместването при ликвидиране на газови сондажи

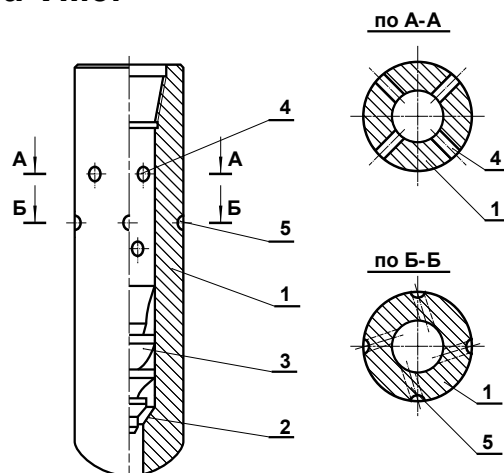
Изучаването на натрупания опит показва, че при провеждането на операции по ликвидиране на газови сондажи се прилагат основно два метода за поставяне на изолационни циментови мостове в тях, а именно:

- поставяне на циментови мостове по метода на заместването (или циментов мост на баланс), чрез използване на сондажен лост;
- поставяне на циментови мостове под налягане чрез използване на циментационен пакер.

Оптимизирането на технологията за поставяне на циментови мостове с цел изолация на част от разкрития интервал или при ликвидиране на газови сондажи е една от целите на настоящия дисертационен труд. Предложеният в дисертационния труд подход за усъвършенстване на технологията се базира на разработеното в катедра "Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ" към МГУ "Св. Иван Рилски", София, "Устройство за поставяне на циментови мостове в сондажите" (УПЦМС), авт. Свидетелство № 40756 [32]. Устройството може да се използва за поставяне на циментови мостове чрез прилагане на метода на равновесното заместване.

При прилагане на класическата технология за поставяне на циментови мостове по метода на заместването, може да се получи смесване на циментовия разтвор с промивната течност, което води до формирането на нееднородна смес в зоната на циментовия мост. Образования от нея циментов камък е с ниски якостни и изолиращи свойства. Това явление е недопустимо при провеждане на операции по ликвидиране на газови сондажи, при които основните изисквания са висока якост на циментовия камък, добро сцепление на цимента с обсадната колона и херметичност на моста.

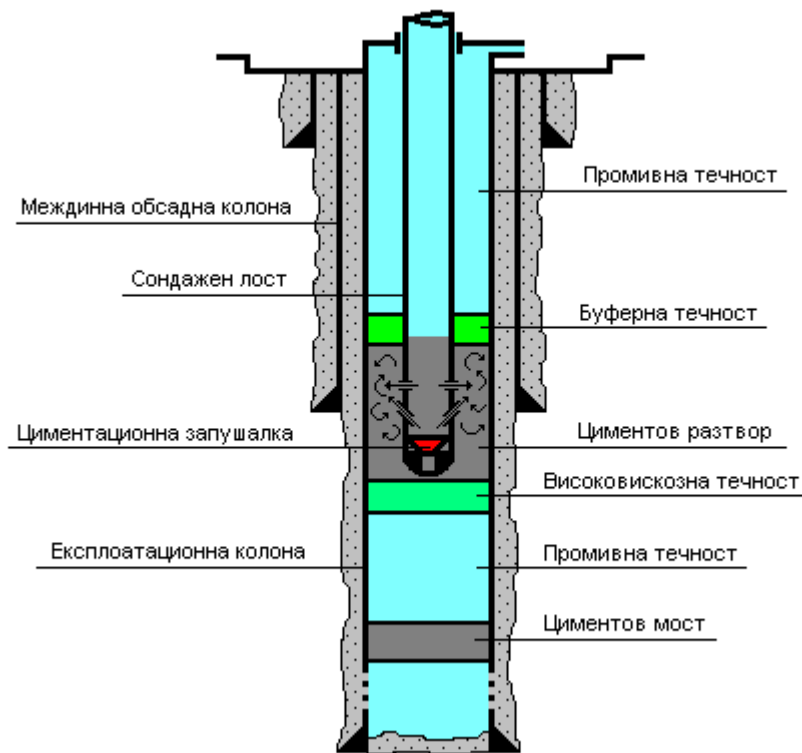
Чрез използване на УПЦМС като елемент от технология за поставяне на циментови мостове, влиянието на посочените недостатъци може да се сведе до приемливо ниво. Конструкцията на устройството е показана на **Фигура VII.3.**



