

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Освітньо-професійна програма Інформаційно-вимірювальні системи та технології в приладобудуванні

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**

«___» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Пріщенко Олексій Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Дослідження характеристик каверноміра

науковий керівник дисертації Безвесільна О.М. д.т.н, проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 05 » листопада 2020р. № 3228

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Перелік завдань, які потрібно розробити проектно-конструкторський розділ, огляд застосувань кавернометрії, огляд існуючих методів, дослідження точності, розробка структурної схеми приладу, розрахунок основних елементів каверноміру, проведення випробувань каверноміра, технологічний розділ, визначення основних показників технологічності, розрахунок складальної одиниці на точність, стартап розділ.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Редуктор складальне креслення – 1арк. фА3; Корпус – 1арк. фА2; Гайка – 1арк. фА4; Колесо – 1арк. фА4; пристосування складальне креслення – 1арк. фА3; Структурна схема, статична схема – 2арк. фА3; Кінематична схема – 1арк. фА1; Залежність похибки радіусу розкриття важелів – 1арк. фА3.

5. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К.О.		

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Огляд і аналіз аналогів проектування	15 вересня 2020 р	
2	Опис роботи приладу	18 вересня 2020 р	
3	Розрахунок основних елементів конструкції	25 вересня 2020 р	
4	Розробка математичної моделі	28 жовтня 2020 р	
5	Кінематична і блок – схема приладу	1 листопада 2020 р	
6	Графіки характеристик	3 листопада 2020 р	
7	Робочі креслення деталей	5 листопада 2020 р	
8	Складальне креслення	8 листопада 2020 р	
9	Висновки	10 листопада 2020 р	

Студент

(підпис)

Олексій ПРИЩЕНКО
(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Олена БЕЗВЕСІЛЬНА
(Власне ім'я, ПРИЗВИЩЕ)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ **Юрій КИРИЧУК**
(підпис)

“ ____ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані
технології проектування приладів»
зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегро-
вані технології

на тему: Дослідження характеристик
каверноміра

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПІ-91мп
(шифр групи)

Пріщенко Олексій Ігорович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник д.т.н, проф. Олена БЕЗВЕСІЛЬНА _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант Розробка СТАРТАП-проекту Катерина БОЯРИНОВА
(назва розділу)
(посада, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц. Сергій МУРАХОВСЬКИЙ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

ВІДОМІСТЬ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на магістерську дисертацію	2	
2	A4	МД.ПЗ	Пояснювальна записка	84	
3	A1	МД.ГД.01	Матеріали аналітичного огляду	1	
4	A1 (A2)	МД. ГД. 000.000К МД. ГД. 000.001К	Схеми	2	
5	A1 (A2)	МД.ГД. 000.001 СК МД.ГД. 110.001.000 СК	Складальні креслення	2	
6	A1	МД. ГД. 000.003 МД. ГД. 000.004	Графіки	2	
7	A1	МД.ГД.05	Презентаційний аркуш		

				МД.ВМД		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість магістерської дисертації	Лист	Листів
Розробн.	Пріщенко				1	1
Керівн.					КПІ імені Ігоря Сікорського каф. <u>ПБ</u> гр. ПІ – 91мп	
Конс.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Безвесільна					

Пояснювальна записка до магістерської дисертації

на тему: Дослідження характеристик каверноміра

Київ – 2020 р.

Анотація

У магістерській дисертації розглянуто огляд існуючої літератури по класифікації методів геофізичних досліджень свердловини, засобам вимірювання діаметру не обсадженої свердловини, розробці конструкції, дослідженню точності калверноміра механічного (КМ), вибору та розрахунку основних вузлів калверноміра механічного. Принцип дії такого приладу побудований на зміні напруги на виході датчика за рахунок переміщення повзунка реохорда, зумовленого рухом важелю, що контактує зі стінкою свердловини. В рамках даного МД підібрані і розраховані основні вузли КМ, розроблено конструкцію приладу та методику випробування готового виробу.

Annotation

In the Master's dissertation the review of the existing literature on classification of methods of geophysical researches of a well, means of measurement of diameter of not settled well, development of a design, research of accuracy of a mechanical caliper (KM), a choice and calculation of the basic knots of a caliper is considered. The principle of operation of such a device is based on changing the voltage at the output of the sensor by moving the slider of the rheochord due to the movement of the lever in contact with the wall of the well. Within the framework of this MD, the main components of the CM are selected and calculated, the design of the device and the method of testing the finished product are developed.

Зміст

Вступ.....	8
1. Проектно – конструкторський розділ	10
1.1 Геофізичні дослідження свердловин	10
1.1.1. Електричні методи.....	11
1.1.2. Ядерно – геофізичні методи ГДС.....	13
1.1.3. Метод газового каротажу.....	14
1.1.4. Метод термокаротажу.....	15
1.1.5. Метод кавернометрії	16
1.1.6. Метод акустичного каротажу	16
1.2. Кавернометрія.....	17
1.3. Характеристика умов експлуатації каротажної апаратури	19
1.4. Огляд існуючих методів вимірювання середнього діаметру свердловини	21
1.5. Дослідження точності каверноміра механічного	30
1.6. Розробка структурної схеми приладу	31
1.7. Підбір основних елементів приводу каверноміра.....	33
1.8. Розрахунок приводу каверноміра механічного	39
1.8.1. Розрахунок редуктора	39
1.8.1.1. Кінематичний розрахунок механізму.....	39
1.8.1.2. Визначення модуля зубчастих коліс	41
1.8.1.3. Розрахунок на міцність	42
1.8.1.4. Розрахунок зубців на згинання.....	44
1.8.1.5. Розрахунок діаметрів валів редуктора	45
1.8.1.6. Розрахунок підшипників.....	45
1.8.1.7. Розрахунок планетарної передачі.....	46
1.9. Розрахунок приладу працездатності	54
1.10. Програма для розрахунку основних параметрів редуктора	55
1.10.1. Алгоритм роботи програми	58
1.11. Методика проведення випробувань каверноміра	59
1.11.1. Випробування на зовнішній тиск і температуру	59
1.11.2. Випробування на транспортну тряску	60
Висновки.....	61
Література.....	62
2. Стартуп розділ	63
Вступ.....	63
2.1. Механічний каверномір з ручним приводом для вибухових свердловин	64
2.2. Оцінка рівня якості.....	73
2.3. Визначення коефіцієнтів вагомості параметрів	76
Висновок.....	83
Література.....	84

					МД ПІ91мп.000.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Лім.		Маса	Масштаб
Розроб.	Прийменко										
Перевір.											
Т. Контр.								Арк.		Аркуші	
Реценз.											
Н. Контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського						
Затверд.	Безвесільна										

Вступ

З метою вивчення геологічного розрізу свердловин, їх технічного стану та контролю за режимом розробки родовища проводяться геофізичні дослідження свердловин (ГДС). Вони проводяться на бурінні свердловин для вивчення геологічної будови земної кори, пошуку та розвідки родовищ нафти і газу та для інших цілей. Дослідження проводяться з використанням комплексу вимірювань магнітних, електричних, радіоактивних, акустичних та ін. Фізичних параметрів гірських порід, що відкриваються свердловинами, а також геометричних та технічних параметрів свердловин і пластів.

В процесі буріння та геофізичних досліджень необхідно знати геометричні параметри свердловини, вони використовуються для з'ясування технічного стану свердловини, а також інтерпретації геофізичних матеріалів. До таких параметрів належать:

1. Кут викривлення свердловини;
2. Азимут викривлення свердловини;
3. Кут орієнтації свердловинного приладу в свердловині;
4. Фактичний діаметр свердловини.

Промислова геофізична технологія, що використовується для вивчення геометричних параметрів свердловини, складається з наступних основних частин:

1. Каротажні станції, до яких належать реєструючі пристрої, джерела живлення, контрольні пристрої, для виміру глиби, спускаюче та піднімальне обладнання разом із каротажним кабелем та транспортними засобами;

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Обладнання для дослідження свердловин, що включає свердловинні та наземні пристрої.

При бурінні свердловини її фактичний діаметр d_c часто відрізняється від номінального d_n , що дорівнює діаметру ріжучого інструмента. Це пов'язано з тим, що гірські породи по-різному руйнуються ріжучим інструментом, струменем промивальної рідини, вібрацією та тертям бурових штанг об стінку свердловини [3].

Шахта свердловини в перерізі не завжди є колом. Невідповідність форми перерізу стовбура свердловини необсадної свердловини свідчить про наявність у ній жолобів, які утворюються внаслідок кривизни свердловини та впливу на її стінки запірних з'єднань бурильних труб.

За допомогою каверноміра, вимірюється середній діаметр свердловини.

Магістерська дисертація присвячена дослідженню характеристик каверноміра - приладу для вимірювання діаметра свердловини.

Метою МД аналіз та дослідження характеристик каверноміра механічного.

Задачами МД є наступні:

- огляд методів геофізичних досліджень свердловини;
- огляд та аналіз існуючих аналогів;
- підібрати елементи приводу електромеханічного блоку каверноміра;
- дослідити основні питання точності каверноміра;
- розрахувати основні елементи конструкції каверноміра;
- викласти методику проведення випробувань каверноміра.

1. Проектно – конструкторський розділ

1.1 Геофізичні дослідження свердловин

Загальні відомості

У процесі розвитку електроніки, науково-технічного прогресу, автоматизації, метрології, обчислювальної техніки з'являються більш досконалі технічні засоби, а вдосконалене технологічне забезпечення буріння дозволяє встановлювати та розробляти геофізичні вимірювальні прилади для нових більш складних завдань буріння, геології та розробка нафти та урану.

