

МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ "СВ.ИВАН РИЛСКИ"

МИННОЕЛЕКТРОМЕХАНИЧЕН ФАКУЛТЕТ

маг. инж. Добромир Николаев Нецов

Изследване на технико – експлоатационните параметри на сонди с въртливо пробиване

АВТОРЕФЕРАТ

**на дисертация
за получаване на образователна и научна степен "ДОКТОР"**

**Специалност: "Механизация на мините"
Професионално направление: 5.8 "Проучване добив и обработка на полезни изкопаеми"**

**Научни ръководители: доц. д-р Иван Стефанов Минин;
доц. д-р инж. Димитър Василев Димитров**

София, 2023 г.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на разширен катедрен съвет на катедра „Механизация на мините“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“- София на 27.02.2023 г. Дисертацията е разработена в катедра „Механизация на мините“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, а експерименталните изследвания са проведени по производствени данни на „Проучване и добив на нефт и газ“ – АД и МГУ „Св. Иван Рилски“.

Защитата на Дисертационния труд ще се състои на 20.06.2023 г. от 11:00 часа в зала 220 на Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София, на открито заседание на.....

Материалите по защитата (дисертация и рецензии) са на разположение на интересующите се в канцеларията на сектор СДК при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“ - София.

Адрес: МГУ „Св. Иван Рилски“,
София 1000,
Студентски град,
Ректорат, ет. 3, стая № 79
тел. 02/ 80 60 209.

Автор: маг. инж. Добромир Николаев Нецов

Заглавие: Изследване на технико - експлоатационните параметри на сонди с въртеливо пробиване

Тираж 20 броя.

Издателска къща „Св. Иван Рилски“ при МГУ - София

СЪДЪРЖАНИЕ

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	4
Глава I. Анализ на съвременното техническо ниво на сондите с въртливо пробиване.....	5
Глава II. Цел и задачи на дисертационния труд.....	5
Глава III. Линеен структурен деформационно-напреженов FE анализ на CAD-CAE модел на скало-разрушаващ инструмент при въртливо пробиване.....	8
1. Особенности на обекта на изследване.....	8
2. Основни елементи.....	8
3. Цел на компютърното изследване.....	8
4. Същност и особености на методиката за провеждане на симулационното компютърно изследване..	9
5. Компютърно моделиране на триизмерен CAD-модел CAD-модел на триролково длето ВН GX – 20Н.....	9
6. Гранични условия и работни режими за провеждане на структурния МКЕ анализ.....	9
7. Гранични условия и натоварване на САЕ-модела в програмната среда на Autodesk Inventor.....	10
8. Резултати и обобщение на деформационно-напреженовия анализ.....	10
9. Изводи от симулационния анализ.....	13
Глава IV. Изследване на надеждността на сонда AC Ideal 71 и износването на скало-разрушаващите инструменти при въртливо пробиване.....	14
1. Изследване на надеждността на сонда AC Ideal 71.....	14
2. Износване на скало-разрушаващите инструменти при въртливо пробиване.....	22
3. Изводи.....	24
Глава V. Обзор, методология и експлоатационна приложимост на сонда AC Ideal 71 за интензификационни работи.....	24
1. Методи и технологии за прокарване на отклонения от обсадени интервали на съществуващи сондажи.....	24
2. Технически средства.....	24
3. Сравнителен анализ на методите и техническите средства.....	24
4. Профили на отклонения.....	25
5. Класификации на отклоненията.....	25
6. Укрепване на отклонения.....	26
7. Състояние и перспективи за прокарване на отклонения за нефт и газ в България.....	27
8. Модел на изследователския процес.....	28
9. Последователност на операциите.....	30
10. Постановка за прокарване на отклоненията.....	30
11. Техничко-технологичен процес и изчисления.....	31
12. Изводи.....	33
Глава VI. Приноси, публикации и бъдещи задачи.....	34
1. Научно-приложни приноси.....	34
2. Приложни приноси.....	34
3. Перспективи и направления за бъдещи изследвания.....	35
4. Списък с публикации.....	35
Справка за съответствие с минималните национални и институционални изисквания по групи ...	36
Литература.....	37

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Цел на дисертационния труд

Целта на настоящият труд е изследване на технико-експлоатационните параметри на сондова апаратура AC Ideal и извеждане на подходящи решения за техническо състояние на основните възли и технологично приложение за интензификационни операции.

Актуалност

Проучването и експлоатацията на находищата на въглеродороди се извършва в усложнени условия. Значителна част от проучваните площи са отдалечени, във водни басейни, на десетки километри от сушата и в инфраструктурно неразвити райони. Голяма част от съвременните находища са с намаляващ добив. Международната икономическа и политическа обстановка е силно динамична, трудно прогнозируема за дълъг период от време, което води до пикови етапи в ценообразуването.

Това обуславя задълбочено изследване на техническите средства за проучване, в частност сондите с въртеливо пробиване, познаване в детайли на техните възли, съоръжения и инструменти с цел подобряване на ефективността на сондажния процес и надеждността им при работа.

Практическа приложимост

Въз основа на изследванията са получени данни, които могат да се използват при изследването и оптимизирането на подобен тип сондови апаратури и скало-разрушаващи инструменти с оглед увеличаването на техническата и икономическата им ефективност.

Разработена и приложена е методика за симулационно компютърно изследване на 3D модел на скало-разрушаващ инструмент (триролково длето).

Разработен е изследователски модел за изследване и избор на подходящи находища и сондажи за прокарване на отклонения във връзка с повишаване на флуидоизвличането.

Научна новост

Въз основа на извършен анализ на състоянието и перспективите за прокарване на отклонения в съществуващи сондажи в България е предложен нов изследователски модел с критерии за избор на подходящи обекти.

Въз основа на производствени данни са изведени нови аналитични зависимости за функцията на надеждността на сондова апаратура AC Ideal.

Изведени е нов статистически модел на износване на скало-разрушаващи инструменти в зависимост от основните им параметри на работа.

Апробация

Настоящата работа е извършена в периода 2018 – 2023 г. Полевите резултати и данни са взети от работата на сондовата апаратура на различни обекти в Северна България. Компютърните изследвания и обработката на резултатите са извършени в МГУ „Св. Иван Рилски“- гр. София.

Одобряване на работата

Работата е докладвана на етапи и като цяло на заседания на катедра „Механизация на мините“ при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“- София.

Публикуване

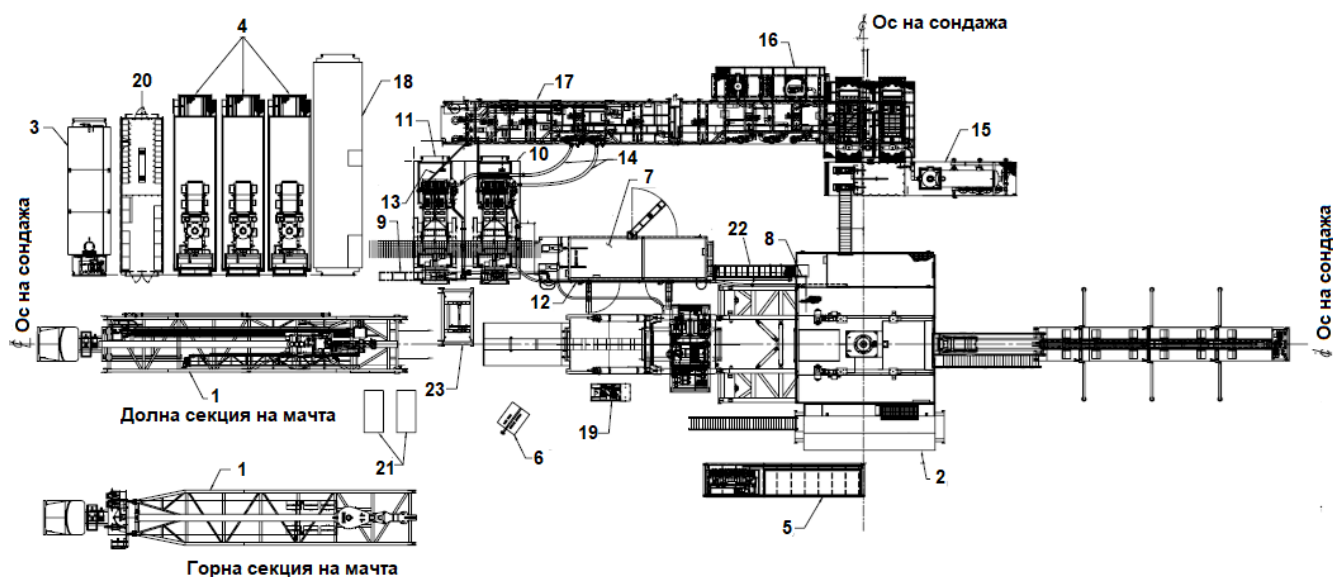
Основните резултати от дисертационния труд са представени в показни 6 публикации.

Структура и обем на работата

Дисертационният труд е в обем 153 страници, съдържащ текст, 112 фигури, 35 таблици, списък с използваните литературни източници и сайтове и ... приложения в обем от ... страници, съдържащи ... фигури.

Глава I. Анализ на съвременното техническо ниво на сондите с въртливо пробиване

Сондите с въртливо сондиране са комплекси от машини, агрегати и съоръжения, предназначени за прокарване на проучвателни и експлоатационни сондажи. Техните задачи се състоят в успешно прокарване, обсаждане и циментиране на сондажите, които, освен бъдещата работа, трябва да са подходящи за провеждане на различни изследвания, измервания и тестове (Фиг.1.1).



Фиг.1.1. Общ изглед на сонда с въртливо пробиване

Съоръженията на схемата са следните:

1 – Мачта (кула); 2 – Основание; 3 – Дизелов резервоар; 4 – Генератори; 5 – Клетка за отпадни материали; 6 – Пулт за изправяне/сваляне на мачтата; 7 – Резервоар за техническа вода; 8 – Водач за позициониране на воден резервоар; 9 – Пакет ел.кабели за промивни помпи; 10 – Промивна помпа №1; 11 – Промивна помпа №2; 12 – Манифолд на циркуляционна система; 13 – Линия за освобождаване на високо налягане; 14 – Смукателни линии на промивни помпи; 15 – Блок на резервоар за доливане и атмосферен дегазатор; 16 – Вибросита; 17 – Смукателни клетки на работни резервоари; 18 – Промениливо-честотно задвижваща станция; 19 – Главна хидравлична станция; 20 – Работилница; 21 – Стойки за горна секция на мачта; 22 - Главен пакет ел.кабели; 23 – Барабан за резервно сондажно въже.

Следва да се отбележи, че в литературата липсва информация относно надеждността на сондовите апаратури във времето след извършен определен обем работа в специфичните условия, а износването на скало-разрушаващите инструменти много често се свежда до архив за отработка и работа на базата на натрупания опит за конкретен район. Не на последно място, прокарването на отклонения в съществуващи сондажи е важно приложение на тези машини за интензификация на разработката на находищата на въглеводороди.

Глава II. Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на настоящата дисертационна работа е чрез изследване на технико-експлоатационните параметри на сондова апаратура AC Ideal 71 да се предложат подходящи технико-технологични решения за техническо състояние на основните възли и технологично приложение за интензификационни операции.

В изпълнение на поставената цел са формулирани следните основни задачи:

1. Деформационно-напряженов анализ на отработен скало-разрушаващ инструмент (ролково длето) с цел визуализация на възникващите максимални напрежения и деформации и подобряване на конструктивните характеристики;

2. Изследване на надеждността на сондовата апаратура след определен експлоатационен период и брой откази на основните възли за добиване на информация относно настоящата ѝ пригодност;
3. Статистическа обработка на резултатите от износване на скало-разрушаващите инструменти и извеждане на резултати за подобряване на режимите им на работа;
4. Анализ на приложимостта на сондовата апаратура за интензификационни работи по отношение съвременни съоръжения, технологии и състояние на сферата в България;
5. Разработване на модел на изследователския процес, отразяващ същността и логичната последователност на технологичните изследвания и представляващ тяхна методологична база;
6. Формулиране на критериални показатели и обосновка на тяхната функционална същност при избора на перспективни обекти (находища и сондажи) за целите на изследването;
7. Избор на подходящи находища и сондажи и технологични изчисления на отделните операции.

За онагледяване на поставените задачи и достигане на поставената цел е представена Фиг.

2.1.



Фиг.2.1. Блок-схема на изпълнение

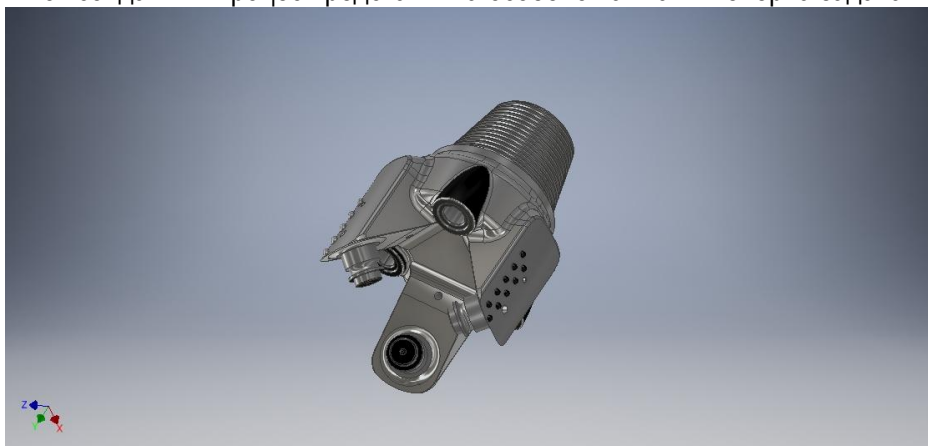
Глава III. Линеен структурен деформационно-напреженов FE анализ на CAD-CAE модел на скало-разрушаващ инструмент при въртливо пробиване

1. Особенности на обекта на изследване

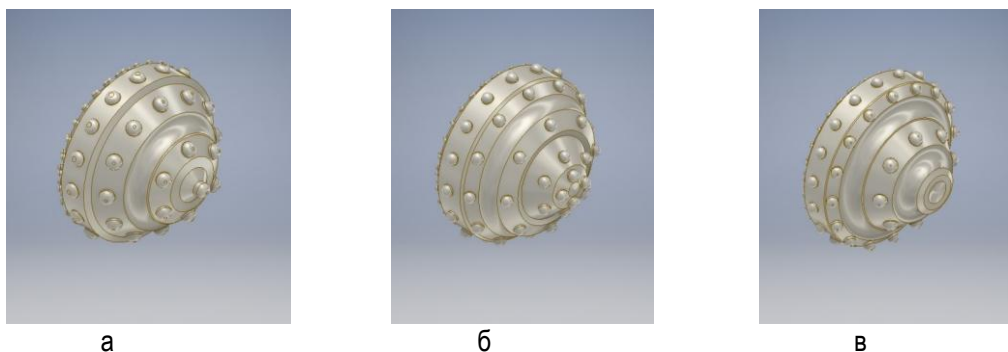
В следващото изложение е представен структурен анализ на скало-разрушаващ инструмент по време на работа (триролково длето, тип GX-20H, производство на Baker Hughes). Показана е възможността чрез симулационно компютърно изследване на 3D-CAD модел и CAE – анализ да се получат стойностите и разпределението на деформациите и напреженията.

2. Основни елементи

Определянето на големината и разпределението на деформациите и напреженията в основните елементи от сондажния процес представлява особено важна инженерна задача.



Фиг.3.1. Корпус на триролково длето



Фиг.3.2 а,б,в. Работни елементи – ролки

Анализът на технико - експлоатационните параметри на длетото при съответните условия на работа и производителност обобщава следното:

1. Съществуват предпоставки за провеждане на изследване с цел установяване на причините, които пораждат механични повреди;
2. Целесъобразно е изследването да се осъществи чрез CAD-CAE моделно изследване на действителния обект.
3. Обектът трябва да бъде компютърен параметричен 3D-CAD модел, а работните инструменти - CAE програмни приложения за инженерен анализ чрез програмата Autodesk Inventor;
4. Компютърното изследване да бъде осъществено като линеен структурен анализ на деформационно - напреженовото състояние на обекта при адекватна картина на натоварване и ограничения на степените на свобода за най-тежките възможни работни режими.
5. Да бъде анализирана конструкцията на изследвания обект с цел подобряване на експлоатационния ресурс и намаляване на рисковите предпоставки за механични повреди.

3. Цел на компютърното изследване

Крайна цел на това изследване е чрез инструментите на компютърното приложение на метода на крайните елементи (МКЕ) да се получи разпределението на деформациите и механичните

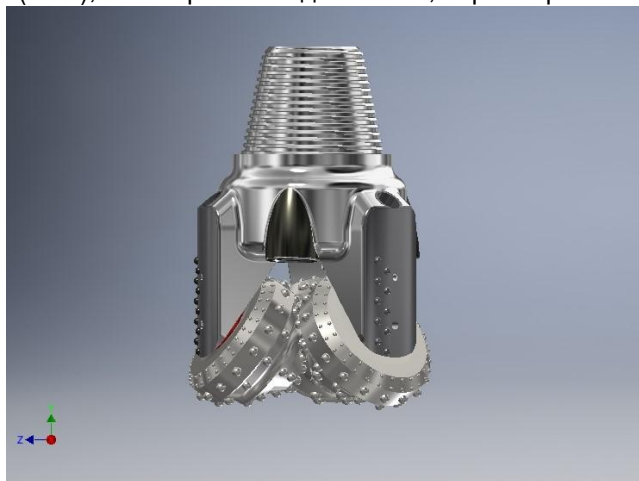
напрежения във всички точки от обекта и, чрез подходящ анализ, да се направят изводи относно възможностите за практическо подобряване на технико-експлоатационните параметри. Основните стъпки за реализиране на тази цел са:

- създаване на тридименсионен CAD – модел на длетото;
- определяне на параметрите на работните режими на изследването;
- избор на подходяща приложна програма за инженерно CAE-изследване;

4. Същност и особености на методиката за провеждане на симулационното компютърно изследване

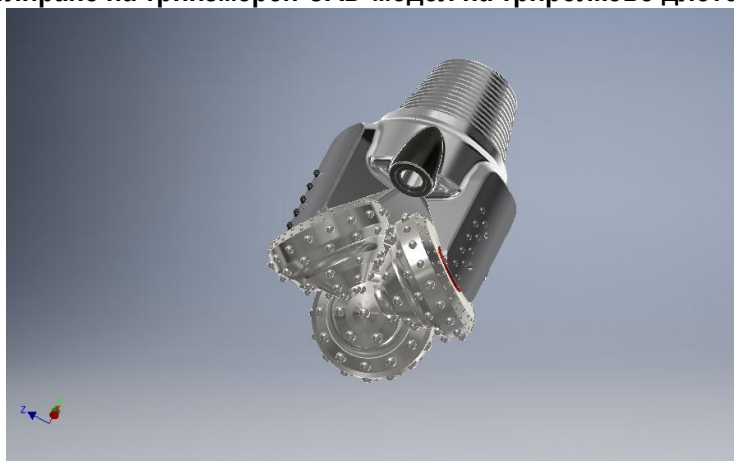
Съдържанието на разглежданата методика може да бъде представено така:

- Избор на обект и създаване на тримерен CAD-модел;
- Експертно и аналитично определяне на екстремалните параметри на натоварване при различни работни режими;
- Избор на програмната система за CAE – анализ, дефиниране на граничните условия (степените на свобода) и натоварването и получаване на графични и числени резултати, които характеризират деформационно-напреженовото състояние на обекта;
- Анализ на резултатите с оглед на разпределението на максималните стойности на напреженията, коефициента на сигурност (FOS), геометрията на детайлите, параметрите на работните режими и др.