Фигура VII.3. Устройство за поставяне на циментови мостове, по [32]

УПЦМС се състои от корпус **1**, в долния край на който е пробит отвор, горния край на който е оформен като конусно седло **2**, върху което стъпва циментационната запушалка **3**. В корпуса на устройството са пробити осем отвора, като горните четири отвора, позиция **4**, са разположени на по  $90^\circ$  един от друг в една равнина, перпендикулярна на оста на корпуса. Долните четири отвора, позиция **5**, са пробити тангенциално спрямо вътрешната повърхност на корпуса под  $45^\circ$  спрямо вертикалната ос. Тези овори са разположени също по на  $90^\circ$  един спрямо друг, като външните изходи са изместени на  $45^\circ$  спрямо изходите на горните отвори. В горния край на корпуса е нарязана стандартна конусна резба за присъединяване към сондажен лост. Устройството се навива към долния край на сондажния лост с който ще се поставя циментовия мост.

Преди нагнетяване на буферната течност и циментовия разтвор се спуска циментационната запушалка, която стъпва на конусното седло, като по този начин прикрива централния отвор на устройството, **Фиг. VII.4**.



**Фигура VII.4. Принципна схема за поставяне на циментов мост, по [32]**

Постъпващите през канала на сондажния лост флуиди, преминават през двете групи отвори. Струите от долната група отвори са тангенциални по отношение на корпуса на устройството, а горните са с радиална посока. Срецайки се в задтръбното пространство те предизвикват турбулизиране на потока в близост до устройството. Така потока на циментовия разтвор не е насочен аксиално надолу. По този начин в голяма степен се премахва една от важните причини за образуване на значителни зони на смесване. Турбулизирането на потока около устройството води до обхващане на цялата зона на бъдещия циментов мост, като по този начин се осигурява пълно заместване на промивната течност.

#### VII.4. Основни изводи

1. Въз основа на направения анализ е предложена и разработена нова конструкция на тръборезно устройство ТУ-1, предназначено за изрязване на обсадни колони с диаметър 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" при провеждане на ремонтни работи или операции по ликвидиране на газови сондажи.

2. Разработена е методика за проектиране на процеса на прорязване като са получени зависимости чрез които се определят основните режимни параметри при работа с тръборезното устройство.

3. Извършени са примерни пресмятания за определяне на стойността на максималната сила на рязане за видовете марки стомана от които се изработват обсадните колони.

4. Предложено е оптимизиране на технологията за поставяне на циментови мостове по метода на заместването при провеждане на операции по ликвидиране на газови сондажи, базираща се на използване на устройството УПЦМС, разработено в катедра "Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ".

#### VIII. Икономически анализ

Икономическите ефекти от практическото приложение на разработените и усъвършенстваните технически средства и технологии, представени в дисертационния труд могат да бъдат както директни, така и индиректни. Освен това някои от тях нямат количествено измерение или трудно се оценяват, поради което икономическия анализ има относително субективен характер.

На базата на използваната методика "benefit/cost analysis" (анализ на разходите и ползите), в дисертационния труд е направен сравнителен количествен икономически анализ, по отношение на стойността за извършване на операция по изрязване на участък от експлоатационна обсадна колона в два варианта, **I вариант**-чрез наемане на външна сервисна фирма и **II вариант**-чрез използване на разработеното тръборезно устройство ТУ-1, представен в **Таблица VIII.1**.