Геофізичні дослідження свердловин (далі - ГДС) - це сукупність фізичних методів аналізу, що використовуються для отримання інформації про технічний стан свердловин та гірських порід, в яких вони знаходяться.

Призначення ГДС

Весь набір методів умовно поділяється на дві категорії:

- каротаж (бурова геофізика) - застосовується для вивчення гірських порід, які знаходяться в радіусі 1-2 метрів від шахт нафтових або уранових свердловин;

- геофізика свердловин - іноді це поняття асоціюється з каротажем, але геофізичний аналіз є більшим способом дослідження, оскільки окрім простору біля свердловини, він охоплює простір свердловини;

- необхідні геофізичні дослідження та свердловини, щоб отримати вичерпну інформацію про те, чи має певна територія достатню кількість корисних копалин та чи буде це економічно вигідним.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Можна виділити наступні завдання ГДС:

- літологічне розчленування і кореляція розрізів;
- визначення наявності ресурсів;
- з'ясування параметрів дослідження, які необхідні для аналізу їх запасів;
- вивчення гідрогеологічних та інженерно-геологічних особливостей свердловин;
- визначення технічного стану нафтових свердловин;
- контроль за процесом розробки родовищ ресурсів;
- визначення особливостей вибухових робіт.

Методи ГДС

Оскільки завдання геофізичних методів дослідження свердловин досить великі, і для їх вирішення потрібен точний аналіз. ГДС включає велику кількість досить різноманітних методів дослідження. Усі вони, залежно від характеру аналізу, об'єднуються в кілька груп:

1. Електричні методи;
2. Ядерно-геофізичний метод;
3. Газовий каротаж;
4. Термокаротаж;
5. Кавернометрія;
6. Акустичний каротаж.

Всього існує більше 50 методів ГДС.

1.1.1. Електричні методи

Ця категорія включає методи дослідження, які засновані на вимірюванні електричного поля ґрунтових шарів, яке може виникнути природним шляхом або бути створеним штучно. Електричний каротаж є

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основним методом аналізу літологічних параметрів ґрунту, в якому знаходиться свердловина, для моніторингу її технічного стану, визначення наявності нафтових і рудних ресурсів та визначення їх параметрів.

Електричний каротаж заснований на технології визначення відмінностей електричних характеристик різних гірських порід. Для аналізу цих показників необхідно виявити їх поляризаційну здатність та величину електричного опору.

Найважливіші інструменти електричного каротажу:

- вимірювання властивостей природного електричного поля;
- вимірювання властивостей штучного поля;
- ЕМК-аналіз (штучне змінне електромагнітне поле).

Для електро - ГДС використовуються спеціальні вимірювальні щупи, які опускаються в ствол свердловини і проводять вимірювання електричного поля. Залежно від технологічних особливостей використовуваних зондів розрізняють: електрично несфокусований каротаж та фокусований каротаж.

Неорієнтоване каротаж ГДС також називають методом вивчення уявного опору. Для його реалізації використовуються спеціальні зонди з трьома електродами, таким чином, один додатковий електрон заземлений зверху, на гирлі свердловини. Основним завданням такого аналізу є пошук схожості між стандартизованими параметрами ґрунту свердловини та величиною струму, який вони виділяють, та певними показниками в процесі дослідження.

Після вивчення електричних властивостей гірської породи застосовуються методи математичного та фізичного моделювання, які дозволяють прогнозувати характеристики майбутньої свердловини.

Електричний ГДС, сфокусований зондами, також називається боковим каротажем. Такі зонди мають направлений фокусований струм, що дозволяє отримати більш точні вимірювання (не впливаючи на

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивості використовуваної промивної рідини та опадів на стінках свердловини).

Діаграми, отримані в результаті бокових рубок, дозволяють визначити ступінь нахилу пласта, азимут кута падіння, виявити літологічні властивості породи та визначити властивості водойм.

1.1.2. Ядерно – геофізичні методи ГДС

З усього різноманіття геофізичного аналізу свердловин ядерні методи дослідження вважаються найбільш перспективним районом. Вони дають змогу проводити дослідження в ситуаціях, коли більшість інших методів використовувати не можна.

За допомогою ядерної ГДС можна виявити такі властивості породи:

- щільність;
- пористість;
- зольність вугілля;
- вміст водню в ґрунті.

Ядерна каротаж свердловин поділяється на такі методи аналізу:

Гамма-реєстрація. Цей метод використовується для вимірювання природного гамма-випромінювання гірської породи. Зонд, який використовується для отримання індикаторів, оснащений детектором для фіксації кількості гамма-випромінювання. Як тільки він опускається на достатню глибину всередині свердловини, зонд починає вловлювати хвилі гамма-променів, які перетворюються в електричний імпульс і передаються кабелем на пристрій, який зчитує обладнання.

Головною особливістю цього методу є можливість проведення аналізу в закритих свердловинах (всередині обсадної труби), де неможливо використовувати електричний каротаж.

Гамма-каротаж - найкращий спосіб визначити вміст глини у ґрунті.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гамма-каротаж використовується для штучної радіоактивності породи. Перед використанням спеціального каротажного зонда свердловину попередньо опромінюють гама-хвилями, після чого реєструють відповідні хвилі. Цей метод дає можливість реєструвати ті види випромінювання, які не з'явилися б без додавання до гірської породи штучної радіоактивності.

Нейтронні каротажі. Метод нейтронного каротажу також заснований на штучному опроміненні ґрунту. Опромінення здійснюється нейтронними хвилями, яких у природі в природному вигляді не існує.

Використовуваний зонд складається не тільки з детектора для видалення індикаторів, але і з джерела нейтронного випромінювання.

Відповідна реакція породи на опромінення може мати два варіанти: утворення гамма-хвиль або первинний потік нейтронів. На основі цих показників створюються діаграми, за допомогою яких можна скласти картину того, якими ресурсами володіє досліджуваний горизонт, оскільки різні типи корисних копалин характеризуються різними видами відповідного випромінювання.

1.1.3. Метод газового каротажу

Цей метод ГДС дозволяє виявити кількість вуглеводневих газів, які насичують глинистий розчин в процесі буріння свердловин, що призводить до найбільш перспективних газonosних горизонтів.

Для нього використовується спеціальне обладнання - газоаналізатори. Якщо в процесі буріння свердловини проводиться відбір керна (гірської породи), то каротаж газу може проводитися в лабораторії, використовуючи його аналіз. На точність каротажу газу значною мірою впливають зовнішні фактори, такі як тип розчину глини та швидкість його циркуляції, швидкість буріння свердловини та зупинка під час

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

буріння. Для точного гамма-каротажу кількість важких вуглеводнів повинна визначатися окремо від інших газів, оскільки важкі гази є основною характеристикою нафтового горизонту.

1.1.4. Метод термокаротажу

Термообробка використовується для визначення технічного стану вже функціонуючих нафтових або уранових свердловин. Для вимірювання показників використовується спеціальний свердловинний термометр, який опускається в кожух.

За допомогою термічного каротажу можна з'ясувати цілісність обсадної труби, оскільки температура на пошкоджених ділянках буде відрізнятися від загальної температури свердловини, і визначатиме літологічні особливості породи, визначати піщані та карбонатні шари.

На сьогоднішній день існує три найпоширеніші методи теплового каротажу:

- метод природного температурного поля;
- штучне температурне поле;
- метод ефективності охолодження.

Вся технологія пов'язана зі властивостями ґрунту проводити тепло, цей показник (теплопровідність) відрізняється один від одного в різних типах ґрунтів.

Термокаротаж має один суттєвий недолік, який дещо обмежує його застосування на нафтових свердловинах: через заповнення свердловини рідиною теплові властивості ґрунтових порід суттєво відрізняються, що натомість ускладнює визначення різних типів ґрунту.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1.5. Метод кавернометрії

Цей метод геофізичного дослідження свердловин заснований на вимірюванні поперечного діаметра свердловини, що дозволяє визначити його об'єм при цементуванні або створенні обсадної труби та відстежувати дефекти стінок нафтових та уранових свердловин, спричинені рухом ґрунту.

У більшості випадків переріз свердловини рідко має форму ідеального кола, з цієї причини умовний діаметр приймається як розмір площі поперечного перерізу свердловини повністю, що перпендикулярна її осі .

Для проведення таких досліджень використовується каверномір.

Каверномір складається з двох елементів: поверхневого обладнання для зчитування даних та пристрою, розташованого посередині шахти. Пристрій являє собою конструкцію з чотирма вимірювальними важелями, які розміщені в двох площинах, перпендикулярних один одному, і з'єднані з приводом змінного резистора. Коли пристрій рухається посередині свердловини, важелі стикаються з його стінками і змінюють своє положення, залежно від цього на резистор подаються сигнали різної потужності, які контролюються зовнішніми пристроями.

1.1.6. Метод акустичного каротажу

Акустичний каротаж аналізує час, необхідний звуковому імпульсу (пружне коливання) для проходження ґрунту в просторі біля свердловин. Оскільки кожна гірська порода має власну щільність, як результат, різну стійкість, цей метод дозволяє визначити характеристики шарів ґрунту, в яких розташовані нафтові свердловини.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Акустичний каротаж використовується для отримання інформації про технічний стан свердловини та при пошуку родовищ ресурсів.