Фиг.3.3. Общ изглед на моделираното триролково длето

5. Компютърно моделиране на триизмерен CAD-модел на триролково длето ВН GX – 20Н

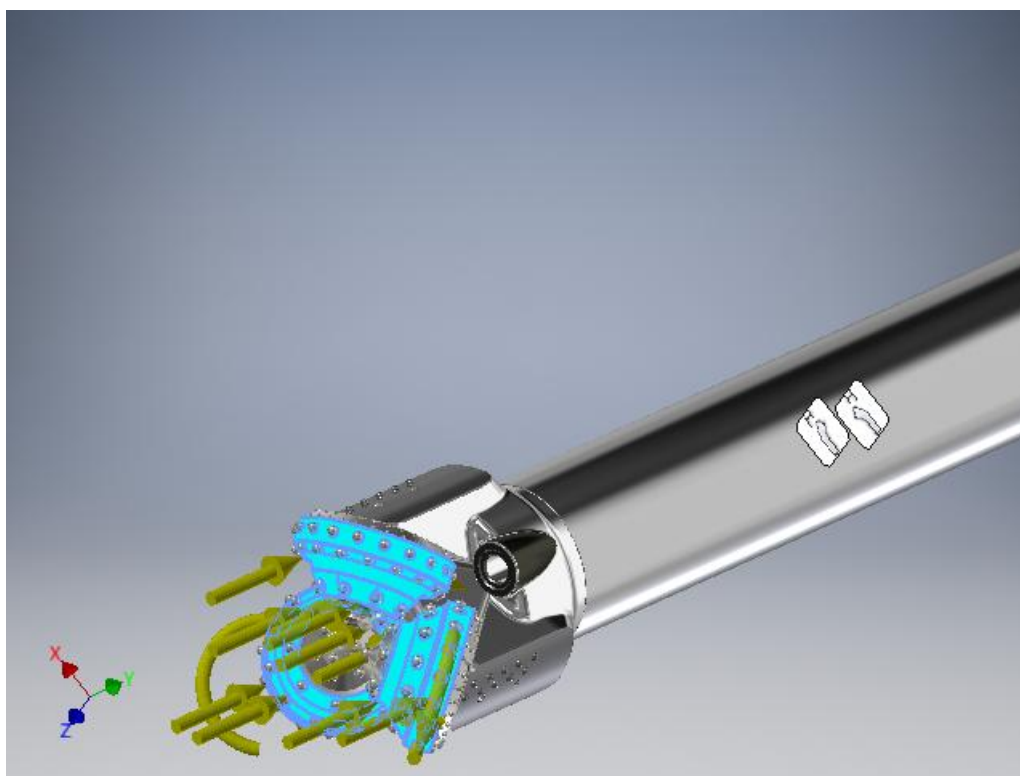


Фиг.3.4. Модел на триролково длето ВН GX – 20Н

6. Гранични условия и работни режими за провеждане на структурния МКЕ анализ

1. Определяне на подходящи работни параметри съобразно конкретните условия на работа;
2. Прецизно параметриране на геометричните модели по форма, метрика и физико-механични константи на материала;

3. Дефиниране на ограниченията на степените на свобода;
 4. Моделиране на режим на работа в граници, препоръчани от производителя;
 5. Структурен анализ на обекта на изследване с цел определяне на големината и разпределението на еквивалентното напрежение и коефициента на експлоатационна сигурност;
 6. Оптимизиране на обекта с цел намаляване до приемливи граници на изчислителните операции.
- 7. Гранични условия и натоварване на CAE-модела в програмната среда на Autodesk Inventor**
1. трите работни ролки осъществяват непосредственото разрушаване на скалата, въртейки се около осите си с помощта на ролкови и сачмен лагери, т.е. работят по контактна повърхност с една степен на свобода в радиално направление поради въртенето на сондажния инструмент и една степен на свобода по вертикала Y;
 2. Осевото натоварване се задава като вертикална разпределена сила с направление, перпендикулярно на равнина (X,Z);
 3. Честотата на въртене влияе чрез цялостното въртене на инструмента, и чрез въртенето на ролките околкo собствените им оси;
 4. Силата на тежестта на длетото е вътрешна, обемна и има приложна точка в масовия му център. Големината и приложната точка се определят автоматично от програмата. Посоката и направлението ѝ е успоредно на равнината (X,Z), към която се задава перпендикулярно направление и стойност на земното ускорение - $g=9.81 \text{ m/s}^2$ (Фиг.3.5);

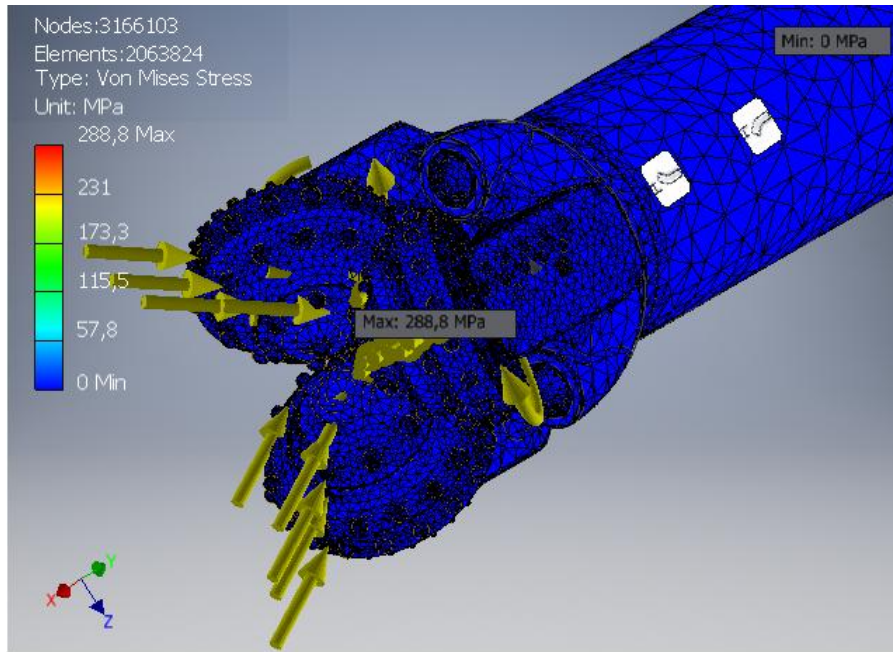


Фиг.3.5. Сили и опори в длетото

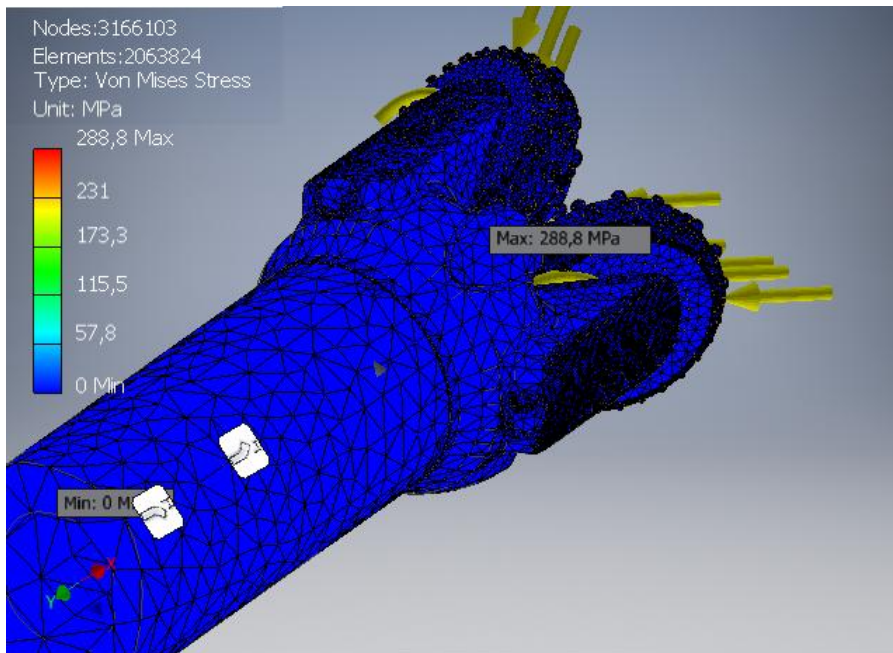
8. Резултати и обобщение на деформационно-напреженовия анализ

Табл.3.1. Резултати от деформационно-напреженовия анализ

Име	Минимум	Максимум
Маса	157,6 kg	
Еквивалентно напрежение	$9,07 \times 10^{-9} \text{ MPa}$	288,8 MPa
Коефициент на сигурност FOS	1,21	15
Деформация	0 mm	0,028 mm

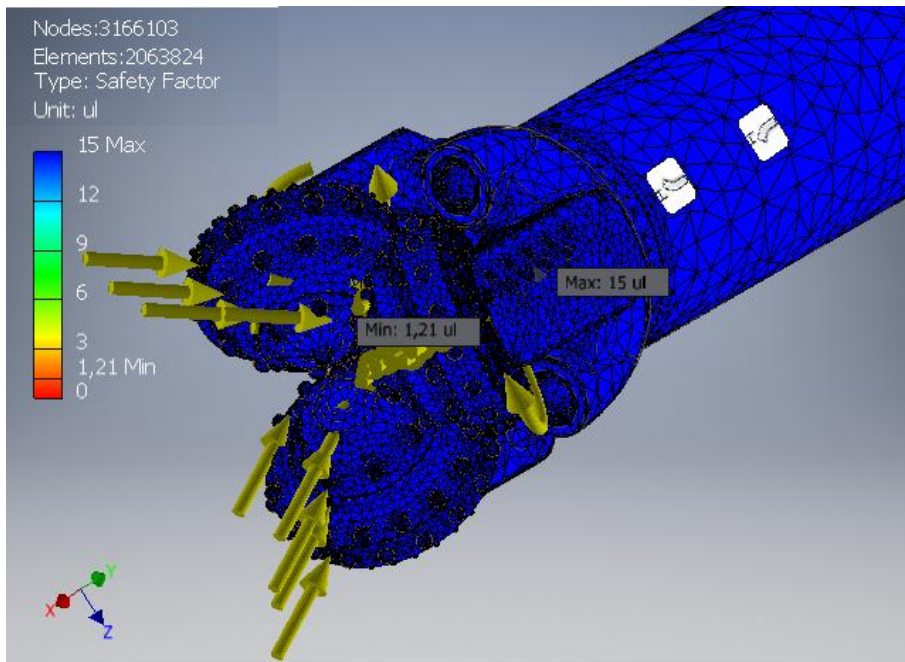


a

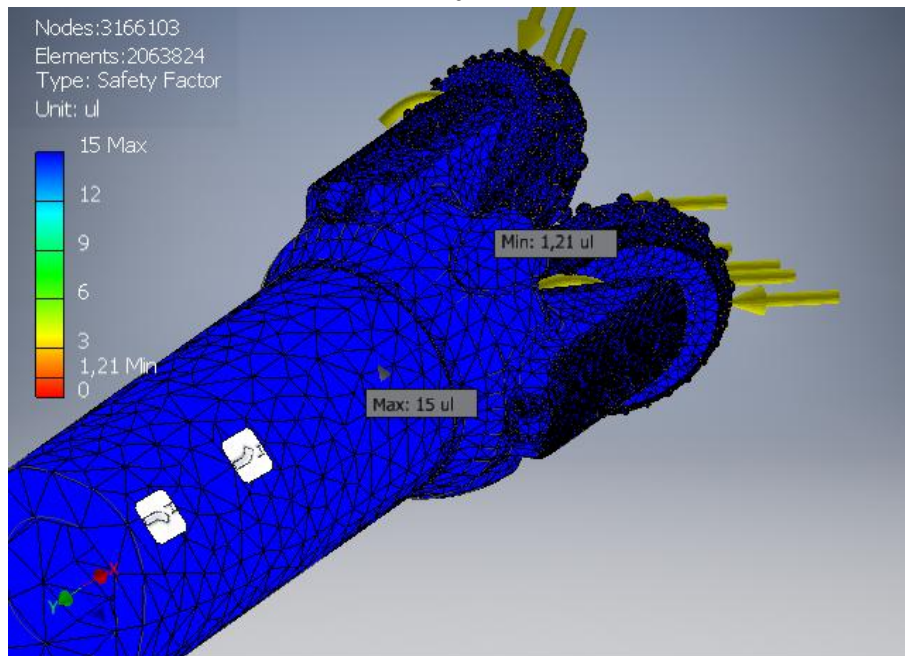


б

Фиг.3.6а,б. Эквивалентно напрежение (von Mises)

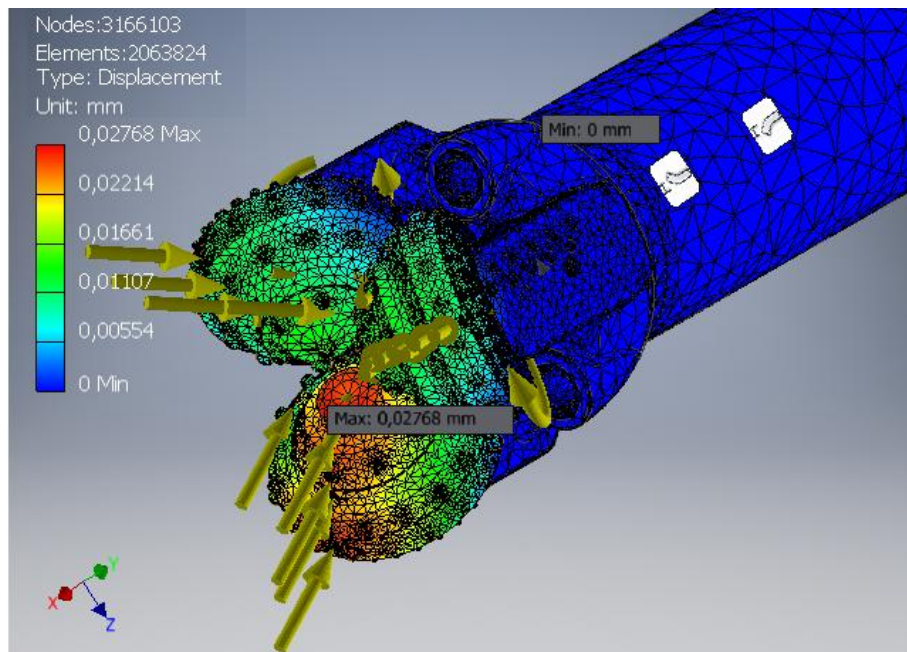


a

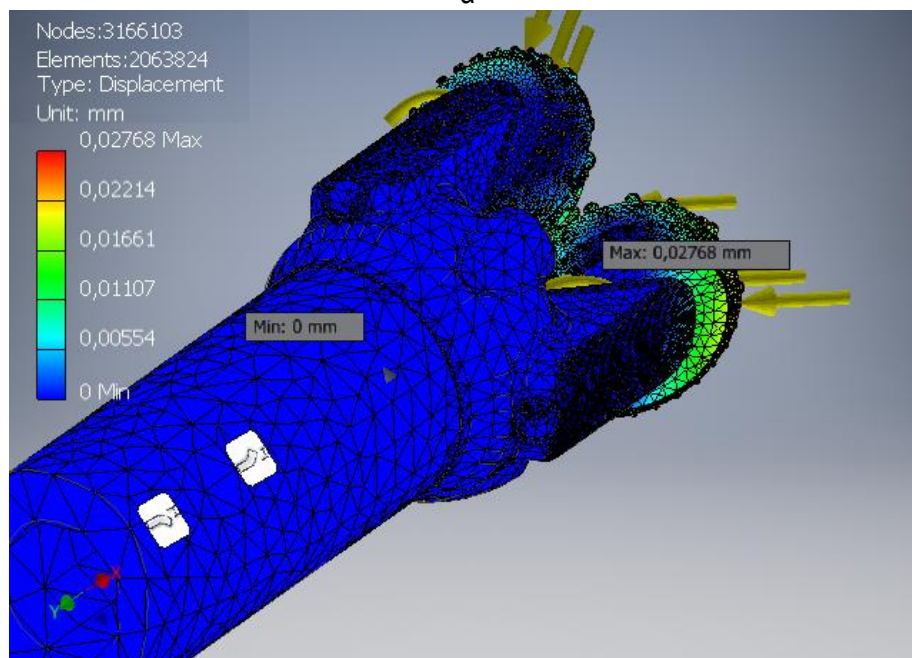


б

Фиг.3.7. Разпределение на коефициента на сигурност



а



б

Фиг.3.8а,б. Разпределение на деформацията

9. Изводи от симулационния анализ

От направения анализ са изведени следните по-важни изводи:

5. Извършен е анализ на възникващите напрежения и деформации при максимален препоръчан режим на сондиране с триролково длето $\varnothing 311,15$ mm, тип ВН GX – 20Н;
6. Локални концентрации на напрежения възникват по работните повърхности на трите ролки;
7. Коефициентът на сигурност (FOS) е в подходящи граници – $1,21 \div 15$;
8. Резултатите, съвместно с извършената работа от конкретното длето в полеви условия, са предпоставка за продължаваща изследователска работа в следните аспекти:
 - изследване на натоварването при преходни работни режими;
 - подобряване на технико-експлоатационните параметри;
 - усъвършенстване на конструкцията на този тип длета.