Таблица VIII. 1

Сравнение на разходите за изрязване на участък от обсадна колона		
Вид на разходите	Разходи за операцията при наемане на външна фирма,[USD]	Разходи за операцията при използване на ТУ-1 [USD]
	<b>Вариант I</b>	<b>Вариант II</b>
Мобилизация	700 – 2400	250 \$
Транспортни разходи	6 \$ /kg, 160 kg – 960 \$	130 \$
Готовност за действие	30 – 40 \$ /ден	-
Активни операции - 2 дни	300 – 350 \$ /ден	-
Разходи за персонал	1500–1800\$ /човекоден	50 \$ /човекоден
Демобилизация	500 -1000 \$	180 \$
Общо разходи	8790 – 12300 \$	760 \$

От направения анализ се налага извода, че разходите за провеждане на операция при използване на **вариант II** са от 11,5 до 16,2 пъти по-ниски в сравнение с **вариант I**.

## **Заклучение и приноси в дисертационния труд**

### **Заклучение**

В съответствие със задачите, поставени в дисертационния труд:

1. Изследвани са и са анализирани проведените изследователски, ремонтни и ликвидационни работи в сондажите от ПГХ-Чирен и газовите находища - Българево, Бутан и Ъглен. На базата на направения анализ са направени следните изводи:

- В ПГХ-Чирен е проведен значителен обем изследователски работи, целящи изясняване на текущото техническо състояние на сондажите и продуктивната им характеристика. В резултат от проведените ремонтно-възстановителни работи в условия на ниски пластови налягания, основната част от експлоатационно-нагнетателния фонд е съоръжена за пакерна експлоатация, с което се увеличава периода на неговата експлоатация. Най-сложните ремонтни работи, свързани с ликвидация на сондажите са извършени от специализирани фирми, прилагащи съвременни технически средства и технологии при провеждане на тези операции;
- В газовите находища Българево, Бутан и Ъглен, провежданите ремонтни и ликвидационни работи, не отговарят на съвременните изисквания за провеждане на такъв тип операции. Вследствие на непроведени или некачествено проведени ликвидационни работи в сондажите на газокондензатното находище Ъглен, съществуват реални предпоставки за възникване на екологични проблеми;
- Отсъства информация за текущото техническо състояние на "напуснатите" и "изоставени" сондажи, в разгледаните обекти и това налага провеждането на допълнителни изследвания и ако е необходимо провеждане на ликвидационни работи чрез прилагане на съвременни технически средства и технологии.

2. Независимо от постигнатите резултати при провеждането на ремонтни и ликвидационни работи в ПГХ-Чирен са установени значителни възможности за усъвършенстване на използваните технологии и техническите средства. За целта са разработени и предложени методика, технология и технически средства за провеждане на съвместни газохидродинамични и сондажно-геофизични изследвания. Предложената схема за съвместни изследвания се реализира непосредствено на устието на сондажа, всички получавани параметри са в реално време, с което се увеличават ефективността на изследванията и точността на получаваните резултати от изследването. Чрез технологията за съвместни изследвания се получава следната информация, необходима за проектиране и оценяване на ефективността от провежданите ремонтно-възстановителни и интензификационни работи в сондажите:

- Обработката на резултатите от газо-хидродинамичните изследвания позволява да бъде определена продуктивната характеристика на сондажите преди и след проведените ремонтно-възстановителни и интензификационни работи;
- Съвместните газо-хидродинамични, сондажно-геофизични и дебитометрични изследвания дават информация за дебелината на работещите интервали и хипсометричното им положение в рамките на перфорираните интервали, което е от съществено значение за проектиране на интензификационните работи;
- При провежданите изследванията се установява възможното предвижване на водогазовия контакт (конусообразуване) при различни работни депресии в сондажите и се установяват възможните оводнени интервали, а с това и възможността за провеждане на целенасочени изолационни работи;
- Чрез проведените съвместни изследвания могат да се направят изводи за местоположението и динамиката на образуване на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на сондажите. Тези пясъчно-глинести натрупвания са една от най-съществените причини за намаляване на продуктивните възможности на сондажите при добив и нагнетяване. Тяхното ефективно премахване е основна цел на провежданите ремонтно-възстановителни работи в сондажите от газохранилището.