Акустичне каротажне обладнання використовує дві смуги частот : ультразвукову (20-250 кГц) і звукову (0,5-15 кГц). Для дослідження потрібні два пристрої - вимірювальне обладнання і датчик глибини, який оснащений ультразвуковим випромінювачем хвиль і приймачем, що мають здатність перетворювати механічну енергію хвиль на частоті 20-50 кГц в електричний імпульс.

Всі ці методи, реалізовані в геофізичних дослідженнях, об'єднує, насамперед, те, що для всіх цих методів носієм вимірювальної інформації є конкретні фізичні поля, параметри яких повинні вимірюватися з необхідною точністю. Крім того, об'єднуючим фактором є технологія вимірювання різних рівнів та різної за фізичною природою геофізичних методів дослідження та необхідність всебічної геологічної інтерпретації результатів різних вимірювань, зроблених для вирішення певної геологічної проблеми.

Таким чином, обов'язковою складовою будь-якої геофізичної технології є її метрологічне забезпечення, яке гарантуватиме достовірну та порівнянну інформацію про параметри досліджуваних геофізичних об'єктів.

1.2. Кавернометрія

Механічна система приладу - каверномір - це чотири важелі, які розташовані попарно в двох взаємно перпендикулярних площинах і притиснуті пружинами до стінок досліджуваної свердловини.

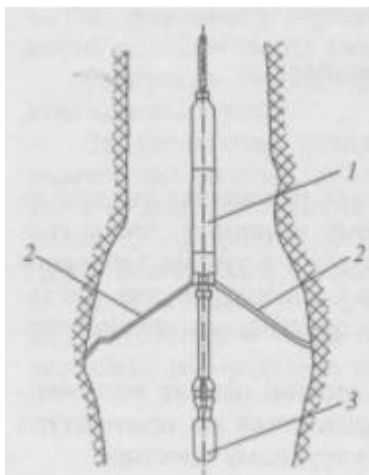
Зміна діаметра свердловини вздовж її стовбура реєструється під час підйому каверноміра за допомогою спеціального датчика електричного опору, що викликає зміни параметрів в електричному ланцюзі пристрою, в результаті чого виникає крива різниці потенціалів, пропорційна діаметр

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свердловини. Принципова схема каверноміра в свердловині наведена на рис. 1.1.

Каверномір опускають у свердловину важелями, притиснутими до його тіла, за допомогою алюмінієвого кільця в нижній частині корпусу. Після того, як пристрій досягне дна свердловини, це кільце знімається і важелі відкриваються за допомогою пружинних пружин, які встановлюються в місцях петель у верхніх частинах важелів.

Якщо каверномір, орієнтований по сторонах світу, опустити в свердловину, то на діаграмі реєструється зміна діаметра орієнтованої свердловини, тобто на діаграмі можна визначити напрямок, в якому утворилися печери.



Каверномір з пристроєм орієнтованого спуску в свердловину називається профільним лічильником, а процес орієнтованого визначення зміни діаметра свердловини - профільметрією. Результати кавернометричних вимірювань використовуються для розсічення ділянки свердловини за літологічними типами пластів (піщані, глинисті, карбонатні тощо). У піщаних породах діаметр свердловини зменшується, оскільки фільтрат водної основи промивної рідини фільтрується в ці породи, а глиниста кірка осідає на стінках свердловини; навпаки, в глинистих породах діаметр свердловини збільшується за рахунок можливості цих порід набухати і руйнуватися. Карбонатні породи характеризуються на кавернограмах номінальними значеннями діаметра свердловини, галогенні породи, такі як солі, незначним збільшенням діаметра свердловини через незначне їх розчинення.

Рис. 1.1. Принципова схема каверноміра:

1 — корпус; 2 — важелі; 3 — пристрій, який утримує важелі у притиснутому до корпусу положенні під час спуску у свердловину (як правило, це наконечник з кільцем з м'якого металу, яке зіскакує і звільнює важелі)

Дані кавернометрії використовуються для розрахунку необхідного об'єму цементного розчину перед цементуванням обсадної колони та оцінки стану свердловин.

1.3. Характеристика умов експлуатації каротажної апаратури

Умови експлуатації визначають конструктивні особливості свердловинного обладнання в цілому та окремих його частин. Умови експлуатації свердловинного пристрою різко відрізняються від умов експлуатації ґрунту.

Умови експлуатації свердловинного обладнання характеризуються наступним чином:

1. Бурильний пристрій опускається в свердловину порівняно невеликого діаметру і при цьому значної глибини. Найчастіше пристрій опускають під власною вагою. Деякі геофізичні вимірювання проводяться у відкритому стволі, оскільки наявність обсадної труби спотворює або захищає виміряні фізичні параметри гірських порід. Каверномір відноситься до пристроїв, що працюють у відкритій (не обсадній) свердловині.

Буровий розчин, нерівності та порожнини стінок свердловини, а також кривизна стволу створюють перешкоди для вільного проходження пристрою.

Діаметр свердловинного пристрою повинен забезпечувати відповідний зазор між пристроєм і стінками. Довжина пристрою визначається головним чином розмірами розміщених у ньому елементів та механізмів, а також зручністю транспортування. Таким чином, конструкція свердловинного пристрою, його форма та розміри повинні забезпечувати хорошу проникність у свердловинах на задану глибину в складних умовах;

2. Буровий розчин - вода або буровий розчин - створює гідростатичний тиск, на який діє пристрій, занурений у свердловину. Величина питомого тиску, що діє на пристрій на заданій глибині спуску (розрахована на осі свердловини), визначається за такою формулою;

$$p = 0.1H \cdot dm, \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}, \quad (1.1)$$

де Н – глибина спуску в м; d – питома вага бурового розчину в Г/см³; m – корекція кривизни свердловини (у більшості випадків мало впливає на результат розрахунку). Тобто на кожні 10 м спуску пристрою питомий тиск на його поверхню збільшується на величину, рівної щільності розчину (1,5 - 2 Г / см³). Таким чином, для свердловини глибиною 3000 м тиск складе близько 600 кг / см²;

Максимально допустимий тиск є найбільш характерним робочим параметром свердловинного інструменту. Тому при будівництві необхідно забезпечити його міцність і герметичність;

3. Під час занурення пристрою в свердловину температура навколишнього середовища значно змінюється протягом короткого періоду часу. На глибині 3000 м температура становить 100 - 120 °С. Необхідно забезпечити термостійкість і роботу приладу в будь-якому діапазоні температур. Також необхідно переконатися, що помилка утримується в допустимих межах.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Буровий розчин, в якому в процесі роботи є свердловинні пристрої, є дуже агресивним середовищем, яке діє на матеріали, з яких виготовлений пристрій. Для запобігання корозії слід підбирати відповідні матеріали, форми та захисні покриття;

5. В процесі роботи на свердловинний прилад діють значні механічні збурення. Конструкція приладу повинна мати ударну міцність, вібро- та зносостійкість. Ударне навантаження може досягати 15g, а вібрація до 30 Гц при амплітуді 2 мм [4].

Швидкість підйому приладів при запису кривих не повинна перевищувати 1000-1200 м/год. У тонкошаруватих розрізах допустима швидкість визначається при вимірах із різною швидкістю. За максимальну приймають швидкість, при якій покази кривих різняться від показів на малій швидкості не більше ніж на 10% [3].

1.4. Огляд існуючих методів вимірювання середнього діаметру свердловини

Датчик вимірюваної величини являє собою систему важелів, притиснутих пружинами до стінки свердловини, так що їх відстані до осі пристрою (розкриття) визначають середній діаметр свердловини в цій ділянці. Величина отвору за допомогою спеціальних приладів перетворюється у величину омичного опору, який вимірюється за допомогою кабелю за допомогою моста або потенціометричної схеми. На рис. 1.2.1 наведено кінематичну та електричну схеми датчика каверноміра.

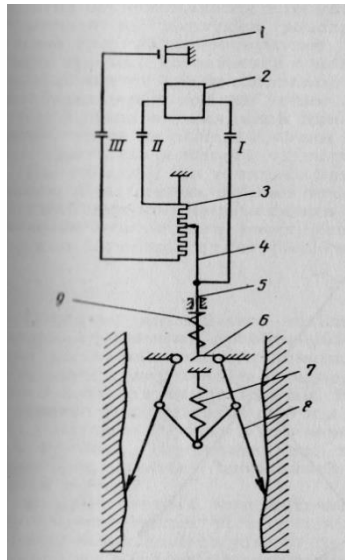


Рис. 1.2.1. Схема датчика каверноміра

1 – джерело живлення; 2 – вимірювальний міст; 3 – реохорд датчика каверноміра; 4 – повзунок, ізольований від корпусу; 5 – штовхач; 6 – кулачок, лінійно перетворюючий величину розкриття важелів в поступальний рух штовхача і повзунка; 7 – робоча пружина; 8 – важелі датчика; 9 – зворотна пружина штовхача; I, II і III – жили кабелю

Важелі 8 за допомогою пружини 7 (інакше за допомогою гідравлічної системи) притискаються до стінки свердловини. Зазвичай є три важелі, і вони з'єднані між собою, щоб при кожному їх відкритті вісь пристрою розташовувалася в центрі кола через кінці важелів. В результаті відхилення кожного важеля характеризує радіус середнього кола в заданому перерізі свердловини. Над важелями знаходиться реостат 3, повзун 4, рух якого пов'язаний з рухом одного з важелів.