Глава IV. Изследване на надеждността на сонда AC Ideal 71 и износването на скало-разрушаващите инструменти при въртливо пробиване

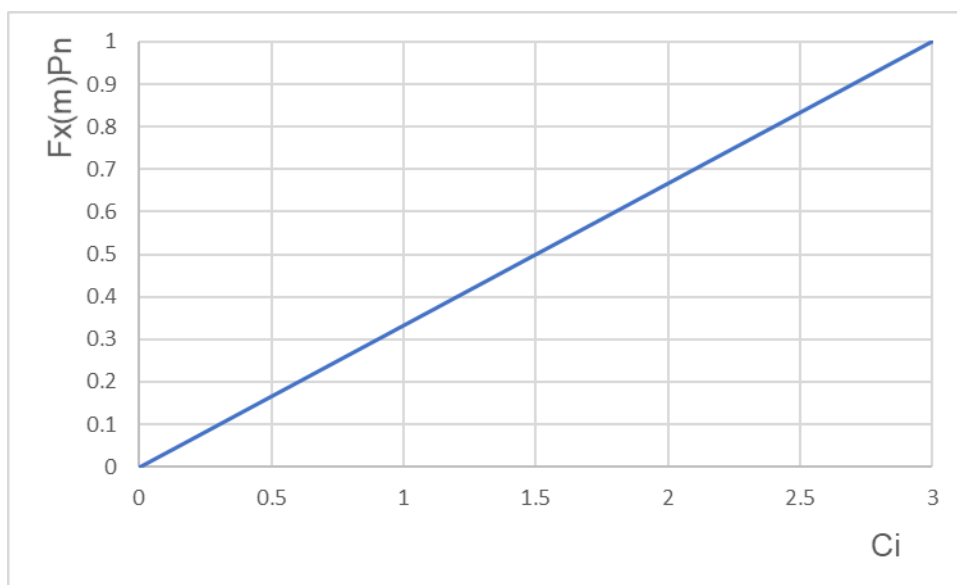
1. Изследване на надеждността на сонда AC Ideal 71

1. 1. Определяне параметрите на експлоатационната сигурност

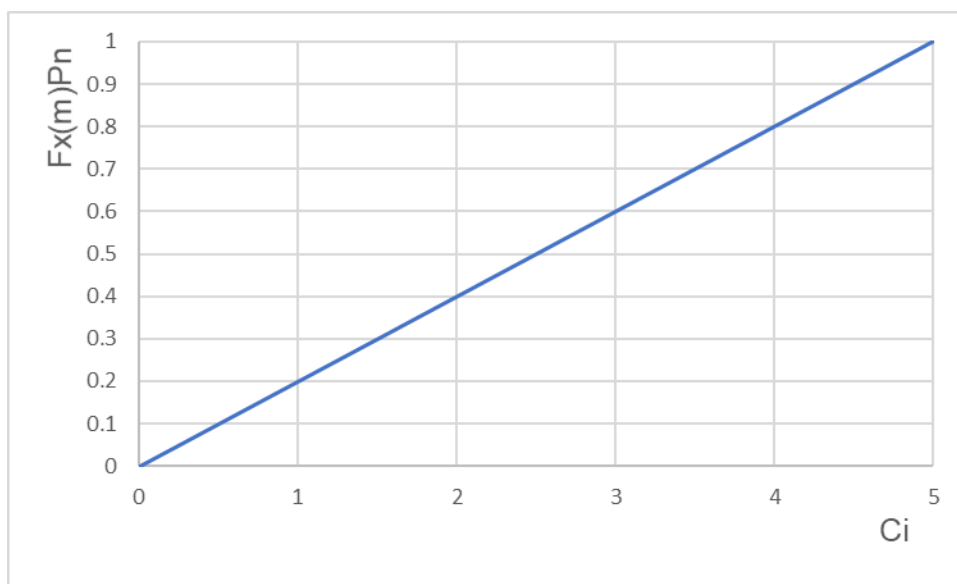
Основните възли на сондова апаратура AC Ideal (Фиг.1.1), водещи до престои (откази) са:

1. сондова кула;
2. дизел-генераторен блок;
3. промивни помпи и циркуляционна система;
4. сондова лебедка и подемна уредба;
5. силова промивна глава;
6. сондажен инструмент.

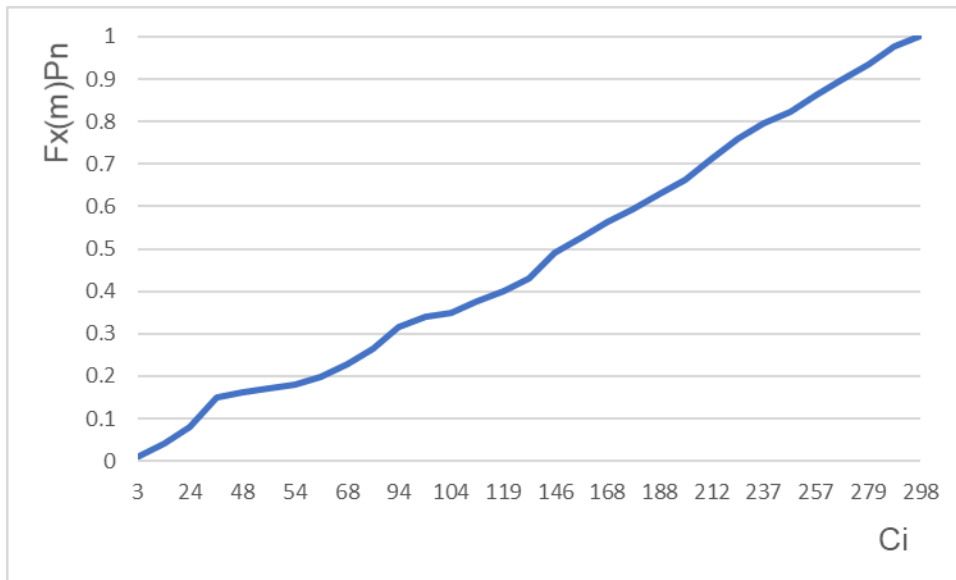
Като основен параметър е избран количеството просондирани метри, което е означено с $m \geq 0$.



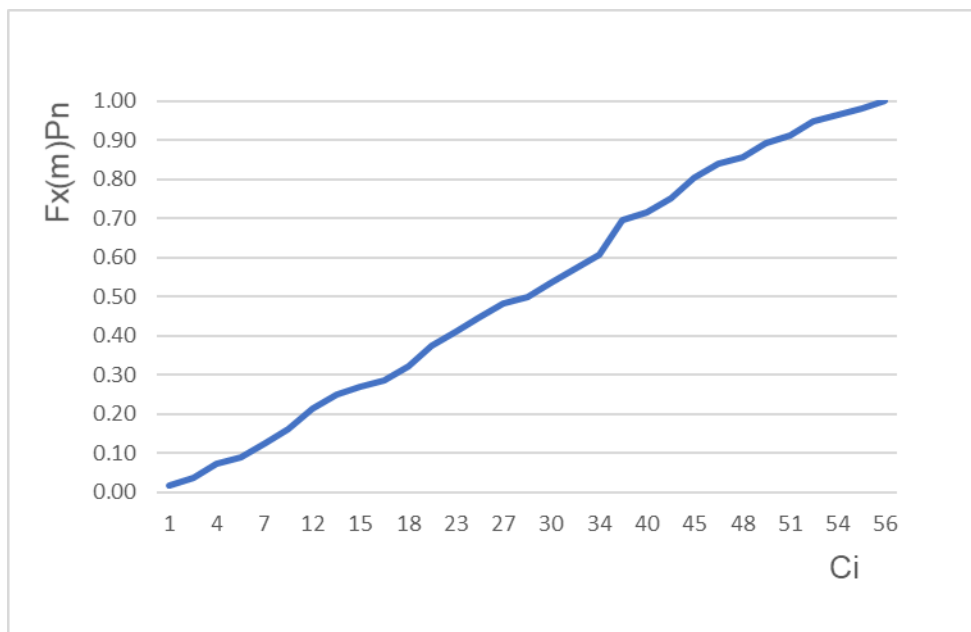
Фиг.4.1. Функция на разпределение на отказите на сондовата кула



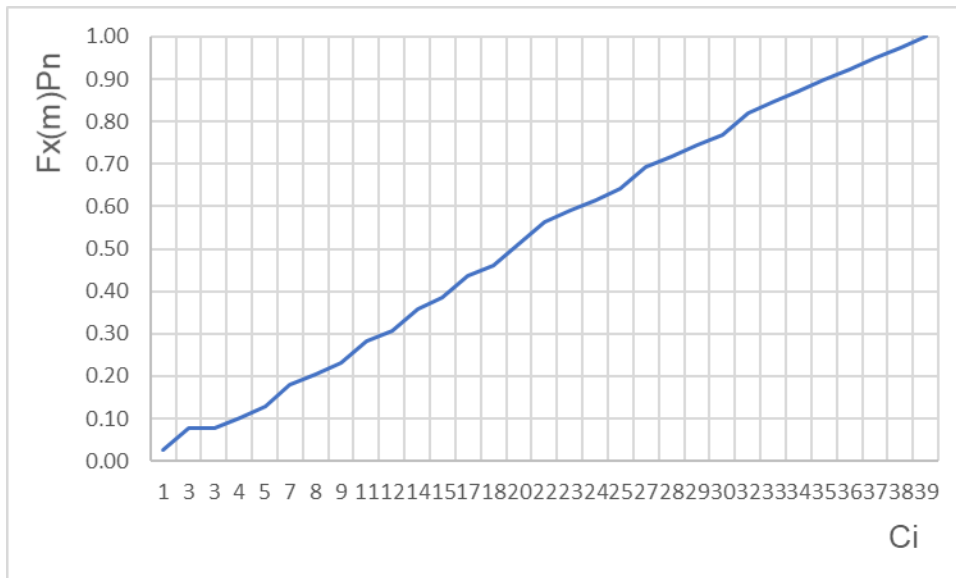
Фиг. 4.2. Функция на разпределение на отказите на дизел-генераторния блок



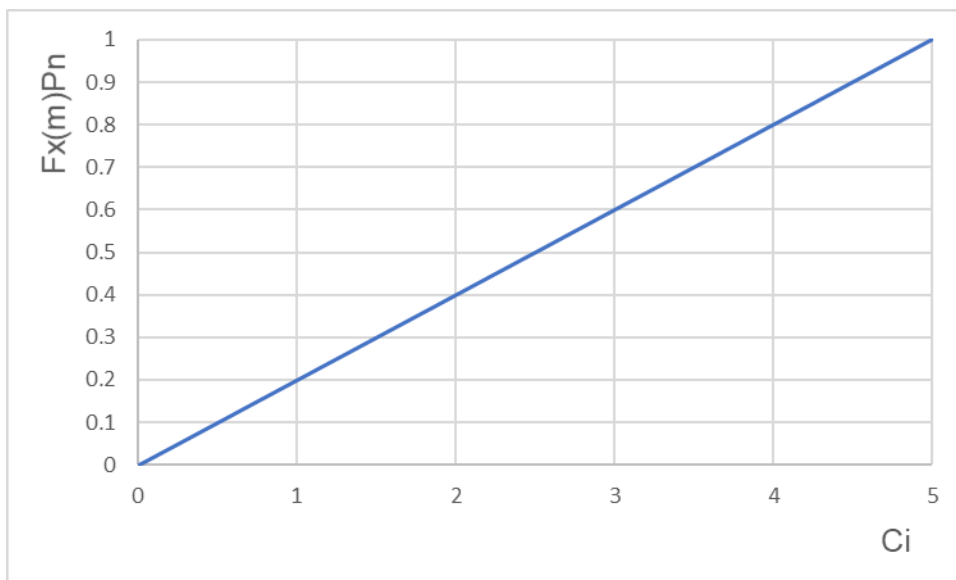
Фиг. 4.3. Функция на разпределение на отказите на промивните помпи и циркуляционната система



Фиг. 4.4. Функция на разпределение на отказите на сондовата лебедка и полиспапната система



Фиг. 4.5. Функция на разпределение на отказите на силовата промивна глава



Фиг. 4.6. Функция на разпределение на отказите на сондажния инструмент

1. 2. Вероятностни параметри и разпределение на отказите

Вероятността за безотказна работа на цялата апаратура за определени просондирани метри се определя от теоремата за умножение на вероятностите:

$$P_t(m) = e^{-m\lambda_1} \cdot e^{-m\lambda_2} \cdot e^{-m\lambda_3} \cdot e^{-m\lambda_4} \cdot e^{-m\lambda_5} \cdot e^{-m\lambda_6} = e^{-m \sum_{k=1}^6 \lambda_k} \quad (4.20)$$

$$P_t(m) = e^{-m[1,9493 \cdot 10^{-4} + 3,249 \cdot 10^{-4} + 0,019365 + 0,0036387 + 0,002534 + 3,249 \cdot 10^{-4}]} = e^{-m(0,02638)} \quad (4.21)$$

Вероятността за безотказна работа при 500 сондирани метри (избрана основна единица на изследване) е равна на:

$$P_{t(500)} = e^{-(0,02638)} = 0,974 \quad (4.22)$$

Вероятността за безотказна работа при 5000 сондирани метри е равна на:

$$P_{t(5000)} = e^{-10(0,02638)} = 0,768 \quad (4.23)$$

Вероятността за безотказна работа при всичките 15 390 метра е равна на:

$$P_{t(15390)} = e^{-30,78(0,02638)} = 0,444 \quad (4.24)$$

Вероятността за безотказна работа на цялата апаратура при средната отработка до отказ за разглежданите възли $\sum_{i=1}^n \bar{X} = 2001,2 m$ е равна на:

$$P_{t(2001.2)} = e^{-4.002(0.02639)} = 0,8998 \quad (4.25)$$

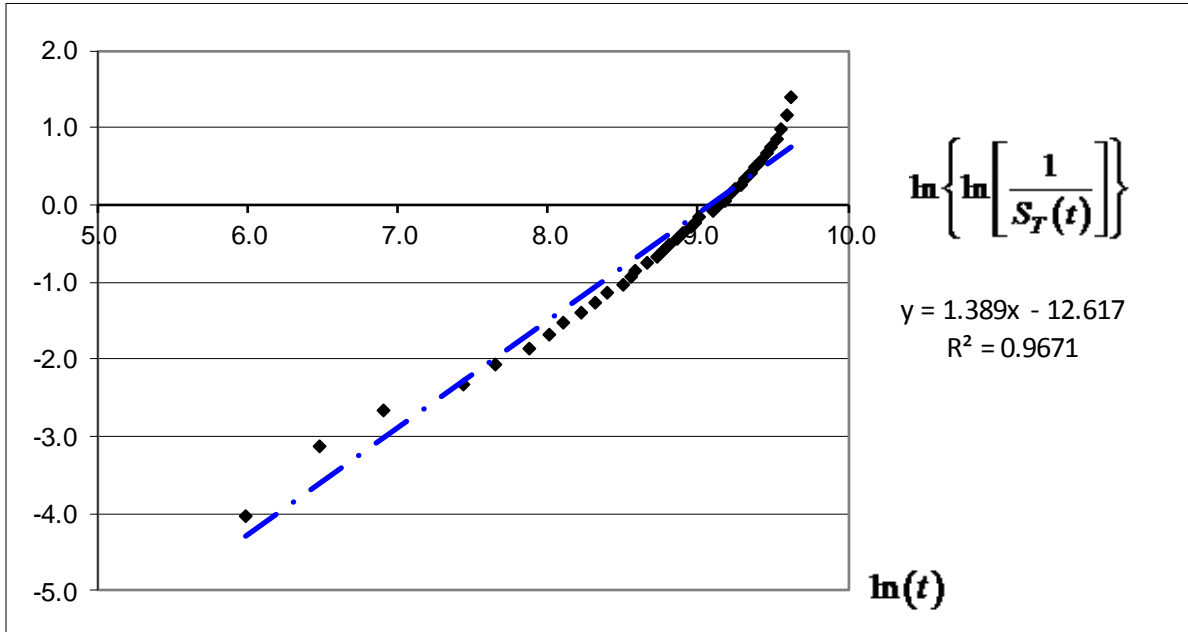
Функцията на разпределение на отказите за цялата апаратура е равна на:

$$F_{x(m)} = 1 - P_{t(m)} = 1 - e^{-\lambda q} \quad (4.26)$$

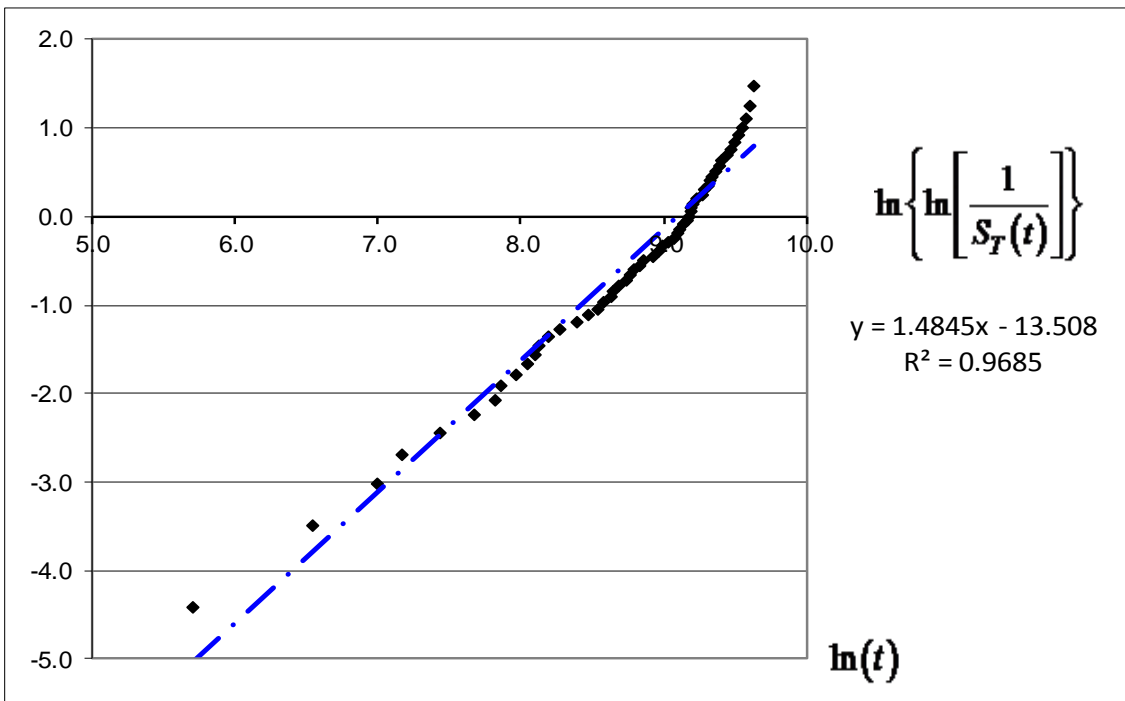
Т.е. за всичките 15 390 сондирани метри за изследвания период е равна на:

$$F_{x(15390)} = 1 - 0,444 = 0,556 \quad (4.27)$$

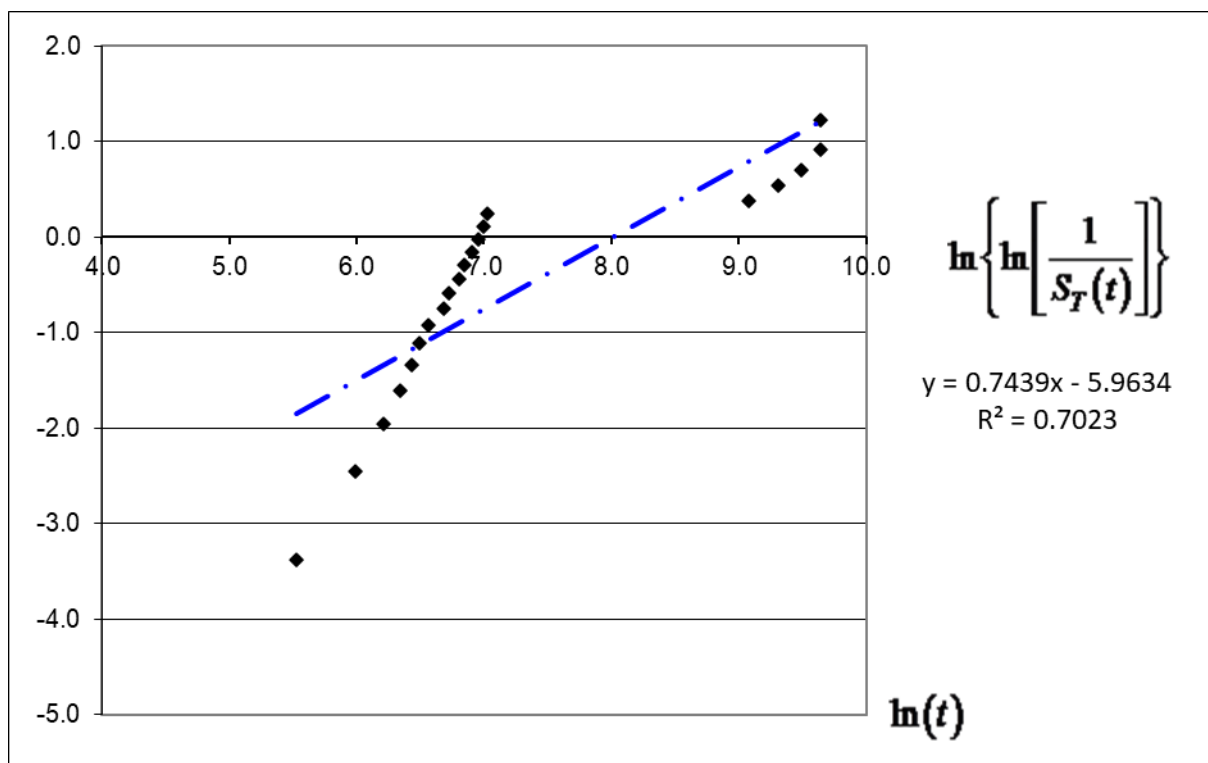
1.3. Изследване на функцията на надеждността с разпределение на Вейбул



Фиг.4.7. Емпирична функция и линейна регресионна зависимост за силовата промивна глава

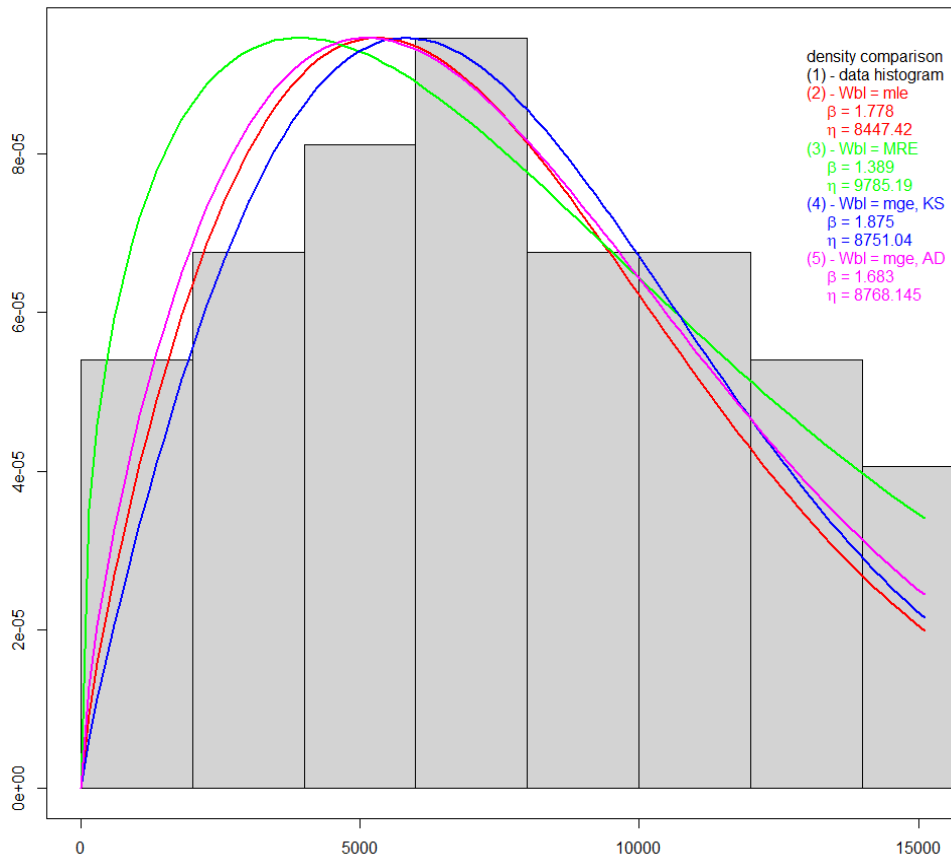


Фиг.4.8. Емпирична функция и линейна регресионна зависимост за сондовата лебедка и полиспастната система

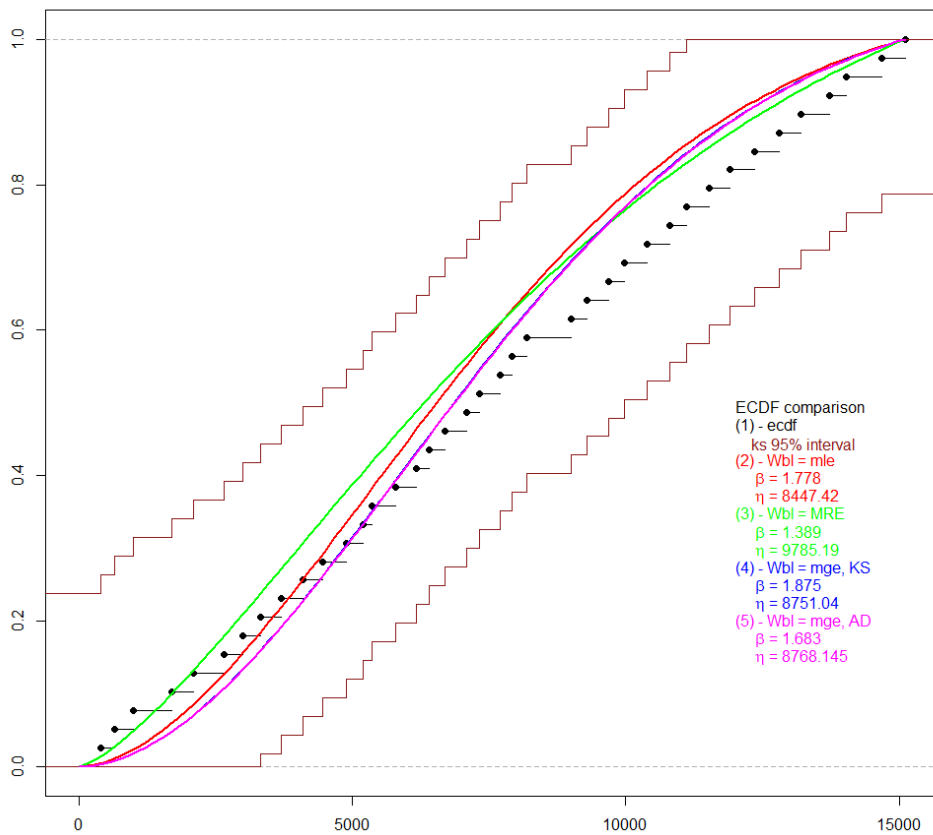


Фиг.4.9. Емпирична функция и линейна регресионна зависимост за промивните помпи и циркуляционната система

Коефициентите на Вейбул за разпределение и емпиричните показатели са: AV – средно на данните; s – стандартно отклонение; β и η – коефициенти на функцията на разпределението (Фиг.4.10÷4.12). На тези фигури са показани извлечените коефициенти на разпределенията чрез използване на итеративни методи (Недялков, 2019).

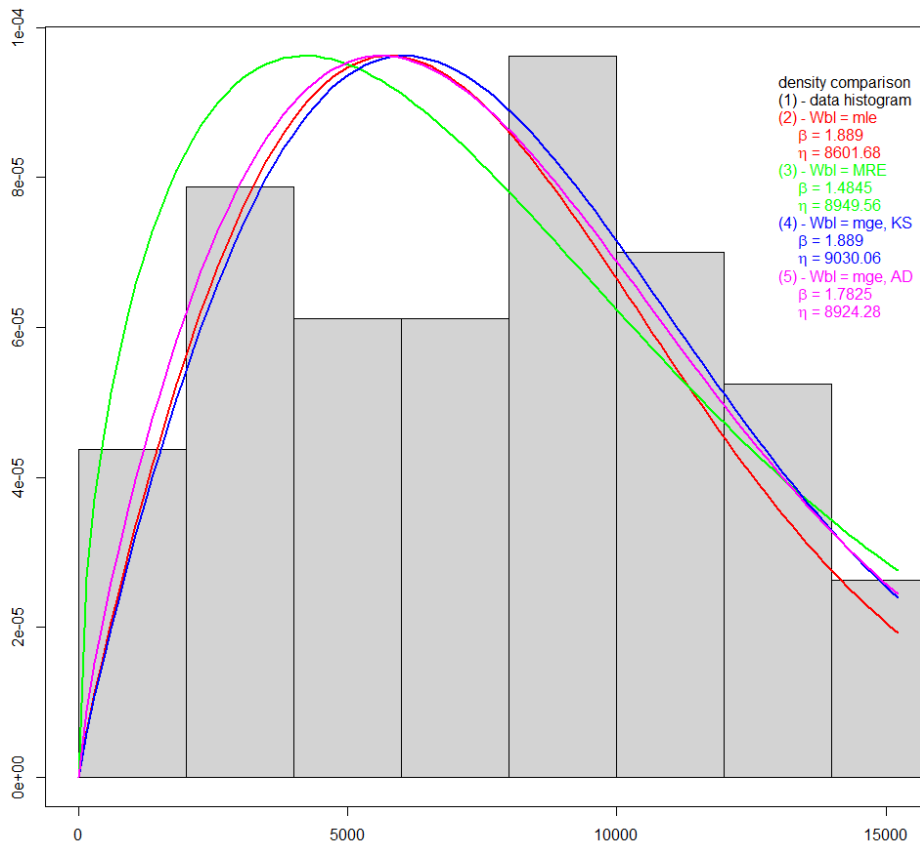


a)

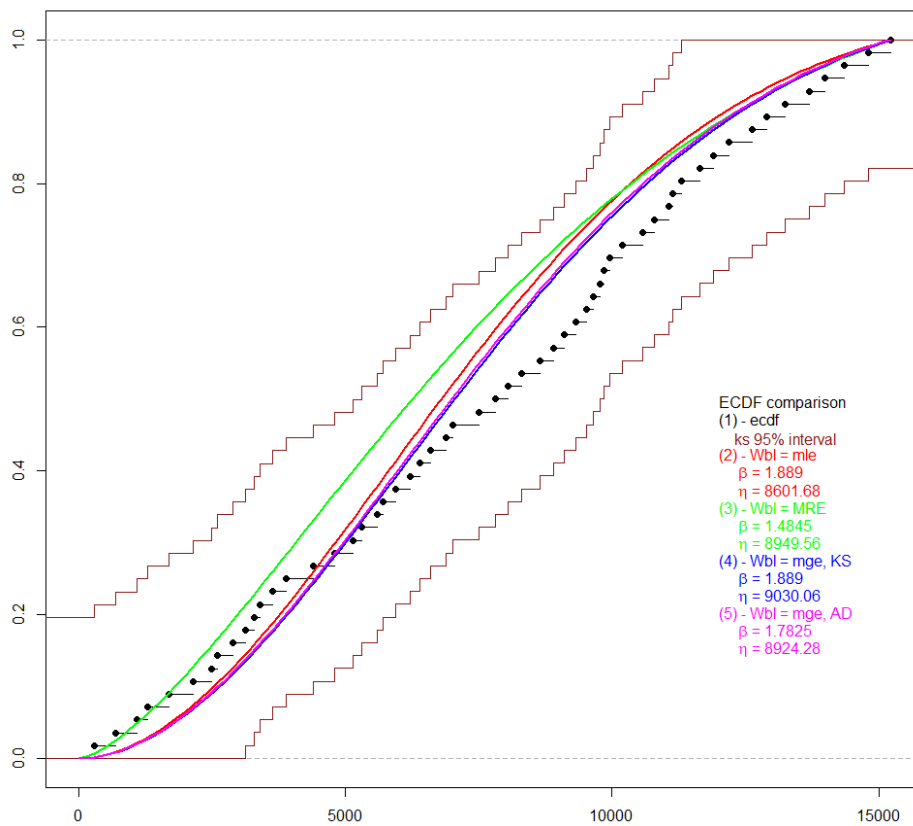


б)

Фиг.4.10. Плътност (а) и функция на разпределението (б) чрез разпределение на Вейбул за силовата промивна глава

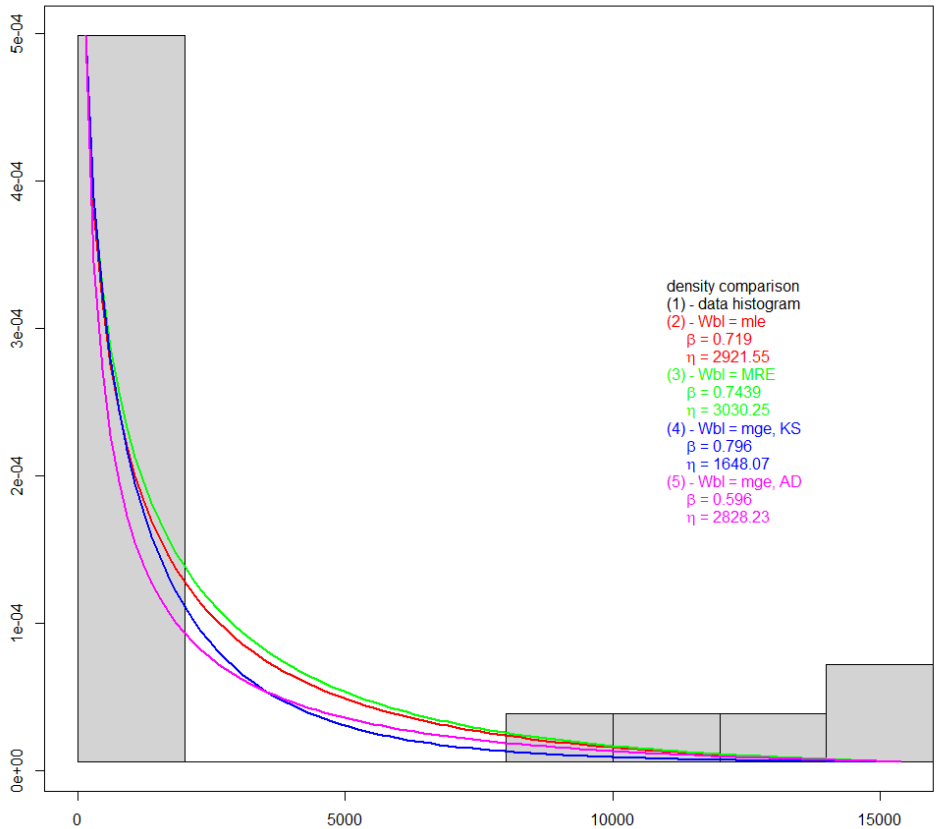


a)

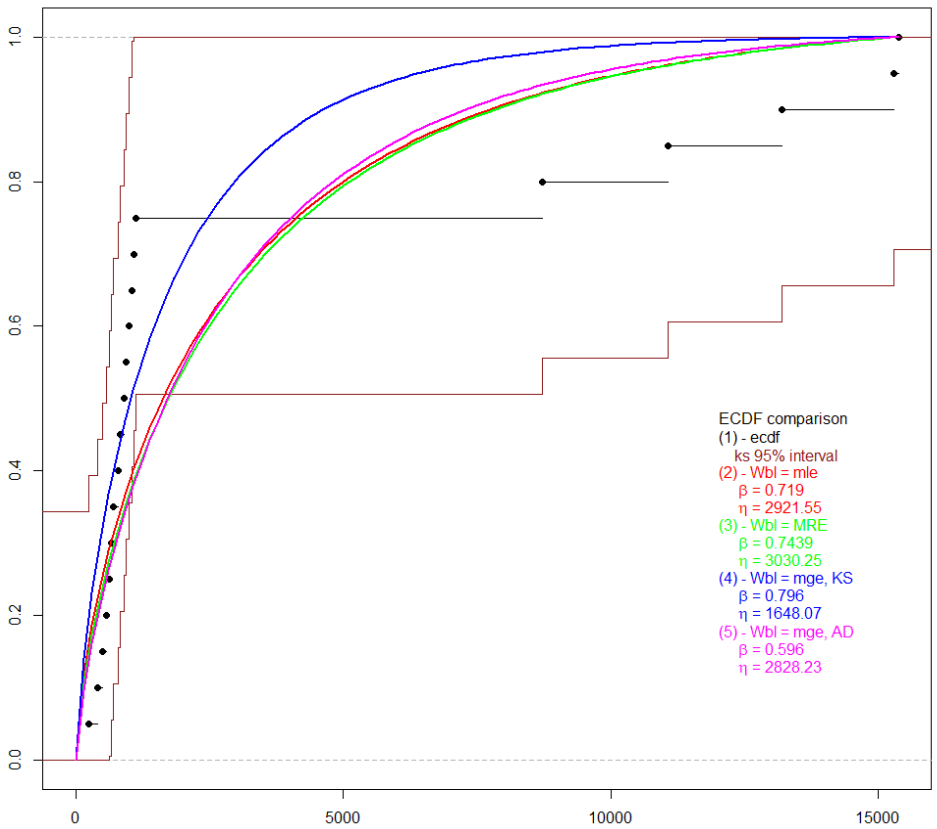


б)

Фиг.4.11. Плътност (а) и функция на разпределението (б) за сондовата лебедка и полиспапната система



a)



б)

Фиг.4.12. Плътност (а) и функция на разпределението (б) за промивните помпи и циркуляционната система

2. Износване на скало-разрушаващите инструменти при въртеливо пробиване

Табл.4.13. Критерии за износване на длетата

Режеща повърхност				Лагерен възел/ Капсуловка	Износване по диаметър	Други характеристики на износване	Причина за изваждане
Външна	Вътрешна	Износване	Локация				
1	2	3	4	5	6	7	8

2.1. Същност на проведеното изследване

Табл.4.14. Данни от работата на различни видове СРИ (по ПДНГ-АД, 2016 г.)