3. От направените теоретични и промишлени изследвания в някои от сондажите на ПГХ-Чирен са установени определени закономерности в процесите на промиване на пясъчно-глинестите натрупвания на забоя на сондажите. В частност, чрез прилагане на затворена схема за промиване на сондажите, при ликвидиране на пясъчни натрупвания и при контролирано изменение на диференциалното налягане в системата сондаж-пласт от репресия към депресия е изследвано изменението на механичната скорост на разрушаване на натрупванията. На базата на получените резултати са правени изводи че:

- Изменението на диференциалното налягане в системата сондаж-пласт от репресия към депресия води до увеличаване на механичната скорост на разрушаване на пясъчните натрупвания на забоя на сондажите;
- При снижаване на репресионното диференциално налягане се намаляват загубите на пенообразуваща течност;
- Като цяло при затворената схема на промиване се съкращава времето за провеждане на операцията.

Въз основа на направените изводи е усъвършенствана технологията за ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на газови сондажи в условия на ниски пластови налягания и е предложена методика за проектиране на операцията.



4. Разработено е изваждаемо устройство (клапан) за секционна и цялостно изпитване на херметичност на колона от помпено-компресорни тръби при провеждането на ремонтни работи, свързани с тяхната подмяна или подмяна на забойното оборудване, поместено в тях. При разработването на изваждаемостта устройство са отстранени редица недостатъци на съществуващите технически средства за опресване на колони от ПКТ. Устройство се характеризира със следните предимства:

- Простота на конструкцията и възможност за унифициране. При различните типоразмери на колоните от ПКТ може да се използва един и същ типоразмер на водача на клапана и същинския клапан;
- Възможност за многократно използване при хидравлично изпитване на колони от ПКТ в газови сондажи;
- Незначителни усилия при изваждане на клапана, чрез овершот.

5. Разработено е тръборезно устройство ТУ-1 с хидромеханичен принцип на действие и област на приложение - провеждане на ликвидационни работи в газови сондажи. За разработеното устройство са определени:

- Параметрите на рязане и необходимата задвижваща мощност;
- Основните режимни параметри при работа – честота на въртене, осово натоварване и работен дебит и налягане.

Устройство е предназначено за изрязване на определени участъци от 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" обсадни колони, над зоната на установена нехерметичност в задколонното пространство. Целта е да се изреже част от колоната и цимента зад нея и в тази зона да се проведе операция по циментиране под налягане, като по този начин надеждно се изолира зоната на нехерметичност.

Предложено е оптимизиране на технологията за поставяне на циментови мостове по метода на заместването при провеждане на операции по ликвидиране на газови сондажи.

## **Приноси в дисертационния труд**

В резултат от работата по дисертацията, автора е направил следните приноси:

**1.** Систематизирани са и подробно са анализирани основните видове технологии, прилагани при ремонтно-възстановителните и ликвидационни работи в газови сондажи. Определени са основни елементи от използваните технологии и технически средства, които следва да бъдат проучени, изследвани и усъвършенствани в съответствие със специфичните особености на обектите в които те намират приложение.