Пропорційне перетворення руху важеля при русі повзуна реостата відбувається в різних каверномірах по-різному. Найпоширенішим є кулачковий перетворювач, схематично показаний на рис. 1. Іншим плечем важеля 8 є кулачок 6, який діє на штовхач 5. Останній рухає повзун реостата 4. Зворотний рух штока і повзун знаходиться під дією пружини 9.

Для отримання лінійної залежності між величиною відхилення кінця важеля від осі пристрою та рухом повзуна відносно кінця реостата кулачку

надається певна форма, яка компенсує тут нелінійну залежність у загальному випадку. Форма кулачка обчислюється графічно для конкретних розмірів елементів датчика, їх взаємного розташування та обраного масштабу перетворення.

Така система перетворення добре пристосована для роботи в свердловинних умовах, однак вона не дозволяє отримати високої точності вимірювання внаслідок наявності паразитних зазорів в шарнірних з'єднаннях важелів і головним чином через похибки при визначенні форми кулачка та його виготовленні [4].

Діаметр свердловини, виміряний каверноміром, визначається за формулою:

$$d_c = d_0 + C_d \Delta U / I, \quad (1.2)$$

де d_0 – початковий діаметр, при якому вимірювана напруга $\Delta U = 0$, C_d – стала каверноміра (розмірність см/Ом), I – сила струму живлення каверноміра. Оскільки d_0 , C_d , I є величинами сталими, то залежність (1.2) можна в загальному вигляді представити як $\Delta U = f(d_c)$. Графік цієї функції (рис.1.2.2) являє собою пряму, яка на осі абсцис (d_c) відсікає значення $d_c = d_0$ при $\Delta U = 0$ (переважно каверноміри мають $d_0 = 0$). Такий графік отримують при калібруванні (градуванні) каверноміра, задаючи відомі діаметри розкриття важелів із допомогою калібрувальних кілець. Для визначення d_0 калібрувальний графік продовжують до перетину з віссю d [3].

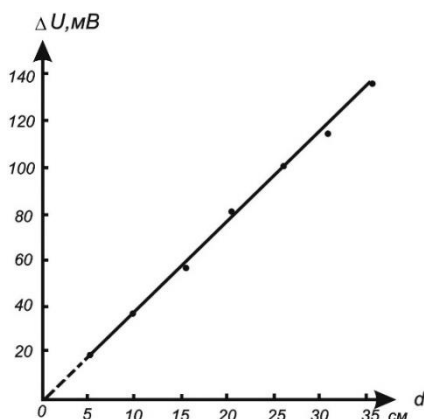


Рис. 1.2.2. Калібрувальний графік каверноміра

На рис. 1.2.3 показана схема датчика каверноміра із іншим перетворенням, яке можна назвати прямим. Тут важільна система відрізняється від попередньої тим, що важелі притискаються плоскими пружинами, а передача руху від важеля до повзуна реостата в обраному масштабі - тросом 4. Зворотний рух повзуна і троса реостата натяг досягається пружиною 1. Це перетворення має принципову нелінійність через нелінійний рух точки кріплення троса на важелі. Однак, вибравши оптимальну довжину важеля L , положення точки кріплення кабелю на важелі та точки перегину кабелю на осі пристрою, можна зменшити похибку з нелінійності до допустимої значення.

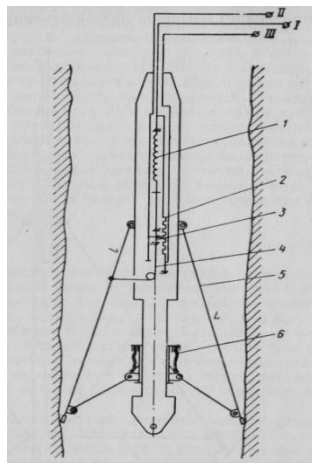


Рис. 1.2.3. Схема датчика каверноміра

1 – зворотна пружина повзунка реохорда; 2 – реохорд; 3 – повзунок реохорда; 4 – тросик; 5 – важіль; 6 – робоча пружина(плоска); I, II і III – жили кабелю

Каверномір надає інформацію про загальний середній діаметр свердловини, який приймається за діаметр кола, еквівалентний площі поперечного перерізу площини, перпендикулярної до його осі.

Однак у загальному випадку перетин стовбура свердловини не є круглим. Невідповідність форми перетину кола вказує на наявність

жолобів, які утворені кривизною свердловини, впливом на стінки стопорних стиків бурового інструменту. Для більш детального вивчення діаметра поперечного перерізу обсадних і необсаджених свердловин використовують каверномір-профілометр (рис. 1.2.1.2), який зазвичай дозволяє виміряти діаметр свердловини у двох і більше взаємно перпендикулярних площинах з видачею значень їх напівсумі: $(d_o' + d_c') / 2$ проти щільних порід з номінальним діаметром свердловини d_o' (щільні непроникні пісковики, вапняки і доломіт) і $(d_c' + d_c'') / 2$ - проти порід з іншими щільністю характеристиками (аргіліти, алевроліти, глинисті вапняки і ін.)[8].

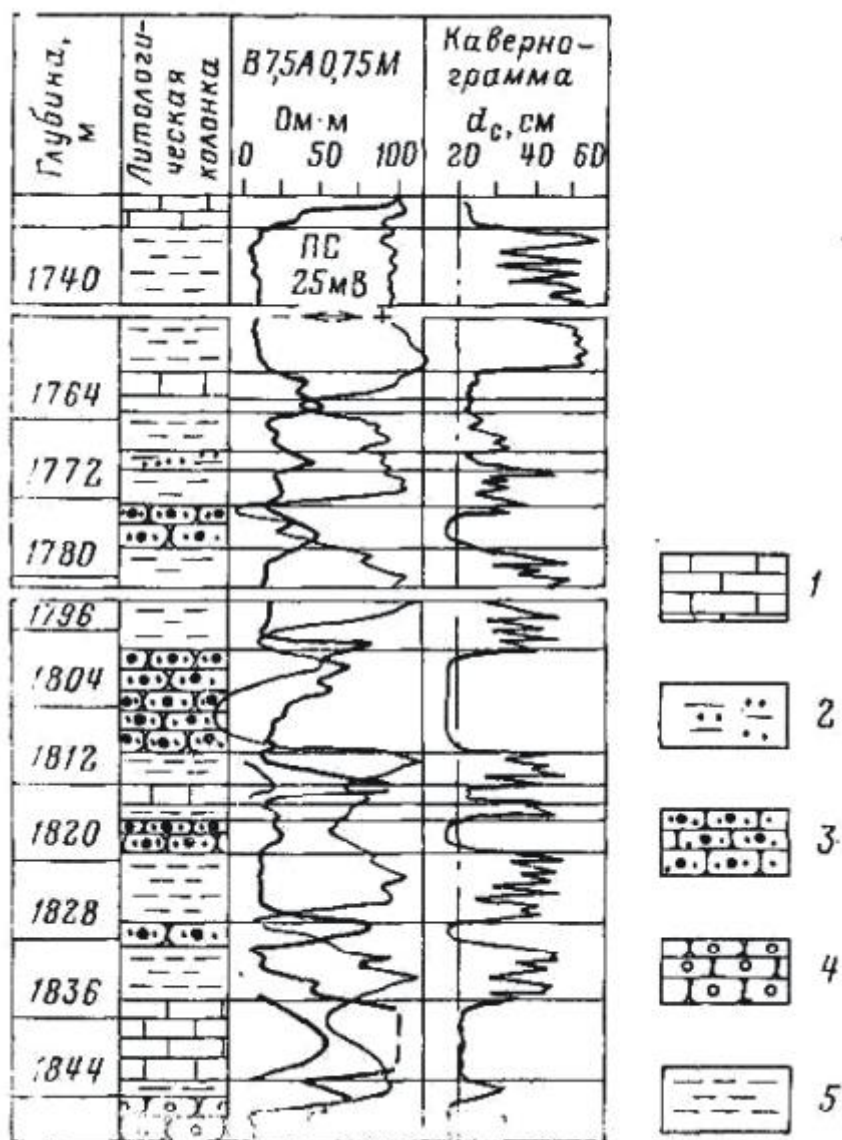


Рис. 1.2.1.1 Літологічна колонка за даними кавернометрії
і електричного каротажу

1 - вапняк; 2 - алевроліт; 3 - піщаник нафтонасичений;
4 - піщаник водонасичений; 5 - глиниста порода