	Данни за СРИ		Режим на работа				Износване, [%]
	D, [mm]	Сериен №	∑ метри	∑ часове	Среден осев товар, [t]	Средни обороти, [min ⁻¹]	
1	444,50	5251384	350,00	89,00	9	40	20
2	444,50	226375	159,00	55,50	8	65	15
3	444,50	5215330	161,00	114,67	18	50	18
4	444,50	5231059	155,00	88,33	16	65	15
5	444,50	226376	303,00	133,00	21	75	33
6	444,50	226832	114,00	79,92	20	85	20
7	444,50	5199057	129,00	121,03	21	100	25
8	444,50	7022334	326,00	117,80	7	100	35
9	444,50	5257123	291,00	371,25	6	85	32
10	444,50	218786	39,00	76,75	6	75	8
11	311,15	5231642	380,00	137,80	18	60	35
12	311,15	5231641	463,00	147,50	18	55	38
13	311,15	5231636	52,00	42,25	18	55	30
14	311,15	E203421	472,00	239,75	3	95	20
15	215,90	227404	20,00	65,33	9	90	8
16	215,90	5231977	129,00	99,75	18	55	20
17	215,90	N/A	269,00	136,51	12	75	25
18	215,90	HP5011	148,00	188,00	12	85	15
19	215,90	8685B	8,00	72,75	4	65	8
20	215,90	123326	174,00	37,50	6	85	25
21	152,40	5248491	238,00	185,75	8	90	20
22	149,20	5212575	59,00	82,18	8	100	6

2.2. Модели на износване и анализ на получените резултати

Посредством статистически софтуер STATGRAPHICS са получени два регресионни модела, показани съответно в Табл.4.15 и 4.16.

Таблица 4.15 .Параметри на модела с константа

Параметри	Стойност	Стандартна грешка	Т-статистика на Стюдънт		Р критерий
Константа	-0,67	9,37	-0,071		0,94
D, m	0,004	0,013	0,30		0,77
$\sum h$, часове	0,005	0,025	0,22		0,83
$\sum M$	0,046	0,013	3,54		0,003
T, t	0,65	0,26	2,51		0,02
RPM, min ⁻¹	0,04	0,09	0,44		0,67
	<i>Сума от квадрати на модела</i>	<i>Степени на свобода</i>	<i>Средно на квадрати на модела</i>	<i>F критерий</i>	<i>Значимост на P</i>
Модел	1234	5	246,8	5,71	0,0033
Остатък	691,5	16	43,2		
Общо	1925	21			
Коефициент на множествена корелация				64,08 %	
Коригиран коефициент на множествена корелация				52,86 %	
Стандартна грешка				6,57	
Средна абсолютна грешка				4,32	
Статистика на Дърбън-Уотсън				1,81	
Остатъчна авто корелация				-	

Регресионният модел с константа е онагледен със следната формула:

$$i = -0,67 + 0,004 \cdot D + 0,006 \cdot h + 0,05 \cdot M + 0,04 \cdot RPM + 0,65 \cdot T \quad (4.28)$$

Таблица 4.16. Параметри на модела без константа

Параметри	Стойност	Стандартна грешка	Т-статистика на Стюдънт		Р критерий
D, m	0,0036	0,012	0,31		0,76
$\sum h$, часове	0,0056	0,024	0,23		0,82
$\sum M$	0,046	0,012	3,72		0,002
T, t	0,65	0,23	2,83		0,011
RPM, min ⁻¹	0,034	0,05	0,68		0,51
	<i>Сума от квадрати на модела</i>	<i>Степени на свобода</i>	<i>Средно на квадрати на модела</i>	<i>F критерий</i>	<i>Значимост на P</i>
Модел	11317	5	2263,5	55,63	0,0000
Остатък	691,7	17	40,7		
Общо	12 009	22			
Коефициент на множествена корелация				94,24 %	
Коригиран коефициент на множествена корелация				92,89 %	
Стандартна грешка				6,38	
Средна абсолютна грешка				4,32	
Статистика на Дърбън-Уотсън				1,79	
Остатъчна авто корелация				-	

Регресионният модел без константа е онагледен със следната формула:

$$i = 0,0036*D + 0,0056*h + 0,046*M + 0,034*RPM + 0,65*T \quad (4.29)$$

3. Изводи

От анализирания в главата аспекти на работа могат да се направят следните изводи:

- Теорията на надеждността дава възможност с висока точност да се планират бъдещите откази на сондовата апаратура и от там – нейните ремонти и необходими резервни части;
- Сондова апаратура AC Ideal притежава сравнителна висока степен на надеждност, което е предпоставка за успешно постигане на поставените ѝ бъдещи задачи
- Износването на скало-разрушаващия инструмент при въртливо пробиване е комплексна величина, която се влияе от редица работни параметри;
- Износването е в линейна зависимост от сумарните просондирани метри $\sum M$ и средния осев товар T ;
- Значително влияние върху износването оказват преминаваните скални формации, които не подлежат на управляемост или регулиране.

Глава V. Обзор, методология и експлоатационна приложимост на сонда AC Ideal 71 за интензификационни работи

1. Методи и технологии за прокарване на отклонения от обсадени интервали на съществуващи сондажи

В съвременната световна практика се прилагат два основни метода за прокарване на наклонено-насочени участъци в съществуващи сондажи:

- 1) чрез изрязване на секция от обсадна колона;
- 2) чрез прорязване на прозорец в обсадна колона.

2. Технически средства

В съвременната практика, при прокарване на отклонения в съществуващи сондажи, се използват следните технически средства:

- Отклоняващ клин;
- Забойни двигатели;
- Инструменти за роторно наклонено-насочено сондиране;
- Навит сондажен лост.

3. Сравнителен анализ на методите и техническите средства

В технологично отношение, в съвременната световна практика, за отклоняване на съществуващ вертикален сондаж по-голям относителен дял се пада на прорязването на прозорец, т.е. прокарване на отклонение от обсаден интервал. Методът е доказано успешен след избиране на подходяща дълбочина за изпълнение на операциите, запазва здравината на конструкцията и осигурява подходящ интервал за достигане параметрите на наклонено-насоченото сондиране (зенитен, азимутен ъгъл, хоризонтално отклонение). Предимство от техническа гледна точка е и голямото разнообразие от предлаганите диаметри на инструментите за осъществяване на отклонението.

По отношение на техническите средства беше отбелязано, че и забойните двигатели, и системите за роторно наклонено-насочено сондиране имат съществено приложение в съвременни условия. В зависимост от конкретните цели се извършва избор на едно от тези технически средства, като, в контекста на проблемите на дисертационната работа, забойните двигатели се явяват единственият прилаган засега инструмент в находищата в Централна Северна България. Хибридните (смесени) системи следва да се прилагат при мащабно провеждани интензификационни операции поради високата им цена и в обекти с подходящи сондажни конструкции, където съществува необходимост от прокарване на хоризонтални участъци. В находища в късен стадий на експлоатация е целесъобразно използването на системите за измерване в близост до скало-разрушаващия инструмент. Навременното наблюдение и отчитане на литоложкия разрез при прокарване на отклонения е ключово в технологично и промишлено отношение, най-вече при определяне дълбочина

за спускане на нова обсадна колона (ако е необходимо) и ненавлизане в продуктивния интервал, свързано с избягване на замърсяването му.

Използването на навит сондажен лост за прокарване на наклонено-насочени участъци има значително приложение при интензификация на разработката на находища е късен етап на експлоатация и все още не е изпитан на територията на България. Подходящ е, когато е налице ограничение по диаметри на инструментите, тъй като са разработени конструкции с диаметри до 30 mm. В редица случаи се прилага, когато е мотивирана необходимост от прокарване на профил с висока интензивност на набиране на зенитен ъгъл (до 50°/ 30 m). Приложението му при извършване на ремонтни дейности е неизменно. Високата му цена най-често се компенсира от бързината за монтаж-демонтаж и преместване, осигурявайки повече производително време, възможност да се достигнат крайни дълбочини дори на ново прокарани участъци, нуждаещи се от ремонт и високата степен на автоматизация на апаратурите от този тип. Други негови предимства са: улеснено прокарване на хоризонтални участъци, възможност за циркулация по време на маневри и по-ниска степен на риск за работния персонал. Недостатък е ограниченият диаметър на сондажния инструмент, а от там и ограниченост по отношение на параметри като осев товар. Поради високата цена е необходима предварителна оценка дали тя се компенсира с определено спестено време и в каква степен. Прилагането му има икономически ефект при интензификационна дейност, включваща повече на брой сондажи.

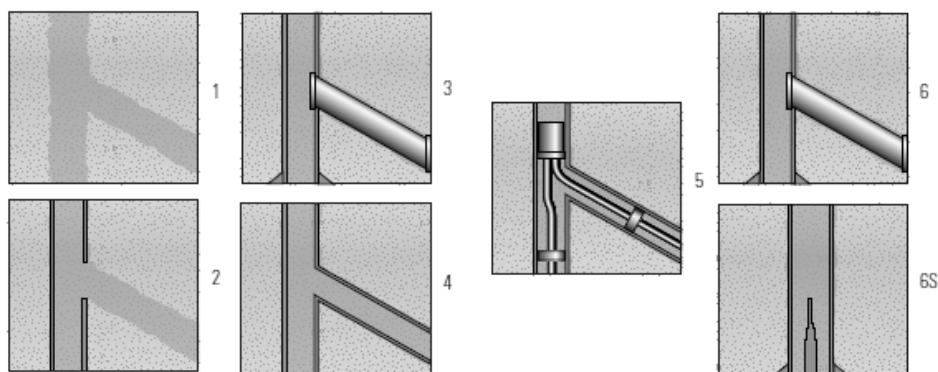
4. Профили на отклонения

➤ Профили по Rabia

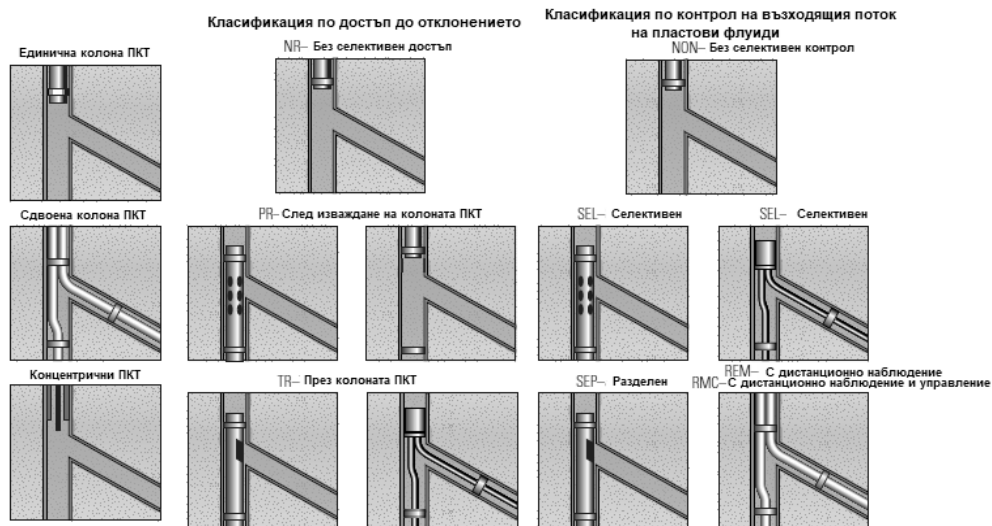
- Първи (J) тип/ тангенциален
- Втори (S) тип
- Трети тип (постоянно увеличение на зенитен ъгъл)
- Профил с хоризонтален участък

➤ Профили по Гилязов и ВНИИБТ

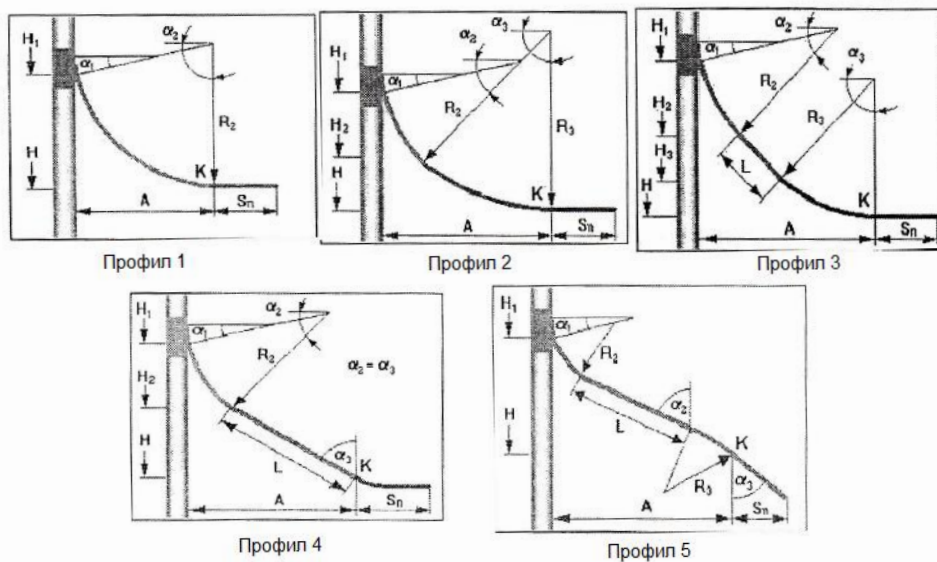
5. Класификации на отклоненията



Фиг.5.46. Класификация на отклоненията по сложност (по Bosworth et al., 1998)

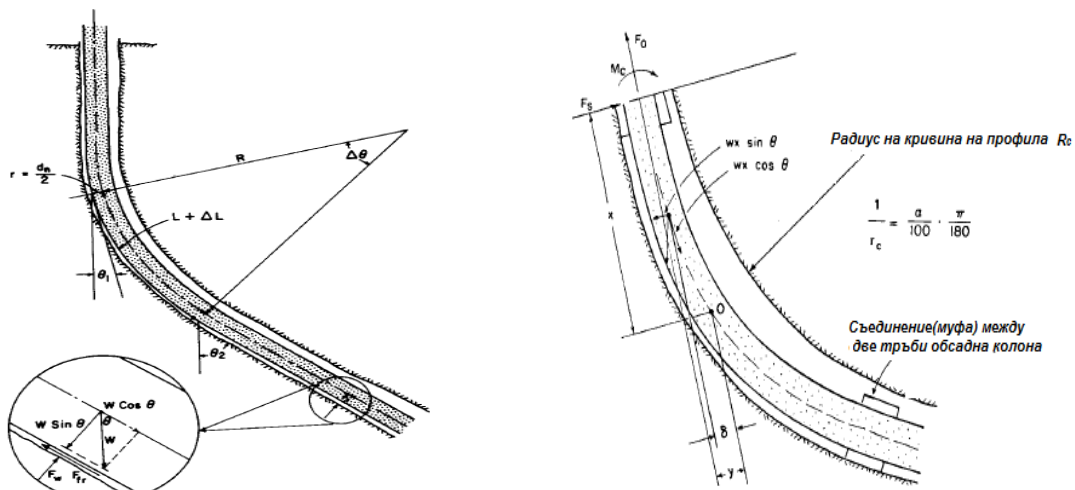


а б в
Фиг.5.47а,б,в Класификации по функционалност на отклонението (по TAML, 2004)

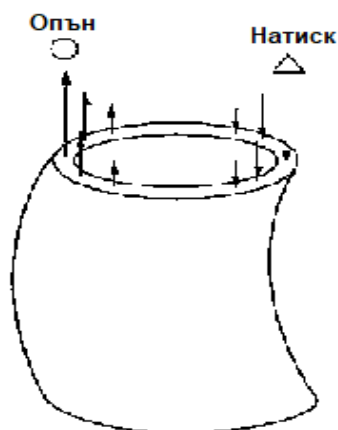


Фиг.5.48. Класификация на профили по ВНИИБТ (по Оганов, 2000)

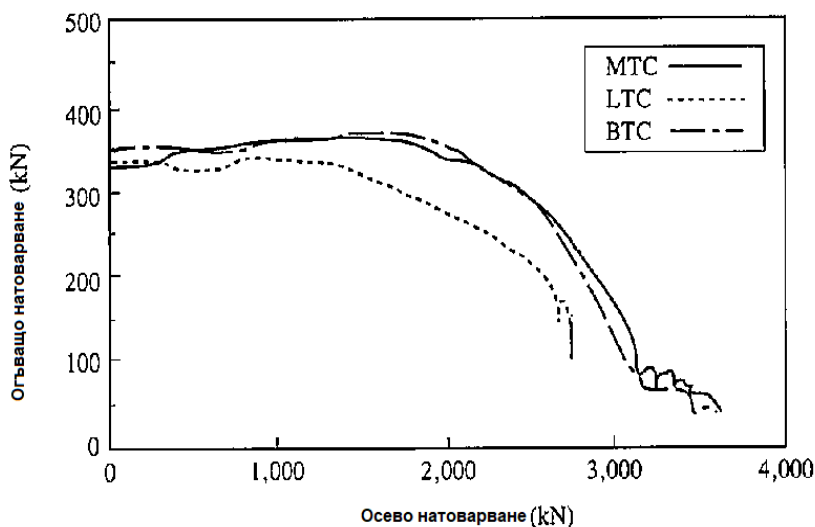
6. Укрепване на отклонения



а б
Фиг.5.49 а,б. Огъване на обсадната колона (по Bourgoyne et al., 1991)



Фиг.5.50. Напрежения в изкривения участък (по Maruyama et al.,1997)



Фиг.5.51. Зависимост между осевото напрежение и напрежение на огъване в хоризонтални участъци (по Maruyama et al., 1997)

7. Състояние и перспективи за прокарване на отклонения за нефт и газ в България

В процеса на геологопроучвателни работи за нефт и газ в Централна Северна и Северозападна България в повече от 40 сондажа е прилагана технологията на отклоняване, но в мнозинството от случаите е вследствие аварийни ситуации и невъзможност да се продължат сондажните работи.