**2.** Обобщени и анализирани са данни от проведени ремонтни и ликвидационни работи в подземното газохранилище Чирен и газовите находища Българево, Бутан и Ъглен. Установено е, че в своята значителна част прилаганите в тези обекти технологии и технически средства и изследвания за:

- определяне на продуктивната характеристика на сондажите и нейното изменение при провеждането на ремонтните работи;
- ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания в сондажите;
- възстановяване на херметичността на междутръбните пространства в сондажите;
- идентифициране на техническото състояние на използваните при провеждане на ремонтни работи и при нормална експлоатация на колони от помпено-компресорни тръби;

не съответстват на най-съвременните технически и технологични изисквания или са свързани със значителни финансови разходи.

**3.** Въз основа на направените проучвания, аналитични, технически и технологични обобщения, изводи и конструктивни разработки, са предложени нови и/или усъвършенствани съществуващи методики, технически средства и елементи на технологии, свързани с:

- оценка на техническото състояние на газови сондажи и изменението на продуктивната им характеристика чрез провеждане на съвместни газо-хидродинамични и сондажно-геофизични изследвания;
- ликвидиране на пясъчно-глинести натрупвания на забоя на газови сондажи в условия на ниски пластове налягания;
- установяване нехерметичности в колоните от ПКТ;
- провеждане на прорязващи и циментационни операции, свързани с ликвидационни работи в газови сондажи.

**4.** Конкретните научно-приложни и приложни приноси са свързани с:

**4.1.** Изследване, разработване и внедряване на усъвършенствана технология и технически средства за съвместни газо-хидродинамични и сондажно-геофизични изследвания за проектиране на ремонтно-възстановителни и интензификационни работи в сондажите от ПГХ-Чирен и оценка на ефективността от тяхното провеждане.

**4.2.** Теоретично и практическо изследване на динамиката на разрушаване на пясъчно-глинести натрупвания в сондажите на ПГХ- Чирен, предложение и внедряване на усъвършенствана технология за ликвидиране на тези натрупвания. Технологията е успешно внедрена в практиката на провеждане на ремонтни работи в газохранилището.

**4.3.** Конструктивно е обоснована, разработена и експериментално опробвана принципно нова конструкция на изваждаемо устройство (клапан) за секционен и цялостен изпитване на херметичност на колона от помпено-компресорни тръби, при провеждане на ремонтни работи в газови сондажи. Разработеното устройство е експериментирано при опресване на 2 1/2" колона от ПКТ, след провеждане на ремонтни работи в сондаж Е-42 находище Долни Луковит.

**4.4.** Конструктивно е обоснована, разработена и експериментално внедрена конструкция на устройство с хидромеханичен принцип на действие за изрязване на участъци от 5 1/2" обсадни колони с цел поставяне на циментови мостове при провеждане на ликвидационни работи в газови сондажи. Получени са зависимости, чрез които може да се определи ефективен технологичен режим на работа на устройството.

**4.5.** Предложена е усъвършенствана технология за провеждане на ремонтни и/или ликвидационни работи в газови сондажи, базираща се на съвместното използване на разработеното в дисертационната работа устройство за прорязване на обсадни колони и устройство за поставяне на циментови мостове.

## Публикации към дисертационния труд

1. **Кулев Р.К.** Технология и технически средства за провеждане на газодинамични изследвания на сондажите от ПГХ-Чирен., Годишник на МГУ “Св. Ив. Рилски“, Том 45, Св.І, Геология, 2002.
2. **Тагиров К.М., Долгов С.В., Пуля Ю.А., Кулев Р.К.** Зависимост на скоростта на разрушаване на пясъчно-глинести натрупвания от диференциалното налягане в системата сондаж-пласт., Геология и минерални ресурси, 2003, брой 2.
3. **Кулев Р.К.** Разработване на устройство за хидравлично изпитване на колони от помпено-компресорни тръби в газови и нефтени сондажи., Годишник на МГУ “Св. Ив. Рилски“, Том 54, Св.І, Геология и геофизика, 2011.
4. **Кулев Р.К., Георгиев А.** Устройство и технология за изрязване на участъци от обсадни колони при ликвидация на газови сондажи., Геология и минерални ресурси, 2012, брой 3.