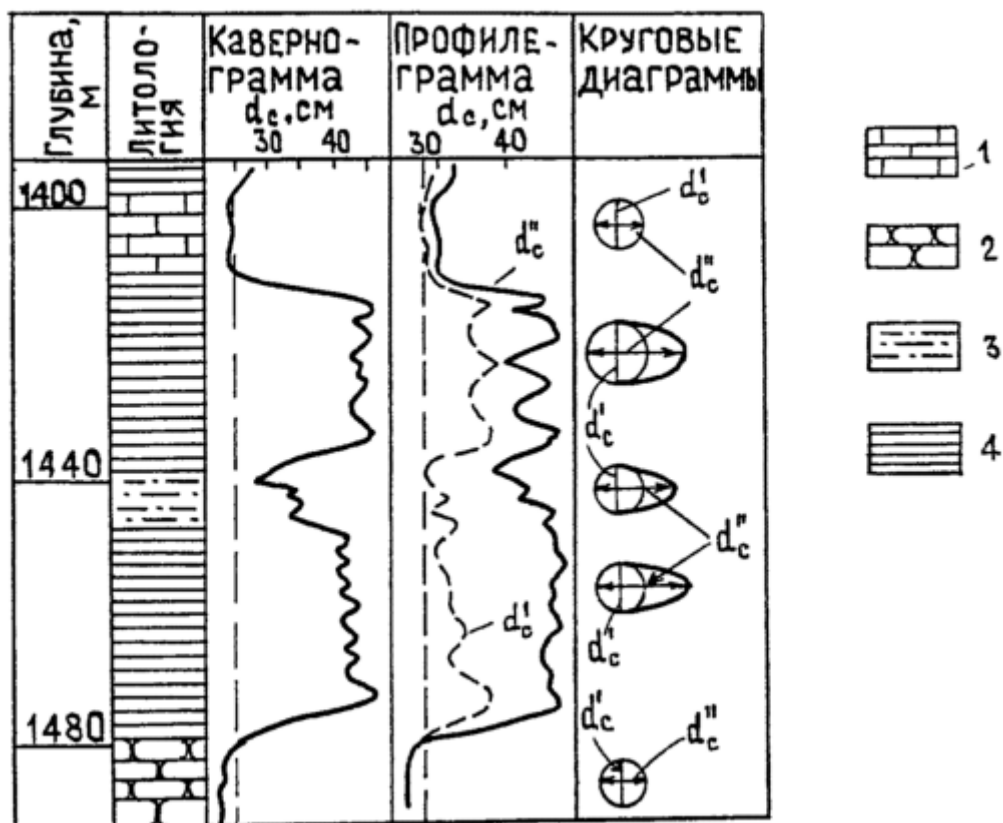


Рис. 1.2.1.2. Криві профілеметрії, кавернометрії і діаграми
перетину свердловини: 1 - вапняк щільний; 2 - піщаник проникний;
3 - алевроліт; 4 - глина

Розрізняють вертикальну та горизонтальну профільметрію. При вертикальній профільметрії поперечний переріз свердловини вимірюється у двох взаємно перпендикулярних хордових напрямках, які характеризують зразковий переріз стовбура свердловини.

Для більш точного визначення форми перерізу свердловини використовують горизонтальні профілі, які характеризуються наявністю шести-восьми важелів з відомою орієнтацією на магнітну північ (рис.

1.2.1.3).

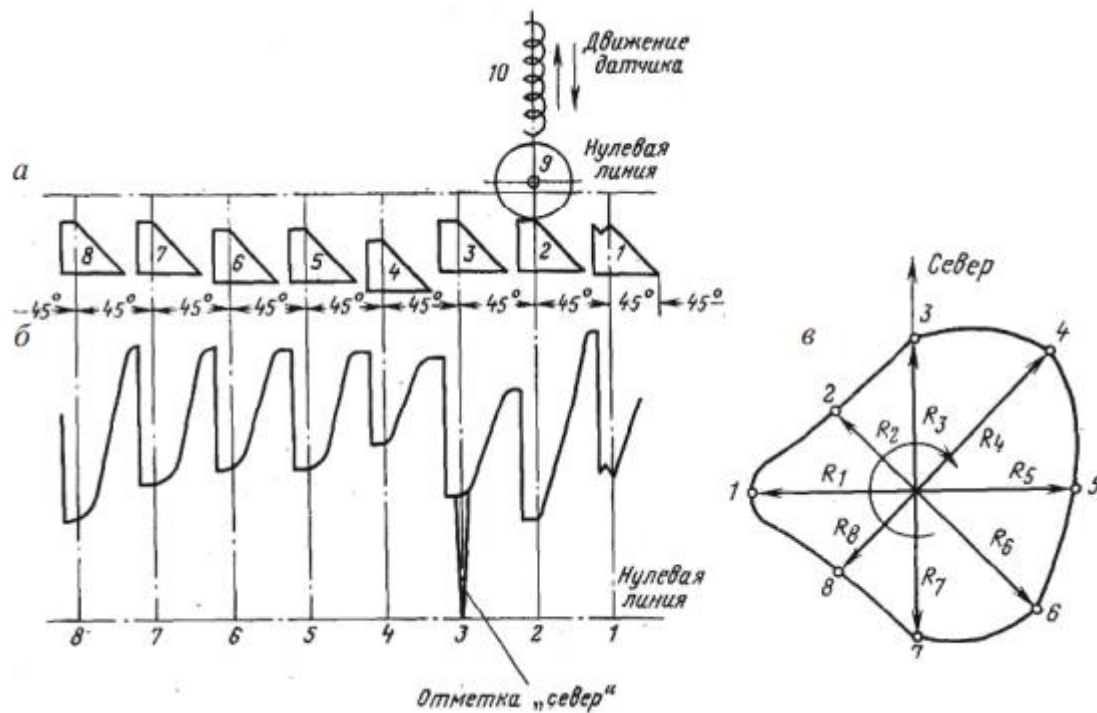


Рис. 1.2.1.3 Принцип роботи горизонтального профілемера:

а - розгортка кулачків профілемера; б - сигнал, що передається з свердловинного приладу; в - побудова поперечного перерізу свердловини

Найбільш використовувані кавернометричні профілі, такі як каверномір-профіломер свердловини СКП-1 (реєстрація діаметра свердловини у двох взаємно перпендикулярних площинах), ТПК-1 (дає кінцевий результат з трьох пар вимірювальних важелів), профіломер-радіусометр свердловин та СПР-1 азимут кривизни свердловини), профільний лічильник труби свердловини ПТС-1 (шість профільних діаграм для визначення перерізу обсадної труби) та ПТС-2 (вимірює вісім радіусів колони).

Однак на точність вимірювання в цьому випадку паразитні зазори в шарнірах впливають набагато менше. У такій системі масштаб передачі руху від важеля до повзуна реостата визначається відношенням відстані від шарніра до точки кріплення троса до загальної довжини важеля:

$$z = \frac{l}{L} , \quad (1.3)$$

Для подальшого підвищення точності вимірювання датчиком при прямому перетворенні важільна система каверноміра повинна бути дещо складною.

На рис. 1.2.4 шарнір 1 може рухатися уздовж осі пристрою, тоді як шарнір 5 залишається нерухомим. Крім того, повинна бути забезпечена рівність довжин важелів а, b і c. У такій системі кінець важеля рухатиметься під дією пружин 8 уздовж лінії, перпендикулярної осі пристрою. Тому повзунок реостата буде передавати рух через кабель, який лінійно залежить від відхилення кінця важеля.

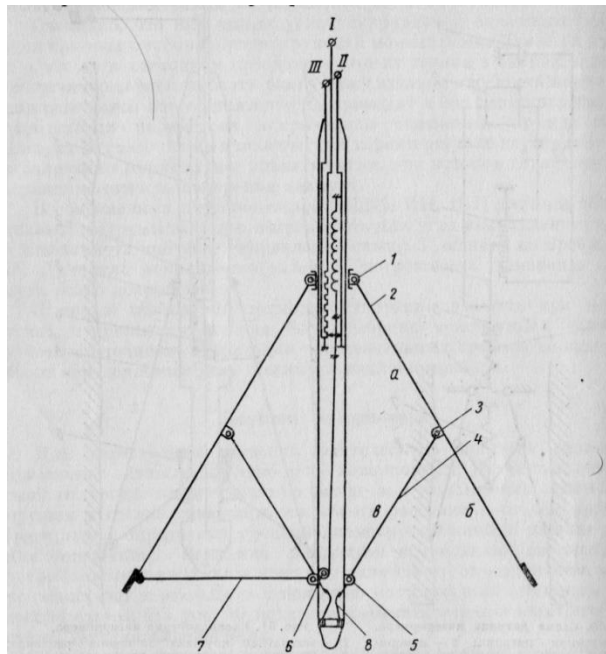


Рис. 1.2.4. Схема датчика каверноміра

1 – верхній шарнір; 2 – важіль датчика; 3 – середній шарнір; 4 – допоміжний важіль; 5 – нижній шарнір; 6 – направляючий ролик; 7 – тросик; 8 – робоча пружина(плоска)

На вищенаведених кінематичних схемах датчиків каверноміра всі вимірювальні важелі шарнірно з'єднані із загальною муфтою, до якої прикладена сила пружини. Можливий датчик, при якому кожен із важелів притискається до стінки свердловини власною пружиною. У

цьому випадку рух кожного важеля не залежить від руху інших і, відповідно, відстань кожного важеля від осі пристрою в загальному випадку буде різним.

На рис. 1.2.5 представлена схема датчика кавернометра з чотирма вимірювальними важелями. У ній незалежні відхилення важелів каверноміра підсумовуються за допомогою механічного підсумовувального пристрою, що складається з системи рухомих і нерухомих роликів і троса, що передає рух чотирьох стрижнів на вісь реостата. Оскільки всі чотири важелі притискаються до стінки свердловини з однаковою силою, вони виконують центрувальну дію на пристрій, так що його вісь завжди знаходиться поблизу центру кола, пропущеного через кінці важелів. Враховуючи невеликі можливі відхилення осі від центру, можна припустити, що сума змін відстаней кінців важелів від осі пристрою пропорційна зміні діаметра свердловини.

$$\Delta d_c = k\Delta r = (\Delta r_1 + \Delta r_2 + \Delta r_3 + \Delta r_4). \quad (1.4)$$

Тут Δd_c - зміна діаметра свердловини; k – коефіцієнт пропорційності; Δr - сума змін відстаней кінців важелів від осі приладу; $\Delta r_1, \Delta r_2, \Delta r_3, \Delta r_4$ - зміна відстаней відповідно першого, другого, третього та четвертого кінців важелів від осі приладу.