Свидетелство за актуалността и перспективите на наклонено-насоченото сондиране за нефт и газ в България представляват многобройните технически и технологични решения на водещи специалисти у нас (М.Грозев, Ас.Ненов, Б.Чакъров, Ал.Янакиев, Н.Ненков), част от които са регистрирани като изобретения.

През последното десетилетие интересът към прокарването на отклонения в България, с цел интензифициране на добива на нефт и газ, нараства. Освен К-3006 Шабла и Р-29 Чирен (ликвидация), в последните години се реализираха отклонения на сондажи Р-10 Бърдарски Геран, Е-21 Горни Дъбник, Е-13 и Е-40 Долни Луковит, след които те са въведени в експлоатация със значително по-високи средноденонощни дебита.

Следва да се подчертае, че интензификацията на разработката на всяко нефтено или газово находище посредством отклоняване на подходящи сондажи е неизменен етап и процес, провеждан в световен мащаб от повече от 35 години.

8. Модел на изследователския процес

8.1. Избор на обекти на изследванията

8.1. 1. Критерии за избор на перспективни находища

➤ Геоложки

Включва две подгрупи:

Общо-геоложки критерии

- А) литолого-стратиграфски;
- Б) структурно-тектонски;
- В) хидрогеоложки.

Резервоарно-геоложки:

- А) строеж;
- Б) литология;
- В) петрофизични свойства и тяхното разпределение;
- Г) фазово състояние, разпределение и физико-химични свойства на пластовите флуиди;
- Д) тип и геометрия на залежа;
- Е) хидродинамични условия и източници на пластова енергия;
- Ж) начални ресурси и запаси.

➤ Нефто-газопромишлени

- А) системи за разработка (разположение и брой на сондажите);
- Б) методи за добив;
- В) продуктивност на сондажите;
- Г) приложими интензификационни мероприятия;
- Д) стадий на разработка;
- Е) степен и характер на оводненост на залежа;
- Ж) динамика на добива и оводняване;
- З) остатъчни запаси и разпределение;
- И) състояние на инфраструктура.

➤ Икономически

- А) възможни за извличане остатъчни запаси;
- Б) брой сондажи, подходящи за експлоатация чрез прокаране на отклонения;
- В) себестойност на прогнозните количества добит нефт.

8.2. Избрани находища в Централна Северна България

След проведен анализ на критериалните показатели като подходящи за прокаране на отклонения, са оценени нефтените находища Долни Дъбник и Бърдарски Геран.

8.3. Избор на сондажи в находищата

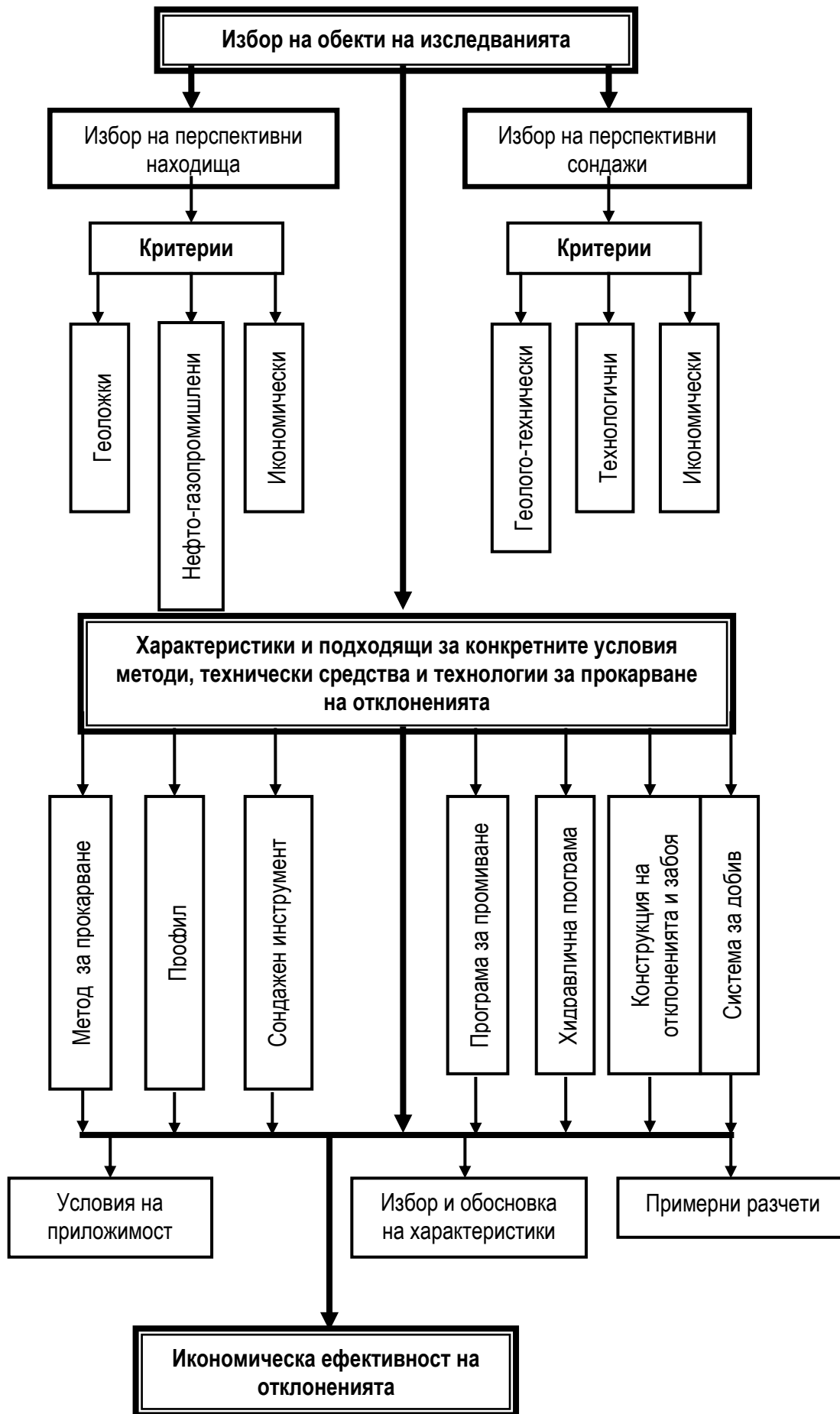
8.3.1. Критерии за избор на перспективни сондажи

➤ Геолого – технически

- А) геоложки особености на сондажния разрез (литоложки, тектонски, хидрогеоложки, проблеми при прокаране на сондажа под дълбочината на отклоняване)
- Б) теренни условия (достъпност и статут);
- В) проходимост на сондажния ствол;
- Г) техническо състояние на обсадните колони;
- Д) състояние на циментовия камък в задколонното пространство;
- Е) състояние на устиевото оборудване.

➤ Технологични

- А) приложими методи и технологии за реализиране на отклонителните операции;
- Б) състояние на връзката обсадна колона – циментов камък – стени на сондажа на дълбочината на прорязване на прозореца;
- В) предпоставки за ориентиране на отклонителен клин на дълбочината, избрана за начало на прокаране на новия интервал (зенитен и азимутен ъгли спрямо зададените за изпълнение



Фиг.5.56. Етапи на модела на изследователския процес

- Г) условия за укрепване на прокарания наклонено-насочен интервал;
 Д) технологични възможности за завършване и системи за добив за изследваните сондажи.

➤ Икономически

- А) прогнозни инвестиции при избор на подходящи методи, технически средства и технологии за конкретните геолого-технически условия;
 Б) прогнозен максимален добив;
 В) прогнозна себестойност на добитите количества нефт.

8.3.2. Избор на перспективни сондажи

Съгласно анализа на дефинираните предпоставки и критериални показатели са избрани три сондажа, перспективни за отклонение, намиращи се в разгледаните находища, както следва:

- находище Долни Дъбник – сондажи Р-1 и Е-31;
- находище Бърдарски Геран – сондаж Е-52.

9. Последователност на операциите

Таблица 5.10. Операции по прокаране на отклоненията

№ по ред	Операция
1	Проверка за проходимост в сондажите
2	Провеждане на актуализиращи сондажно-геофизични изследвания: - многоточков каверномер (с муфолокатор); - инклинометрия; - акустичен циментомер (АКЦ); - термометрия;
3	Ликвидиране на стар вертикален участък чрез циментов мост.
4	Заместване на течността в сондажите с работна промивна течност.
5	Определяне дълбочина на монтиране и посока на отклоняващия клин: - под зони на поглъщане; - по подходящ вътрешен диаметър; - срещу качествена циментова връзка; - срещу устойчиви скали; - посока спрямо моментните зенит и азимут и желан азимут. Поставяне и проверка на циментов мост за опора на клина.
6	Проверка с шаблон с диаметър, равен на диаметъра на отклоняващия клин.
7	Спускане, ориентиране и монтиране на отклоняващ клин.
8	Прорязване на прозорец на избраната дълбочина и навлизане в новия участък.
9	Наклонено-насочено сондиране с определяне пространственото положение и преминатия геоложки разрез до достигане зададените параметри.
10*	Сондиране до дълбочина на спускане на нова обсадна колона с контролиране параметрите на наклонено-насочения профил и следене на геоложкия разрез за предотвратяване навлизане в продуктивния хоризонт.
11	Сондажно-геофизични изследвания на прокарания участък
12	Спускане, окачване (и циментиране*) на нова експлоатационна обсадна колона
10/13*	Подготовка нова и подмяна на стара промивна течност
14	Сондиране в продуктивния хоризонт до крайна дълбочина.
15	Операции по завършване и въвеждане на сондажа в експлоатация

* - в зависимост от конкретните условия и операции в отклоненията

10. Постановка за прокаране на отклоненията

10.1. Технически различия на отклоненията

1) Р-1 Долни Дъбник

- над 80 m (83 m) дебелина на продуктивния пласт по литоложки разрез;

- начало на отклонение – Горнодъбнишка свита (Т_{3г}).
- 2) Е-31 Долни Дъбник
 - въглеродороден флуид – кондензат;
 - продуктивен пласт с дебелина 42 m;
 - аварирал инструмент в сондажа след последните ремонтни дейности.
- 3) Е-52 Бърдарски Геран
 - наличие на дванадесет метра (12 m) продуктивен пласт по литоложки разрез;
 - добри характеристики на колектора за хоризонтално дрениране.

11. Техничко-технологичен процес и изчисления

11.1. Условия на приложимост

Сондажите в изследваните находища са прокарани преди 35÷40 години. Това предполага несигурност на конструкцията, умора на метала на обсадните колони и наличие на редуващи се участъци със здрава и слаба циментова връзка между тях и скалния масив.

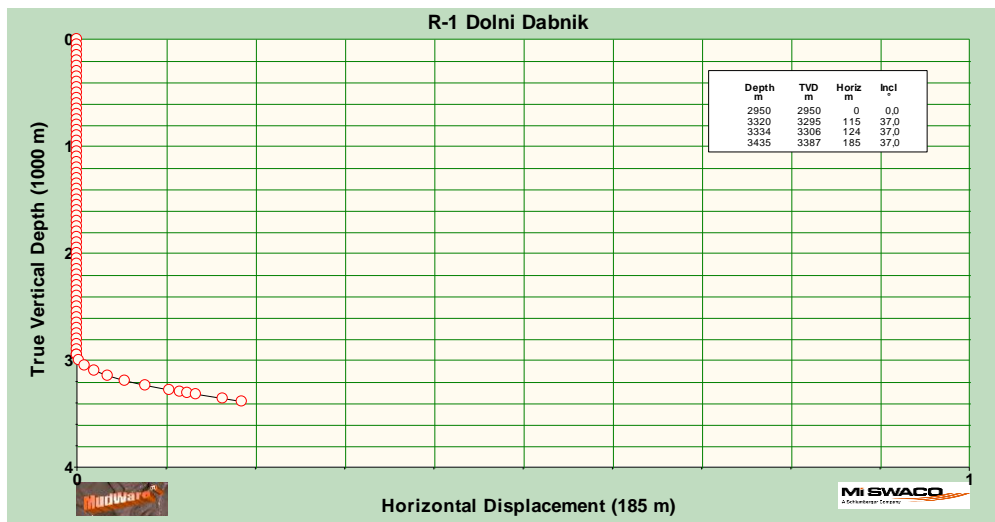
11.2. Метод и технически средства

При посочените предпоставки, прорязване на прозорец в експлоатационната колона е практически единственият приложим метод. На база на обзора на приложимите технически средства, задължително приложение в разнообразни условия намира използването на забоен двигател и телеметрична система. В следващите етапи е възможно прилагане на инструмент за роторно наклонено-насочено сондиране.

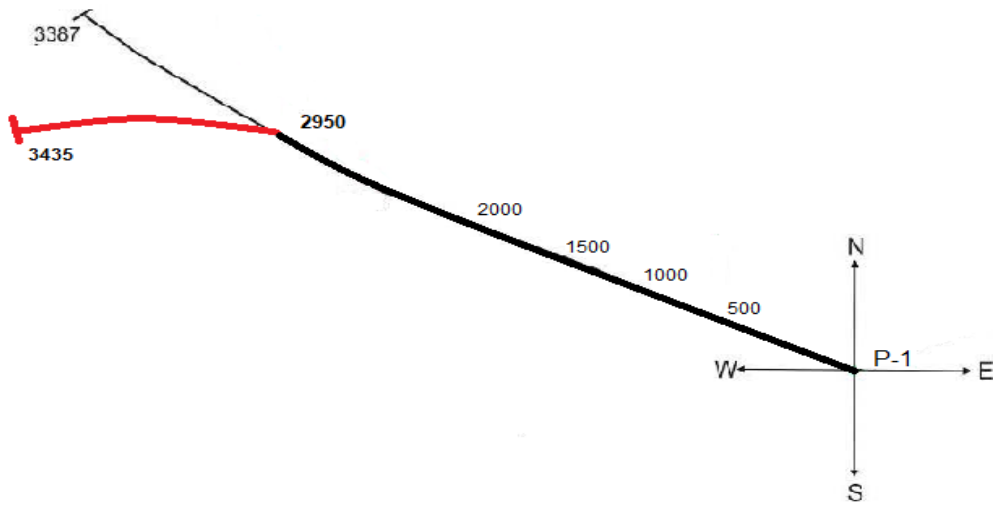
11.3 Профил на отклоненията

Определянето на профил за избраните сондажи обуславя следващите пресмятания. Литоложкият разрез съдържа неустойчивите и склонни към обрушване аргилити на Етрополска свита (J_{2b}), които са фактор, влияещ върху избора на профил, последователността на отделните операции и вида промивна течност.