З іншого боку, за принципом пристрою

$$\Delta r = m\Delta R, \quad (1.5)$$

де ΔR - зміна опору реостата; m – коефіцієнт пропорційності.

Отже, в цій системі з відомим наближенням забезпечується пропорційність між змінами діаметра свердловини та опором реостата

$$\Delta d_c = q\Delta R, \quad (1.6)$$

де q – коефіцієнт пропорційності.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У описаному вище датчику трохи більша чутливість до невеликих змін діаметра свердловини, ніж у каверномірів із підключеними важелями.

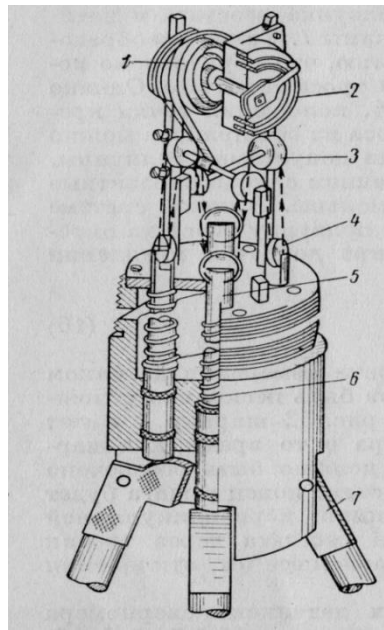


Рис. 1.2.5. Схема датчика каверноміра з чотирма незалежними важелями

1 – зворотна пружина реостата; 2 – реостат; 3 – нерухомий ролик; 4 – рухомий ролик; 5 – штовхач; 6 – пружина штовхача; 7 – важіль датчика

1.5. Дослідження точності каверноміра механічного

Діапазон вимірів розкриття важелів електромеханічного блока R коливається від 50 до 300 мм. Межа відносної похибки (δ , %) при вимірюванні R, можна визначити за формулою:

$$\delta = \pm \left[2 + \left(\frac{X_{\text{вим}}}{X_k} - 1 \right) \right], \quad (1.7)$$

де X_k - значення виміряної величини, мм; $X_{\text{вим}}$ - значення виміряної величини, рівне 300 мм.[5]

$$\delta_1 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{50} - 1 \right) \right] = \pm 7\%;$$

$$\delta_2 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{100} - 1 \right) \right] = \pm 4\%;$$

$$\delta_3 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{150} - 1 \right) \right] = \pm 3\%;$$

$$\delta_4 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{200} - 1 \right) \right] = \pm 2,5\%;$$

$$\delta_5 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{250} - 1 \right) \right] = \pm 2,2\%;$$

$$\delta_6 = \pm \left[2 + \left(\frac{300}{300} - 1 \right) \right] = \pm 2,0\%.$$

Побудуємо графік залежності відносної похибки від радіуса розмикання важелів, обчисленої за формулою (рис. 1.5.1).

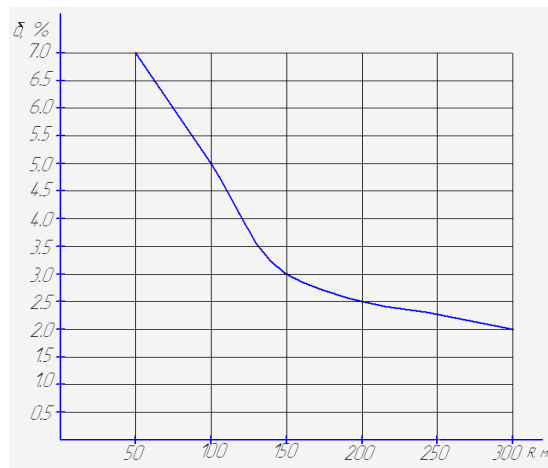


Рис. 1.5.1. Межа допустимої відносної похибки вимірювань

1.6. Розробка структурної схеми приладу

Пристрій складається з електромеханічного блоку та електронного блоку. Він з'єднаний із наземним комплексом трижильним геофізичним кабелем, уздовж першого сердечника і обплетенню якого пристрій електрично живиться постійним електричним струмом позитивної полярності.

На другому і третьому ядрах (при увімкненому живленні пристрою) відбувається прийом команд і передача вимірюваної інформації.

При відключенні електроживлення пристрою двигун електромеханічного блоку для відкривання (закриття) важелів, живиться

від другого і третього жил. Контроль завершення процесу відкриття (закриття) відбувається за величиною постійної напруги негативної полярності, яка подається пристроєм на першу жилу кабелю.

Електро механічний вузол містить чотири важелі з пружинами, що забезпечують пружне притискання важелів до стінки свердловини. До кожного з важелів через штовхач механічно підключений резистивний датчик, який забезпечує вимірювання радіуса відкриття важеля [5].

Електро механічний вузол включає двигун і привід, які забезпечують багаторазове відкривання (закриття) важелів.

Електронний блок включає блоки, що забезпечують посилення, перетворення в цифрову форму та передачу наземному обладнанню вимірювального сигналу від резистивних датчиків.

Крім того, електронний блок має компоненти, які забезпечують пристрій необхідними напругами живлення, а також керують роботою пристрою та приймають команди від наземного обладнання.

Резистивні датчики радіусів відкривання важеля живляться до тих пір, поки живлення пристрою вимкнено, а перетворення в цифрову форму та передача на поверхню вимірювальної інформації - після отримання командного сигналу від наземного обладнання.

Електро механічний блок дозволяє здійснювати відкривання і закривання важелів (за командою з поверхні), їх пружне притискання до стінки свердловини і перетворення радіусів відкриття важелів в електричні сигнали. Електро механічний блок має чотири незалежних важеля [5]

1.7. Підбір основних елементів приводу каверноміра

Виділимо основні елементи приводу важельної системи електромеханічного блоку механічного каверноміра.

При виборі двигуна слід звертати увагу на наступні вимоги, яким він повинен відповідати.

1. Напруга джерела живлення є постійною та становить $200 \pm 15\text{В}$. Робочий струм двигуна 0,4 А. Струм відключення двигуна 0,5 А (при перевантаженні відбувається автоматичне відключення двигуна, що запобігає його поломку і дозволяє не використовувати зчеплення граничного моменту);
2. Двигун повинен працювати в рідкому діелектричному середовищі (масляний тип ІРМ - 10) при максимальному гідростатичному тиску 120 МПа та діапазоні робочих температур навколишнього середовища від -10°C до $+175^{\circ}\text{C}$;
3. Крутний момент на валу двигуна повинен бути не менше 0,18 Нм при частоті обертання ротора $200 \pm 5 \text{ 1 / с}$;
4. Двигун повинен мати вбудовану гальмівну муфту, щоб зафіксувати ротор у знеструмленому стані;
5. Режим роботи двигуна – реверсивний;
6. Габаритні розміри двигуна – діаметр не більше 53 мм, довжина не більше 180 мм.

Вищезазначеним вимогам відповідає клапанний двигун DV-40, розроблений ОАО ДКБ ГП з датчиками Холла та гальмівною муфтою для миттєвої зупинки вала двигуна після відключення електроенергії.

При проектуванні або виборі коробки передач серед існуючих, перш за все, слід враховувати передавальне число і крутний момент, що передається коробкою передач. Також не менш важливим параметром при

виборі коробки передач є її габаритні розміри вхідного і вихідного валів, ефективність та розрахунковий термін служби редуктора (без ремонту).

Для перетворення обертального руху вихідного валу редуктора в поступальний рух штока використовується гвинтова пара або іншим чином передача "гвинтова гайка". Існує кілька варіантів побудови такого механізму.

Один з них - гвинтовий механізм з тертям ковзання. Цей механізм складається з гвинта, гайки та стійки (нерухома основа). Провідною ланкою є обертова гайка, що приводиться в рух - гвинт, який поступально рухається уздовж прямої (один із варіантів побудови системи, прийнятної для використання в приводних важелях каверноміра).

Ця конструкція самогальмується, але має низький ККД (через втрати на тертя в парі гвинт-гайка). У той же час рух гвинта відбувається досить повільно, що негативно впливає на час відкриття важелів каверномітра, збільшуючи тим самим ймовірність аварійної ситуації. Мова йде про можливість притискання пристрою до стінки свердловини гідростатичним тиском, що перешкоджатиме нормальній роботі пристрою. Тому ми не будемо розглядати цей варіант у цій роботі.

Розглянемо гвинтовий механізм з тертям кочення (кульково-гвинтова передача). Кульові гвинтові механізми все частіше застосовуються завдяки високому коефіцієнту корисної дії (95 - 98%), який досягається заміною тертя ковзання на тертя кочення. Гвинт і гайка мають гвинтові канавки, по яких рухаються кульки рису. 1.7.1.

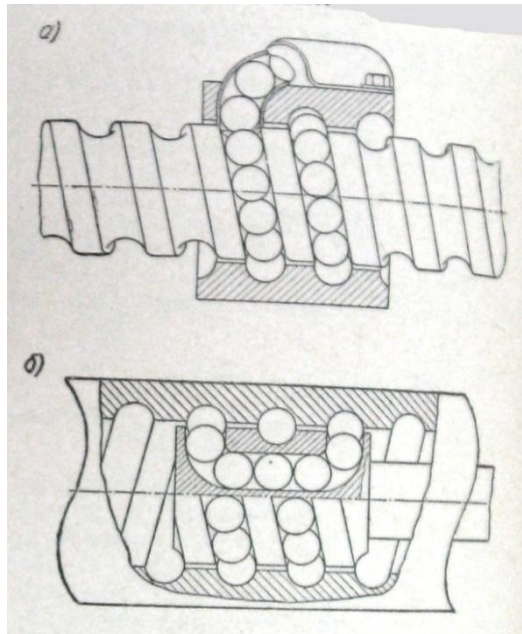


Рис. 1.7.1. Кулько-гвинтовий механізм

Гайка (рис. 1.7.1, а) має канал, що з'єднує кінець гвинтової канавки з її початком. Набагато рідше такий швелер виконується у гвинті (рис. 1.7.1, б). На початку та в кінці каналу встановлені відбивачі, які переривають шлях куль в гвинтовій канавці і направляють їх уздовж каналу у вихідне положення.

Гвинтова канавка між відбивачами та каналом заповнена кулями. У результаті виходить замкнута система, у якій в процесі роботи механізму відбувається безперервна циркуляція куль в кулькових підшипниках. Кількість робочих кульок в одній закритій системі рекомендується вибирати в межах $n \leq 50$ штук, оскільки при більшій кількості їх втрати на тертя куль в розвантажувальному каналі збільшуються. Застосування кульок-сепараторів недоцільно, оскільки в цьому випадку несуча здатність системи зменшується вдвічі, а ефективність майже не змінюється. На відміну від попередніх механізмів, кульові гвинти використовуються для перетворення обертального руху в поступальне і зворотне перетворення.

Конструкція одного з варіантів кулькогвинтового механізму приведено на рис. 1.7.2.

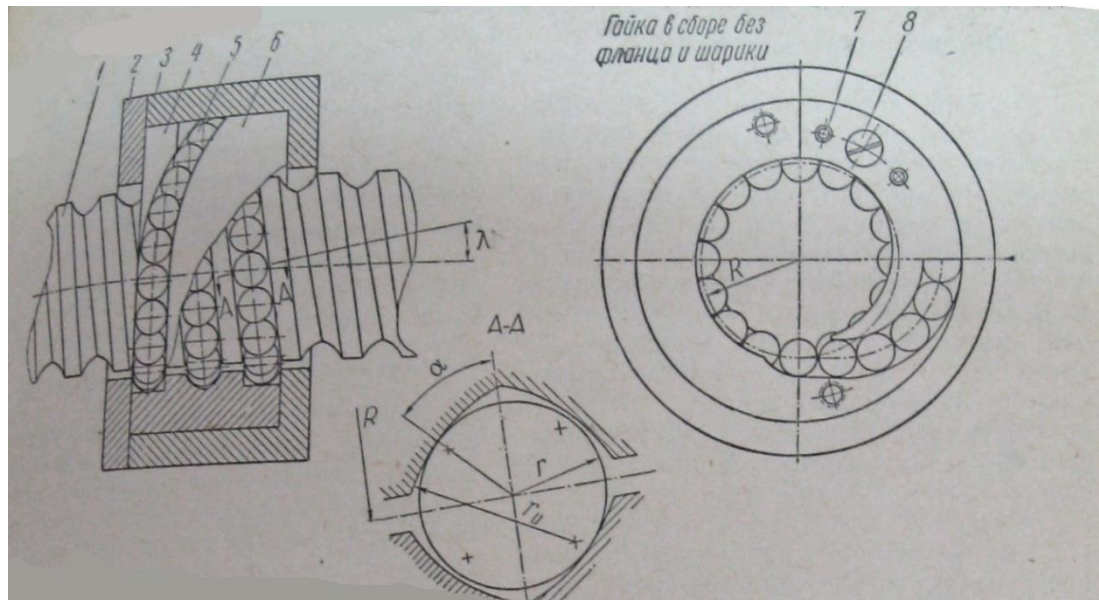


Рис. 1.7.2. Конструкція кулькогвинтового механізму зі з'єднувальним каналом в гайці:

1 – гвинт; 2 – фланець; 3 – гільза; 4 – відбивачі; 5 – кульки; 6 – гайка; 7 – штифти; 8 – гвинт

ККД і передача сил з достатньою точністю для практики перетворення обертального руху в поступальний знаходиться за формулою:

$$\eta_1 = 1 - \frac{k}{(r * \sin \alpha * \sin \lambda + k * \cos \lambda) \sin \lambda}, \quad (1.8)$$

При перетворенні поступального руху в обертаний

$$\eta_2 = 1 - \frac{k}{(r * \sin \alpha * \cos \lambda + k * \sin \lambda) \sin \lambda}, \quad (1.9),$$

де $\eta_{1,2}$ - ККД механізму; k – коефіцієнт тертя кочення; λ - кут підйому гвинтової лінії на циліндрі радіусу R .

Зміна поступального руху в обертаний можливо при умові $k < r \sin \alpha * \tan \lambda$. При проектуванні кут підйому слід обирати більшим за 3° .

У випадку перетворення обертового руху в поступальний рушійний момент M_p і сила корисного опору P_o зв'язані відношенням:

$$M_p =$$

$$\frac{P_o R t g \lambda}{\eta_1}, \quad (1.10)$$

Нормальний тиск P_n у залежності від рушійної сили чи рушійного моменту за умови рівномірного розподілу навантаження між кулями знаходиться з рівнянь

$$P_n = \frac{P_p}{n \sin \alpha \cos \lambda}, \quad (1.11)$$

$$P_n = \frac{M_p}{n R \sin \alpha \sin \lambda}, \quad (1.12),$$

де n – число робочих кульок.

На рис. 1.7.3 зображено залежність ККД механізму від λ .

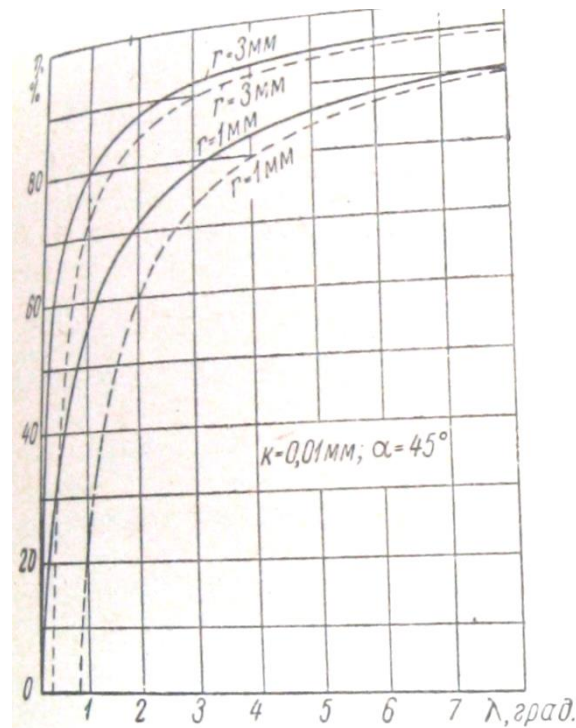


Рис. 1.7.3. Криві ККД кульково-гвинтових механізмів

—— перетворення обертового руху в поступальний; - - - -

поступального в обертовий

Таким чином, кульково-гвинтова передача має такі особливості та переваги:

- точність (допустима похибка переміщення 23 мкм/300 мм);
- плавна робота (виготовлення з високо вуглецевих сталей, що піддаються індукційному гартуванню, що знижує механічні навантаження і забезпечує високу плавність роботи);
- безшумна робота (висока ступінь точності і виняткова поверхня забезпечують безшумну роботу);
- постійний передаваний момент (точні геометричні циліндричні форми гвинтів і сферична форма кульок (максимальне відхилення від 3 до 6 мкм), що потрібно для постійності моменту, що передається в рухомих механізмах машин) [11].

Єдиним недоліком кулькових гвинтових пар є їх висока ціна. Однак у поєднанні з вищезазначеним двигуном "DV-40" привід стає більш досконалим і не вимагає не менш дорогої муфти граничного крутного моменту зчеплення, щоб захистити двигун з коробкою передач від пошкодження внаслідок заклинювання важелів. Як і в разі перевантаження, двигун вимикається автоматично.

Кулько-гвинтова передача має вигляд рис. 1.7.4.



Рис. 1.7.4. Кулько-гвинтова передача

1.8. Розрахунок приводу каверноміра механічного

1.8.1. Розрахунок редуктора

Оскільки параметри двигуна відомі відразу, розрахунок приводу каверноміра зводиться до розрахунку редуктора.

З конструктивних міркувань та використовуючи знання аналогів пристрою, ми обираємо загальне передавальне число редуктора, рівне 336.

Розрахунок проводиться за запропонованою раніше кінематичною схемою. Коробка передач складається з прямозубної двоступінчастої коробки передач із передавальним числом 2 і триступінчастої планетарної коробки передач із загальним передавальним числом 173.

1.8.1.1. Кінематичний розрахунок механізму

Частота обертання 1-го валу:

$$n_1 = n_{\text{дв}} = 12000 \text{ об/хв} (200 \text{ 1/с});$$

так як $i_{21}=2$, то

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{21}} = \frac{12000}{2} = 6000 \text{ (об/хв)};$$

$i_{32}=1$ звідки знайдемо n_3 :

$$n_3 = n_2 = 6000 \text{ (об/хв)};$$

Ми обираємо трансмісію циліндричних циліндричних передач із зовнішнім зачепленням. Він передає рух між паралельними валами і є найпоширенішим видом передачі, оскільки має безліч переваг, до яких відносяться: технологічність конструкції, максимально допустима точність обробки коліс і монтажу, висока ефективність, низька ціна.