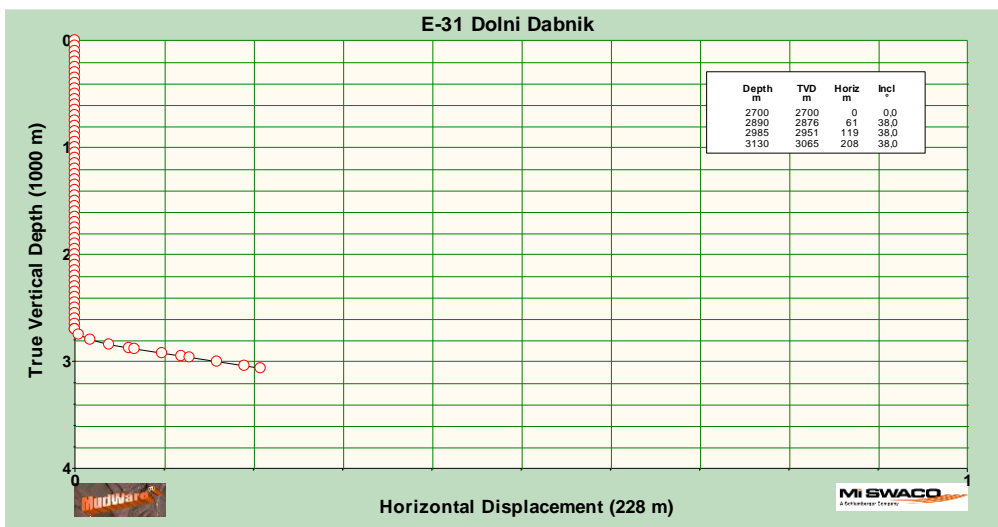
11.4 Избор на подходящ профил и методики за пресмятане



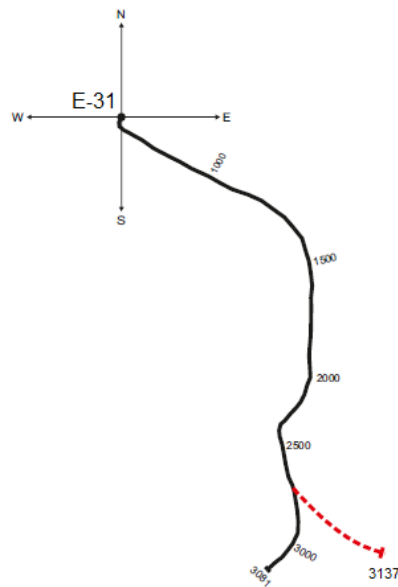
a



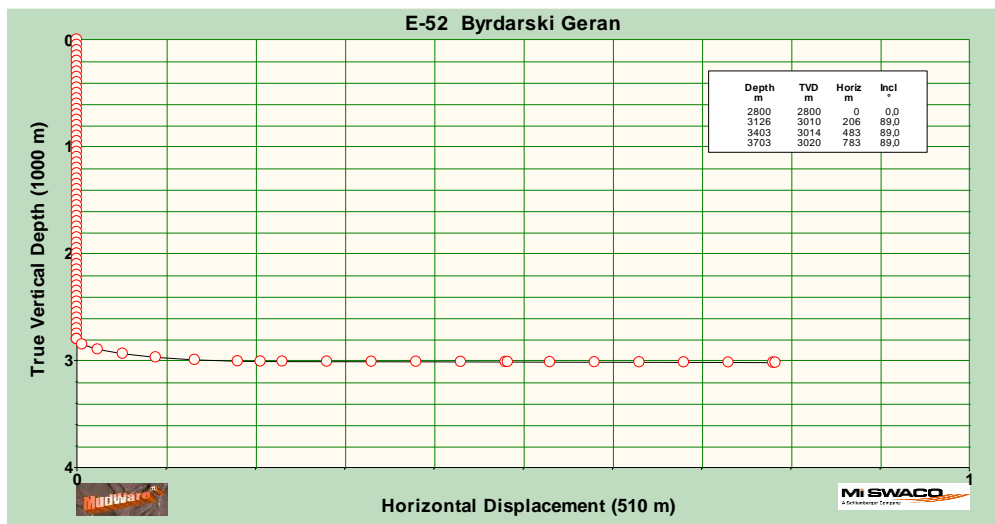
6



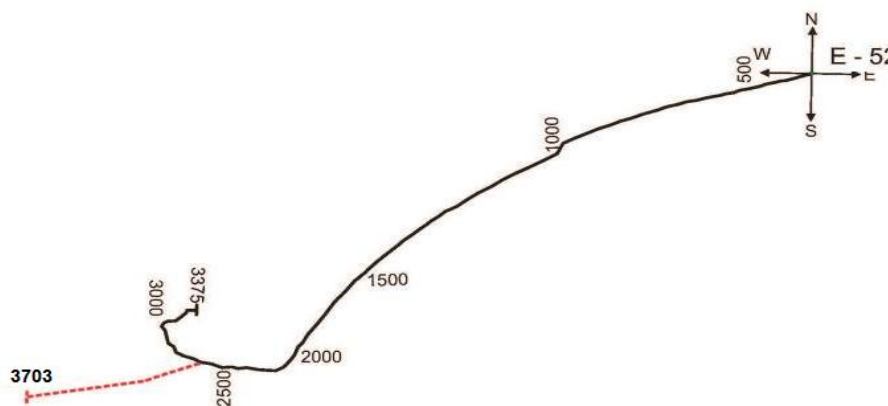
B



Г



д



е

Фиг.5.57. а,б,в,г,д,е. Профили и схематични инклинограми след отклонение на сондажите

12. Изводи

1. Извършен е аналитичен преглед на съвременното състояние на приложимите в световната практика методи, технологии и технически средства за прокарване на отклонения на съществуващи вертикални сондажи и прилаганите класификации по различни признаци;
2. На основата на близо 70-годишната история на сондирането за нефт и газ в България е направен преглед на съвременното състояние на прокарването на отклонения от обсадени участъци, посочен е приносът на българските специалисти и са очертани насоки на перспективното му развитие.
3. Разработени са методологични подходи за провеждане на изследователски работи и за тяхната практическа реализация при проектиране и прокарване на отклонения в съществуващи вертикални сондажи:
 - Предложен е принципен модел на изследователската програма, който съдържа три основни етапа (анализирани в изложението).
 - За избор на подходящи, за целите на изследването нефтени находища са дефинирани критериални показатели, обособени в три групи: геоложки, нефто-газопромишлени и икономически;
 - За избор на подходящи за целите на изследването сондажи са дефинирани специфични критериални показатели, които също така са обособени в три групи: геолого-технически, технологични и икономически;

4. На база на анализа на геолого-геофизичната, геолого-промишлената и друга информация и в съответствие с предложените критериални показатели, като подходящи за целите на изследването са избрани две находища – Долни Дъбник и Бърдарски Геран;
5. Във връзка с обосновката на избора на подходящи за целите на изследването нефтени находища е извършено детайлно изучаване на последните, като е представена информация в резюмиран вид;
6. Във връзка с избора на подходящи сондажи в границите на избраните находища е извършен обстоен преглед на сондажно-експлоатационния фонд, а представената информация (в табличен вид) съдържа сведения за: литоложки разрез, данни за изкуствен забой, дълбочина и дебелина на продуктивен хоризонт, диаметър на експлоатационна обсадна колона, препоръчана дълбочина и посока на отклоняване, съвременни данни за състояние на терена, устиево оборудване, наличие/липса на помпено-копресорни тръби и резултати от проучвателни геофизични изследвания;
7. На базата на представената геолого-техническа и технологична информация и в съответствие с изложените критериални показатели, като подходящи за целите на изследването са избрани три сондажа.
8. В съответствие с предложените методологични подходи е направен избор и обосновка на приложимите за конкретните геолого-технически условия, методи, технологии и технически средства за прокарване на отклонения и в качеството на илюстрация на предложените технически и технологични решения и изчислителни процедури е представена тяхната възможна реализация.
9. Реализирани са примерни изчисления на избраните за отклонение сондажи, включващи следните елементи на сондажния процес: метод и технически средства за отклоняване; профил на отклоненията; сондажен инструмент; промивни течности; хидравлична програма; укрепване и циментиране на отклоненията; завършваща конструкция на отклонението и забоя; система за добив.

Глава VI. Приноси, публикации и бъдещи задачи

1. Научно-приложни приноси

- 1) Посредством теорията на надеждността са изследвани отказите на основните възли на сондовата апаратура и е представена вероятността за безотказна работа, показваща сравнително високата ѝ степен на надеждност като предпоставка за успешно постигане на поставените задачи;
- 2) На основата на дефинираните цел и задачи е разработен модел на технологичния изследователски процес, отразяващ същността и логичната последователност на изследванията и представляващ тяхна методологична база;
- 3) Формулирани са критериални показатели и е обоснована тяхната функционална същност при избора на перспективни обекти (находища и сондажи) за целите на изследването.

2. Приложни приноси

- 1) Извършен е анализ на възникващите напрежения и деформации при максимален препоръчан режим на осево натоварване при сондиране с триролково длето $\varnothing 311,15$ mm, тип GX – 20H™, от което са изведени максималните локални концентрации на напрежения, еквивалентната деформация и коефициентът на сигурност;
- 2) С помощта на статистически софтуер и анализ на отработването на скало-разрушаващите инструменти в различни геоложки условия и изведен регресионен модел, даващ информация за влиянието на отделните работни параметри и насоки за подобряване на работата.
- 3) Синтезирано е представен досегашният практически опит в прокарването на отклонения от обсадени участъци на съществуващи сондажи в България, неговите резултатите и перспективите за бъдещото му прилагане;
- 4) На база на анализа на геолого-геофизичната, геолого-промишлената и друга информация и в съответствие с предложения изследователски модел с критериални показатели, като подходящи за технологичното изследване са избрани две находища и три сондажа и в

качеството на илюстрация на предложените решения и изчислителни процедури е представена тяхната реализация.

3. Перспективи и направления за бъдещи изследвания

Изпълнението на формулираната цел в настоящата работа може да се разшири в следните направления:

- Надеждността на сондовата апаратура е необходимо да се изследва през определен период, важещо особено при интензивна работа;
- Анализът на напреженията и деформациите на скало-разрушаващите инструменти дава ясна представа за предстоящата работа на конкретен такъв и следва да стане част от всяко предпроектно проучване;
- При пресмятане износването на скало-разрушаващите инструменти е целесъобразно да се включи и обемен критерий, като се направи съпоставка на резултатите с и без него;
- Прокарването на отклонения в съществуващи сондажи е неизменна част от интензификацията на разработването на находища в последен стадий на добив, от което следва, че предложението изследователски модел е добра основа за избор на подходящи обекти и сондажи;

4. Списък с публикации

1. **Нецов Д.**, 2014. „Перспективи за наклонено-насочено сондиране в находищата на въгледороди в България“, *Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски“*, том 57, св.1, С., 2014 ISSN 1312-1820, стр.137-141.
2. **Нецов Д.**, 2016. „Научно-приложни аспекти в прокарването на отклонения в нефтени и газови сондажи в Централна Северна България“, *Списание „Геология и минерални ресурси“ София*, ISSN 1310-2265, бр.4/5, стр. 23-32.
3. **Netsov D.**, M.V.Grozev, 2016. „Planning of sidetracking exploitation wells at last stage of oilfield development in Central North Bulgaria“, *Journal of Azerbaijani Geologist, Baku*, 2016. ISSN 2410-4264, pp. 55-64.
4. **Нецов Д.**, 2017. „Изчисления на профили при прокарване на отклонения в съществуващи вертикални сондажи“, *V-та Международна научно-техническа конференция „Геология и въгледороден потенциал на Балканско-Черноморския регион“*, В., 2017 ISBN:978-619-90939-0-0, стр.239-246.
5. **Нецов Д.**, 2018. „Методологични подходи и критерии за избор на обекти за прокарването на отклонения в експлоатационни сондажи за нефт и газ“, *Списание „Геология и минерални ресурси“ София*, ISSN 1310-2265, бр.2/3, стр.14-16.
6. **Нецов Д.**, 2022. „Симулационно изследване на скало-разрушаващ инструмент при въртливо сондиране. (Simulation examination on a roller cone bit during rotational drilling)“, *ANNUAL of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" - Sofia = Годишник на Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски" - София*, 2021, ISSN 2738-8808; ISSN 2738-8816, т. 65/2022, стр. 135-138.

СПРАВКА

ЗА СЪОТВЕТСТВИЕ С МИНИМАЛНИТЕ
НАЦИОНАЛНИ И ИНСТИТУЦИАЛНИ ИЗИСКВАНИЯ ПО ГРУПИ

на маг. инж. Добромир Николаев Нецов,
ПН 5.8. Проучване, добив и обработка на полезни изкопаеми,
научна специалност "Механизация на мините",
МГУ „Св. Иван Рилски“

СПРАВКА

ЗА СЪОТВЕТСТВИЕ С МИНИМАЛНИТЕ НАЦИОНАЛНИ И ИНСТИТУЦИАЛНИ
ИЗИСКВАНИЯ **ПО ГРУПА ПОКАЗАТЕЛИ „А“**

Показател	Брой точки
Дисертационен труд за присъждане на образователна и научна степен „доктор“ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТЕХНИКО-ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПАРАМЕТРИ НА СОНДА С ВЪРТЕЛИВО ПРОБИВАНЕ	50
Сумарен брой точки по показателя:	50

Публикационна дейност по дисертационния труд за присъждане на ОНС „Доктор“	Брой съавтори	Брой точки (20/n)
Научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни томове		
1	2	3
Нецов Д., 2014. „Перспективи за наклонено-насочено сондиране в находищата на въгледороди в България“, Годишник на МГУ „Св.Иван Рилски“, том 57, св.І, С., 2014 ISSN 1312-1820, стр.137-141.	-	20
Нецов Д. ,2016. „Научно-приложни аспекти в прокарването на отклонения в нефтени и газови сондажи в Централна Северна България“, Списание „Геология и минерални ресурси“ София, ISSN 1310-2265, бр.4/5, стр. 23-32.	-	20
Сумарен брой точки по показателя:		40
Сумарен брой точки по показател А:		90

Литература

1. AADE, Development of One Trip Sidetracking System
2. Aadnoy B.S. et al., Advanced drilling and well technology, SPE, USA, 2009, ISBN 978-1-55563-145-1
3. Abbassian, F. et al., Extended reach drilling guidelines, The British Petroleum company PLC, UK, 1996. p.269
4. Adams N. J., Drilling Engineering, PennWell Books, USA, 1985. p.849
5. Advanced Resources International – 68-W-00-094, Directional drilling technology, USA, www.epa.gov/cmop/docs/dir-drilling.pdf retrived 2/20/2014
6. Afghoul, Al. et al., Coiled tubing: the next generation, Oilfield Preview, USA, Spring 2004. p.38-57
7. AFPC, Drilling operations manual, Chapter 6, Rev.0, Syria, 1998
8. Alaminia, H., A Literature review on wired drill-pipe technology, 9th National Students Conference on Chemical Engineering, University of Tehran, Iran, 2012
9. Alaminia, H., Directional drilling and deviation control (part of Drilling engineering course), IAUQ, Iran, 2014
10. Allen, Fr. et al., Extended-reach drilling: Breaking the 10-km barrier, Oilfield Review 9 (4), USA, 1997. p.32-47
11. Al-Mahasneh, M., Optimization drilling parameters performance during drilling in gas wells, International Journal of Oil, Gas and Coal Engineering, Jordan, 2017. p.19-26
12. Al Mansoori DDS, Technology for well placement, USA, 2007
13. Al-Musharfi, N. et al., Real-time reservoir characterization and geosteering using advanced high-resolution LWD resistivity imaging, A formation evaluation technology journal, USA, 2014
14. Al-Suwaidi A. et al., Light as a feather, hard as a rock, Oilfield review, USA, Summer 2001, p.1-15
15. Amao, M., Artificial lift systems, King Saud University, Saudi Arabia, 2013, <https://pdfs.semanticscholar.org/e2bd/3fcb811feedb505d29caf9cbb21b2110766b.pdf>
16. AMDB, Dusuk Yogunluklu Cimentolar ve Cimento Katkilari, Baris ALP, Ankara, Turkey, 2011
17. Amorin R., E. Broni-Bediako, Application of minimum curvature method in wellpath calculations, Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Ghana, 2010, p.679-686
18. AnTech Ltd, Economically re-drilling marginal wells with underbalanced coiled tubing drilling, UK, 2016, <https://www.antech.co.uk/economically-re-drilling-marginal-wells.html>
19. API 13D Recommended Practice on the Rheology and Hydraulics of Oil-Well Drilling fluids, sixth edition, USA, 2010
20. APS Technology, Rotary steerable motor technical data sheet, APS Inc., USA, 2016
21. Archer Oil tools, Product catalog, Archer Oil tools, USA, 2015
22. Arnold, T., Basic Gamma Ray correlation and Introduction to geosteering, USA, 2014
23. Baker Hughes, Navi-Drill motor handbook, BH Inc., USA, 2017
24. Baker Hughes Inc., Maxbridge system technical data summary, Фонд на ПДНГ АД, С., 2014
25. Baker Highes INTEQ, Drilling engineering workbook, BHI training and development, TX, USA, 1995
26. Baker Hughes INTEQ, NAVI-drill motor handbook, BHI training and development, TX, USA, 2002
27. Baker Hughes Inteq, Whipstock Systems, TX, USA, 2010
28. Baker Hughes GE, AutoTrak Rotary steerable systems, BHGE, USA, 2016
29. Baker Oil Tools, Cased hole applications, USA, 2001
30. Baker Oil Tools, Coiled tubing solutions, BHGE, USA, 2014
31. Baker Oil Tools, Packer applications, USA, 2000
32. Baker, R., Rotating solid-expandable liner solves issues in high-angle directional wells, Enventure GT, USA, 2016
33. Bais, P.S. et al., Drilling operations manual, Institute of drilling technology, India, 1994

34. Bar-Cohen, Y., Kris Zachy, Drilling in extreme environments, WILEY-VCH, Germany, 2009
35. Barlow R., F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, J. Wiley and Sons, New York, 1965.
36. Barret, B. et al., Drilling fluid processing, Elsevier, UK, 2005, p.15-78
37. Barton, St. et al., Motor handbook 7th edition, version 7.4, NOV, USA, 2011
38. Bennetzen, B. et al., Extended-reach wells, Oilfield Review, USA, 2010
39. BG Group, Casing design manual, USA, 2001
40. BHI, Autotrack rotary steerable system, Texas, USA, 2016
41. Bitarafhaghghi, V. et al., Measurement while drilling, India, 2015
42. Bonner, St. et al., Measurements at the bit: A new generation of MWD tools, Oilfield Preview, USA, 1993
43. Bosworth, St. et. al., Key issues in multilateral technology, Oilfield review, USA, 1998
44. Bourgoyne et al, Applied Drilling Engineering, SPE Textbook Series, Vol 2, USA, 1991
45. Brigden, J., Directional drilling, UHI, Scotland, 2012
46. Brown, R. et al., New MWD/LWD services help drillers keep bit in formation's sweet spot, The American oil&gas reporter, USA, 2013
47. Bruton G., Whipstock options for sidetracking., Schlumberger., USA, 2014
48. Buchanan, An. et al., Geomagnetic referencing – the real-time compass for directional drillers, Oilfield Review, USA, 2013
49. Carden R., R. Grace, Horizontal and Directional Drilling, Oklahoma, USA, PetroSkills, 2007
50. Carey, St., Coiled tubing directional drilling, DEA – forth quarter, USA, 2008
51. China National Petroleum Company, GW-LWD Geosteering technology, China, 2009
52. Clouzeau, Fr. et al., Planning and drilling wells in the next millennium, Oilfield Review, USA, 1998
53. CTES, Coiled tubing manual, CTES LP, USA, 2005
54. Darley H.C.H., G. R. Grey, Composition and properties of drilling and completion fluids 5th edition, Butterworth-Heinemann, TX, USA, 1988
55. DCM, RSS ready to open new worlds of drilling, Drilling contractor, USA, 2006
56. Devereux St., Practical well planning and drilling manual, Penn Well Corporation, Oklahoma, USA, 1998
57. Directional Drilling, S.P.E, 1990
58. Directional drilling and deviation control technology, French Oil and Gas Industry Association Technical Committee, P., 1990
59. Drilling Manual., I.A.D.C., USA, 2000
60. Dowell, I., Andrew Mills, Measurement-while-drilling, Logging-while-drilling and geosteering, The petroleum well construction book, USA, 2002
61. Eaton Oil tools, Fishing services, Eaton Oil Tools Inc., USA, 2015
62. Elgibaly, Ah. et al., A study of friction factor model for directional wells, Egyptian Journal of Petroleum, Egypt, 2016
63. ENI (Agip division), Drilling procedures manual, Italy, 1999
64. Federer-Kovacs, G., Simulation of a re-entry with casing drilling under HPHT conditions, University of Miskolc, Hungary, 2005
65. Felczak, Ed. et al., The best of both worlds – A hybrid rotary steerable system, Oilfield Review, USA, 2012
66. Fjelde, K.K., Drilling, completion and well intervention and its relation to geology, Norway, 2013
67. Flook, R. et al., At-bit inclination, Gamma nad imaging system tracks productive zone in complex geology, Journal of Petroleum Technologies, USA, 2013
68. Fontenot, K. et al., Using casing to drill directional wells, Oilfield Review, USA, 2005
69. Fosse, M., Wired drill pipe technology – Technical and economical overview – Diploma Thesis, University of Stavanger, Norway, 2015
70. Fraija, H. et al., New aspects of multilateral well construction, Oilfield Review, USA, 2002
71. Gantt, L. et al., Coiled tubing drilling on the Alaskan North slope, Oilfield Review, USA, 1998
72. Ghiselin, D., Best practices emerging for ERD wells, E&P magazine, USA, 2009

73. Gjerde, T. et al., Positioning and position error of petroleum wells, Journal of Geodetic Science, Norway, 2011
74. Gibson, M., The advantages and requisite considerations of slim-hole drilling, Singapore, 2016
75. Gonet, A. et al., Procedure for arranging centralizers in casing string run in directional wells, Acta Montanistica Slovaca, Slovakia, 1998
76. Habiburrohman, Ab., Drillstring and BHA design, UCSI, Malaysia, 2003
77. Halford milling tools services, For all your milling needs, Texas, USA, 2009
78. Hassan, Ib., Survey Interpolation: Software for calculating correct well path between survey stations, University of Stavanger – Diploma Thesis, Norway, 2012
79. Heijke, B., A hybrid model of a two-dimensional directional drilling system, Diploma Thesis – Delft University of Technology, The Netherlands, 2016
80. Hill D. et.al., Reentry drilling gives new life to aging fields, Oilfield Review, Houston, USA, 1996
81. Hough, R., Slim-hole technology, SPE lecturer series, USA, 2000
82. Husain, T.M. et. al., Economic comparison of multilateral drilling over horizontal drilling for Marcellus shale field development, PennState, USA, 2011
83. Huseynov, T., Experience based technical sidetrack, NTNU – diploma thesis, Norway, 2016
84. IADD, Roto-Slide rotary steerable performance mud motor value, USA, 2015
85. Ilfelder, H. et al., A gravity-based MWD technics determines borehole azimuth from toolface and inclination measurements, AADE Technical Conference, USA, 2005
86. Inglis T.A., Directional Drilling., Graham / Trotman., USA, 1987
87. Jamieson, Angus et.al., Introduction to wellbore positioning, UHI, Scotland, 2012
88. Johnson, M., Robert Odenthal, BP coiled tubing drilling experience, ORBIS Engineering Inc., USA, 2005
89. Joshi, S., Horizontal and Multilateral well technology, EOLSS, USA, 2008
90. King, G.E., A glossary of petroleum engineering terms, abbreviations and acronyms, GEK Engineering, USA, 2010
91. King, G.E., Coiled tubing introduction, GEK Engineering, USA, 2009
92. King, G.E., Sand control methods, SPE, USA, 2009
93. King Fahd university of petroleum and minerals, Laboratory manual, Saudi Arabia, 2003
94. Krishnan, A., Avinash Kulkarni, Well trajectory survey of a directional well, IRJET, India, 2016
95. Kulakofsky, D., New liquid microsphere system simplifies lightweight and ultra-lightweight cementing, AADE drilling fluids technical conference, USA, 2006
96. Lamont-Doherty Earth observatory, An introduction to Logging-while-drilling, Seminat in Marine Geophysics, USA, 2008
97. Liu, X., Improved method evaluates deflection performance of bent housing motors, Oil&Gas Journal, USA, 2005
98. Lubinski A., Maximum permissible doglegs in rotary boreholes, Journal of Petroleum Technology, USA, 1961
99. Macpherson, J., Thomas Gregg, Microhole wireless steering while drilling system, Baker Hughes Oilfield operations, USA, 2008
100. Maidla, E., Borehole friction assessment and application to oilfield casing design in directional wells, Luisiana State University, USA, 1987
101. Maruyama, K. et al., Development of casing design systems for horizontal wells, Nippon Steel technical report, Japan, 1997
102. Maurer Engineering Inc., Slim-Hole technology, USA, 1997
103. Mason, C., Wellbore quality characterization for drilling and casing running in challenging wells, SPE Distinguished lecturer series, UK, 2003
104. Mirhaj, S. et al., Improvement of Torque-and-Drag modeling in long-reach wells, Modern Applied Science, Norway, 2011
105. Mitchel, R.F. et. al., Petroleum engineering handbook – Vol.II, SPE, Texas, USA, 2006

106. Navaro de Almeida, Iv. et al., A Review of telemetry data transmission in unconventional petroleum environments focused on information density and reliability, Journal of Software Engineering and Applications, Brazil, 2015
107. Nguyen, T., Advanced artificial lift methods, New Mexico Technical University, USA, 2013
108. Nguyen, T., Drilling bit optimization hydraulics, NMTU, USA, 2010
109. Nguyen, T., Fracture pressure, NMTU, USA, 2013
110. Noel, G., Sidetracking with SET overcomes challenges, Drilling contractor, USA, 2004
111. NOV Wellbore technologies, Agitator™ systems handbook, NOV Corporate, USA, 2016
112. NOV Wellbore technologies, IntelliServ™ product catalogue, USA, 2015
113. Noynaert, S., AIMR (Azimuth and Inclination Modeling in Realtime): A Method for prediction of dog-leg severity based on mechanical specific energy, A dissertation in Texas A&M University, USA, 2013
114. Nwaiche, J., Selection and application of drilling fluids, Teesside University, Great Britain, 2015
115. Oilfield slim-hole drilling technology improving, Oil & Gas Journal, USA, 1993
116. Orodu-Oyinkepreye, D., Limit of through-tubing rotary drilling, Journal of Applied Sciences, China, 2006
117. PETE 411, Prediction of fracture gradients, USA, 2000
118. Petrik, F. et al., Application of geosteering technology for real-time decision making to optimize infill drilling at West Brae, Central North Sea, DEVEX, UK, 2012
119. Pratten, Ch., Rotary steerable systems in the Gulf of Mexico - A step change in drilling performance, AADE National Drilling Technical Conference, USA, 2001
120. Prurapark, R., Torque and drag calculations in three-dimensional wellbores, Dissertation for PhD in Texas A&M University, USA, 2009
121. Putnikovic, A., Hrvoje Lipovac, Economic evaluation of oil exploration projects, INA-Naftaplin, Croatia, 1996
122. Rabia, H., Rig Hydraulics, Entrac Consulting, 1989
123. Rabia, H., Well Engineering & Construction, PennWell, USA, 2002
124. Raeper, Gr., MWD and LWD introduction, Schlumberger Scandinavia, Norway, 2004
125. Randolph, S. et al., Slim-hole drilling: The story so far, Oilfield Review, USA, 1991
126. Reeves, M., Intellipipe moving closer to commercial reality, Drilling contractor, USA, 2004
127. Salym Petroleum Development, Efficiency of slim-hole well design and slim-hole drilling, Russia, 2017
128. Samuel R.G., Xiushan Liu, Advanced drilling engineering – principles and design, Gulf Publishing company, TX, USA, 2009
129. Sanderson, W., Through tubing rotary drilling maximizes recovery, Drilling contractor, USA, 2003
130. Sawaryn, S.J., J.L. Thorogood, A compendium of directional calculations based on the minimum curvature method, SPE Drilling and completion technical conference, Denver, USA, 2003
131. Schlumberger, Cement services and products catalog, Sugar land, TX, USA, 2003
132. Schlumberger, Completions primer rev.A, USA, 2001
133. Schlumberger, Hydraulics calculations handbook – American edition, Canada, 2000
134. Schlumberger, K – Master Section Mill, USA, 2009
135. Schlumberger, Sidetracking Whipstocks catalog, USA, 2004
136. Schlumberger, Trackmaster Cased Hole Whipstock System catalog, USA, 2000
137. Schlumberger Int., Well interventions catalog Vol.1,2 & 3, H., USA, 2015
138. Shell Int. EP, Well engineers' notebook, The Netherlands, 2003
139. Short, J., Introduction to directional and horizontal drilling, PennWell, USA, 1993
140. Skalle, P., Drilling fluid engineering, Pal Skalle and Ventus Publishing APS, UK, 2011
141. Smith bits company, Dual diameter bicentric bits, USA, 2010
142. Song, J., Limit of horizontal wellbore in extended-reach drilling with gas, ProQuest LLC, USA, 2014
143. Stockhausen, E. et al., Improving survey accuracy by using continuous directional data and drilling parameter settings, AAPG Annual Convention and Exhibition, Canada, 2016
144. Stockhausen, E., Bill Lesso, Determining positional inaccuracies in directionally drilled wells, Oil & Gas Journal, USA, 2003

145. Stoner, M., Hole deviation is defined, Denver SPE Drilling study Group, USA, 1999
146. TAML Inc., TAML complexity ranking, Houston, USA, 2010
147. Tenaris, Coiled tubing for downhole applications, Tenaris, Germany, 2017
148. Texas A&M university, Jet bit nozzle size selection, Texas, USA, 2003
149. van Flantern, R., Multilateral wells, Oilfield review, USA, 2016
150. van Luu, H., Rotary steerable system workshop, SPE Queensland section, Australia, 2015
151. Warren T., Technology gains momentum, Oil and Gas Journal, USA, 1998
152. Wheeler, A. et al., The introduction of at-bit natural Gamma-Ray imaging tool reduces risk associated with real-time geosteering decisions in coalbed methane horizontal wells, SPWLA Annual Logging Symposium, Colombia, 2012
153. Weatherford, Cased – hole exit systems, USA, 2008
154. Weatherford, Casing accessories, UK, 2016
155. Weatherford, QuickCut Casing – Exit System, USA, 2004
156. Weatherford International, Cased – Hole Systems, USA, 2001
157. Weatherford drilling and intervention services, Whipstocks and whipstock mills, Houston, TX, USA, 2001
158. Wiryono, S.D., Dedi Yusmen, Economic evaluation for oil and gas exploration drilling project, Bandung Institute of Technology, Indonesia, 2008
159. XiaoJun, Li et al., The critical technology research on rotary steering drilling system, International Conference on MEICE, China, 2014
160. Zadavec, D. et al., Continuous direction and inclination measurements lead to an improvement in well bore positioning – Overview of difference in depth between the TVD logs acquired and the GYRO run in Offshore Adriatic, Croatia, 2014
161. Аветисов А.Г. и коллектив, Методы прикладной математики в инженерном деле при строительстве нефтяных и газовых скважин, М., Недра, 2003
162. Апанович, Ю.Г. и др., Инструкция по расчету бурильных колонн, ВНИИТН, Куйбишев, СССР, 1986
163. Боков, П., Ант. Атанасов (ред.). 1983. Геология и нефтогазоносна перспективност на Мизийската платформа в Централна Северна България. Техника, София, 1983
164. Булатов, А.И., Ю.М.Проселков, С.А.Шаманов, Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин, М., Недра, 2003
165. Вадецкий, Ю.В., Бурение нефтяных и газовых скважин, Недра, М., 1973
166. Василева, Н., Лекции по Теория на вероятностите и математическа статистика, Изд.на МГУ, С., 2007
167. Виноградов, В.Н. и др, Автоматизация и оптимизация производственных процессов нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности, МИНХ и ГП имени И.М.Губкина, Москва, 1979
168. Георгиев, Г., А. Илиева. 2007. Селановската нефтена акумулация – геоложки и генетичен модел. – Годишник на СУ “Св. Климент Охридски”
169. Гилязов, Р.М., Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами, М., Недра, 2002
170. Денчев М. и коллектив, Нефтени и газове сондажи – обща характеристика, Фонд на ПДНГ – АД, С., 2005
171. Денчев М. и коллектив, Съоръжаване на фонтаниращи нефтени и газове сондажи. Регулиране и измерване на дебити и работни налягания. Обслужване, Фонд на ПДНГ – АД, С., 2005
172. Дешев, Е.К., Геология, търсене и проучване на нефтени и газове находища, Техника, С., 1991
173. Джуранов, С., М. Иванов, Н. Йолкичев, Д. Кожухаров, Т. Николов и др. 1993. Речник на българските официални литостратиграфски единици (1882-1992). БАН, София
174. Занева-Добранова, Еф., Щ.Льомов, Ан.Ангелов, Неконвенционални източници на въглеродородни ресурси, технологии и екологични предизвикателства, МГУ, С., 2012
175. Йорданов Д, Ив.Христов, Ив. Начев, Отклонение на сондажи в обсаден интервал, Годишник на Висшия Минно-Геоложки институт, София, Том XXVI, св.II, с.327-333
176. Калинин А.Г. и др., Бурение наклонных и горизонтальных скважин, Москва, Недра, 1997
177. Лебедев, В.В., Учебник инженера по бурению горизонтальных скважин, М., Недра, 2001

178. Лъмов, Щ. Изследване на някои особености на промиването и завършването на сондажите в сложни геоложки условия, Автореферат на дисертация, ВМГИ, София, 1992 г
179. Лъмов, Щ., Лекционен курс по „Сондиране II – част – Сондиране за нефт и газ”, МГУ, С., 2008
180. Лъмов, Щ., М.Харизанов, Ръководство за упражнения по „Сондиране, част II – Сондиране за нефт и газ”, МГУ, С., 2005
181. Марков, Ив., Метод на крайните елементи, Изд. на УАСГ, С., 2014
182. Минин Ив., „Симулационно моделиране и изследване на валцова трошачка за трошене на медни руди”, Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Свитък III, Том 58, С., 2015
183. Минин Ив., „Симулационно компютърно изследване на кофата на челен товарач, използван при производството на биогаз с модула “SOLID WORKS SIMULATION”, Българско списание за инженерно проектиране, брой I, С., 2017
184. Монахов, Ив, Ат. Атанасов, Й. Головацкий, П. Савинкин и др., Доклад за извършените работи на Долнилуковитското газонефтно находище през 1974-1978 год. с изчисляване на запасите към 1.1.1979 година. Плевен, т. I – IV, С., 1979
185. Музапаров, М., Направленно бурение. Безориентирующая технология. Бурение винтовыми забойными двигателями, Министерство образования и науки республики Казахстан, Казахстан, 2005
186. Недялков П., С. Савов. „Анализ и моделиране на свойствата на гумен амортизиращ елемент“, Машиностроене и машинознание, ТУ-Варна, В., 2015
187. Оганов, Г.С., В.В. Прохоренко, Проектирование профилей боковых стволов восстанавливаемых скважин, Нефтегазовые технологии, Москва, 2000
188. Огнянов, Ст., Основни задачи на дълбокото нефтно сондиране, ПБ Княжево, С., 1974
189. Петров, Т., Метод Монте Карло и приложението му за оценка на надеждност и прогнозиране на рисковете за безопасност, МГУ, С., 2000
190. Подерни Р.Ю., „ГОРНЫЕ МАШИНЫ И КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ РАБОТ“, М., Недра, 1985
191. Савов С., „Теоретично изследване на деформационно-напрегнатото състояние на най-натоварените детайли на силовия предавателен механизъм на рудничен електролокомотив тип „3300-2А”. Годишник на МГУ „Св. Иван Рилски”, Том 50, Св. III, София, 2007
192. Томов, Вл., Л.Владимиров, Методични насоки за дефиниране на научни приноси в изследванията на риска, Научни трудове на Русенски университет, том 48, серия 1.2, Р., 2009
193. Шенбергер В. М. и др., Проектирование профилей наклонно направленных, пологих и горизонтальных скважин и расчет усилий на буровом крюке, Изд. ТюмГНГУ, Россия, 2003
194. Янтурин, Р., Совершенствование методов расчетов параметров компоновок низа бурильной колонны и их элементов для безориентированного бурения, Автореферат диссертации, Изд. Уфимском ГНТУ, Россия, 2005
195. ITAG Int., Компоненты бурильной колонны (каталог), Целе, Германия, 2015

SUMMARY

Research of rotational drilling rigs' technical and operational parameters Dobromir Netsov

In order to succeed in a constantly changing and uncertain environment such as explorational and production drilling an operating company should develop and explore its drilling rigs' performance. This includes technical and technological parameters in any possible and useful applications.

After reviewing the literature and nowadays state of the problems the dissertation's goal is to propose good drilling rig performance decisions in two ways – the main units technical condition and a technological application for enhanced carbohydrates recovery.

The first step is 3D modelling – using the Autodesk Inventor™ software a $\varnothing 311,15$ mm (12¼") tricone bit is analyzed and the main stresses and deformations are brought out. The bit is tested into its typical regime parameters and conclusions are made that it will hold up to a point and how the regime could be improved.

Based on the Mathematical Reliability theory calculations are made for the drilling rig AC Ideal's main operational units. There are six of them, without each of them the rig cannot continue drilling ahead – rig

derrick, drawworks, mud pumps, generators, topdrive and the drill pipes/drill stem. All their stops are considered for a particular period and, up to that moment, reliability parameters are calculated. Their values reveal with considerable certainty that the rig is still in a high state of reliability.

Statistical basis and software are used for reviewing the tricone bits that have been used with the rig for a certain period. The most used diameters are taken, their dull grade characteristics are relatively turned into a percentage damage and, based on the Statgraphics™ software two models are developed – with and without a constant. Based on these models some conclusions are made for the drilling regime parameters, which one of them is the most influent and what the possibilities for improvement are. Further calculations were made on this study with the Weibull distribution formulas. It turned out that only three of the initial six units (mud pumps, drawworks and topdrive) comply with these formulas due to very few stops in the other three. The developed graphics and conclusions are useful for periodic checks when intensive work is present for such a machinery.

The rig's technological/ operational application is connected to sidetracking from existing wells in order to make an enhanced production. After a literature review of the directional drilling and specifically sidetracking tools and technologies are overviewed, a short analysis is made on the sidetracking studies, applications and results in Bulgaria.

For applicational purposes an exploration model is developed consisting of criteria for choosing suitable objects – fields and wells. Based on this model three wells from two fields (Dolni Dabnik and Bardarski Geran) in North Central Bulgaria are chosen.

Short main characteristics are given for the fields and some initial information is taken for the chosen wells. The main directional sidetracking operations are reviewed – before the window cutting itself and the following processes. In some exemplary calculations main project parameters for the three wells are shown including drill stem design, directional profile, hydraulic program, casing and cementing operations (when needed), well completion suggestions. In the end the main conclusions are sorted out from the technological research.

The main contributions are shown, divided into two groups, together with some future points of research connected to the main theme and the list of publications used for developing the dissertation.