Для цього пристрою ми беремо найпоширеніший тип зачеплення - евольвентне зачеплення. Цей тип задовольняє потреби в технологічності, правильній передачі різних коліс одним і тим же модулем, високій міцності на вигин, нечутливості до похибок на осьовій відстані, мінімізації

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поперечного зазору в зачепленні та забезпеченні стабільності передаточного числа.

Задамося кількістю зубців на малих колесах:

$$Z_1=17; \quad Z_4= 24;$$

Визначимо кількість зубців великих коліс:

$$Z_2 = Z_1 \cdot i_{21} = 17 \cdot 2 = 34;$$

$$Z_3 = Z_4 \cdot i_{32} = 24 \cdot 1 = 24.$$

Визначимо ККД редуктора з прямозубою передачею.

Сумарний ККД (далі ККД) передачі визначається як добуток ефективності окремих елементів, включених в кінематичну ланку. Для ступінчатого редуктора, що складається з „ n ” зубчатих пар, вираз загального ККД має вигляд:

$$\eta_p = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \dots \cdot \eta_n \cdot \eta_{підш}^{n+1},$$

де $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots, \eta_n$ – ККД окремих зубчатих пар;

$\eta_{підш}$ – ККД однієї пари підшипників;

n – кількість пар зубчатих коліс редуктора (для нашої схеми $n=3$).

ККД зубчатої циліндричної пари визначається за формулою:

$$\eta = 1 - \frac{1}{2} \cdot (c \cdot f \cdot \pi \cdot (\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}));$$

де $f = 0,07$ – коефіцієнт тертя в зачепленні;

$c = 1,5$ – коефіцієнт перекриття пари зубчатих коліс.

Розрахуємо КПД кожної зубчатої циліндричної пари:

$$\eta_1 = 1 - 0,5 \cdot (1,5 \cdot 0,07 \cdot 3,14 \cdot (\frac{1}{34} + \frac{1}{17})) = 0,9851;$$

$$\eta_2 = 1 - 0,5 \cdot (1,5 \cdot 0,07 \cdot 3,14 \cdot (\frac{1}{24} + \frac{1}{24})) = 0,9862.$$

Для підшипників кочення та сковзання ККД дорівнює:

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{midu}=0,98;$$

$$\eta_{midu}=0,98^{2+1}=0,9412.$$

Отримані значення підставимо в загальну формулу[7]:

$$\eta_p = 0,9862 * 0,9851 * 0,9112 = 0,9144.$$

1.8.1.2. Визначення модуля зубчастих коліс

Візьміть матеріал, з якого колеса зроблені зі сталі 45. Сталь 45 має допустиме напруження $[\sigma_f]=180$ МПа.

Перевіримо обране значення модуля для найбільш навантаженої пари перенесення із стану міцності зубів на вигин.

$$m \geq K_m \sqrt[3]{\frac{M \cdot K_\beta \cdot Y_F}{Z \cdot \psi_{bm} \cdot [\sigma_f]}},$$

де M – момент, що діє на найбільш навантажене колесо;

K_m – коефіцієнт, який приймається рівним $K_m=1,4$ для прямозубих коліс;

$K_\beta = 1...1,5$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по ширині колеса, менше значення приймають для вузьких коліс, при симетричному їх розташуванні (візьмемо $K_\beta = 1,2$);

Z – кількість зубців колеса, що розраховуємо ($Z=17$);

Y_F – коефіцієнт форми зуба ($Y_F = 1,36$);

Ψ_{bm} – коефіцієнт відношення ширини зубчатого венця до модуля.

Значення коефіцієнта лежить в межах $3 \leq \Psi_{bm} \leq 16$ ($\Psi_{bm} = 8$).

Визначимо момент, що діє на найбільш навантажене колесо:

$$M = M_1 \cdot i_p \cdot \eta_p,$$

де M_1 – момент двигуна ($M_H=0,18$ Нм);

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

i_p та η_p – відповідно загальне передаточне відношення та ККД редуктора.

$$M=0,18*2*0,9144=0,33(\text{Нм}).$$

Підставимо всі коефіцієнти в формулу та визначимо модуль:

$$m \geq 1,4 \sqrt[3]{\frac{0,33 * 1000 * 1,2 * 1,36}{17 * 8 * 180}} = 0,28(\text{мм}).$$

Обираємо модуль рівним: $m=0,5$ мм по СТ – СЭВ 310-76 [1].

Представимо розрахунки геометричних параметрів зубчатих коліс у вигляді таблиці.

Таблиця 1.8.1

	Найменування параметру	Зубчаті колеса			
		z1	z2	z3	z4
1	Модуль (m), мм	0,5	0,5	0,5	0,5
2	Кількість зубців (Z)	17	34	24	24
3	Ділильний діаметр ($d=mz$), мм	8,5	17	12	12
4	Діаметр вершини зуба ($ha=d+2m$), мм	9,5	18	13	13
5	Діаметр вершини впадин ($hf=d-2,5m$), мм	7,2	15,7	10,7	10,7
6	Ширина венця (b), мм	6	4	6	4
7	Міжосьова відстань($a = \frac{m(Z1+Z2)}{2}$), мм	12.75		12	

1.8.1.3. Розрахунок на міцність

Виконаємо проектний розрахунок шестерні на міцність. Знайдіть фактичну контактну напругу.

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{M \cdot K_\beta \cdot K_a^3 \cdot (i_{5,6} + 1)^3}{i_{5,6} \cdot \psi_{ba} \cdot a_\omega^3}}, \quad (1.13)$$

де M – момент, що діє на найбільш навантажене колесо;

$K_\beta = 1 \dots 1,5$ – коефіцієнт нерівномірного навантаження на ширину колеса, менші значення приймаються для вузьких коліс з їх симетричним розташуванням (візьмемо $K_\beta = 1,2$)

K_a - коефіцієнт який розраховується за формулою

$$K_a = \sqrt[3]{0,55 \cdot K_V \cdot E_{np} \cos^2 \beta}; \quad (1.14)$$

$$K_a = \sqrt[3]{0,55 \cdot 1,1 \cdot 2,15 \cdot 10^5} = 50,5 \text{ (МПа)}. \quad (1.15)$$

Розрахуємо a_ω (міжосьова відстань) та ψ_{ba} (коефіцієнт ширини колеса):

$$a_\omega = \frac{m(Z_3 + Z_4)}{2} = \frac{0,5(34 + 17)}{2} = 12,75 \text{ (мм)};$$

$$\psi_{ba} = \frac{\psi_{bm} \cdot m}{a_\omega} = \frac{8 \cdot 0,5}{12,75} = 0,314.$$

Визначивши всі коефіцієнти, підставляємо їх у загальну формулу та отримуємо:

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{330 \cdot 1,2 \cdot 50,5^3 \cdot (2+1)^3}{2 \cdot 0,314 \cdot 12,75^3}} = 325,25 \text{ (МПа)};$$

Знайдемо допустимі контактні напруження:

$$[\sigma_H] \approx 2,6 \cdot HB = 520 \text{ (МПа)}.$$

Отримане нами значення фактичної контактної напруги не перевищує допустимого значення контактної напруги для цього матеріалу, що задовольняє умовам проектного завдання.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

1.8.1.4. Розрахунок зубців на згинання

Метою даного розрахунку є запобігання зламу зубців.

$$\sigma_f = \frac{K_m \cdot M \cdot K_\beta \cdot Y_f}{m^3 \cdot Z_6 \cdot \psi_{bm}}, \quad (1.16)$$

де M – момент, що діє на найбільш навантажене колесо;

K_m – коефіцієнт, який приймається рівним $K_m=1,4$ для прямозубих коліс;

$K_\beta = 1...1,5$ – коефіцієнт нерівномірного навантаження на ширину колеса, менші значення приймаються для вузьких коліс з їх симетричним розташуванням (візьмемо $K_\beta = 1,2$);

Z_6 – кількість зубців колеса, що розраховуємо ($Z_6=61$);

Y_F – коефіцієнт форми зуба ($Y_F = 1,36$);

Ψ_{bm} – коефіцієнт відношення ширини зубчатого венця до модуля. Значення коефіцієнта лежить в межах $3 \leq \Psi_{bm} \leq 16$ ($\Psi_{bm} = 8$).

Підставляючи значення Знайдемо діюче напруження:

$$\sigma_f = \frac{1,4^3 \cdot 330 \cdot 1,2 \cdot 1,36}{0,5^3 \cdot 17 \cdot 8} = 86,93 \text{ (МПа)}.$$

Розраховане значення діючого напруження не перевищує допустимого $[\sigma_f]=180 \text{ МПа}$ [7].

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.8.1.5. Розрахунок діаметрів валів редуктора

Розрахуємо діаметри валів редуктора на основі розрахунку кручення при допустимих напруженнях, де M - крутний момент, що діє в розрахунковому перерізі вала, $[\tau]$ - допустиме напруження при крученні.

$$[\tau] = 15 \dots 30 \frac{H}{мм^2};$$

$$d \geq 1,1 \cdot \sqrt[3]{\frac{M}{0,2 \cdot [\tau]}};$$

Обираємо матеріал для розрахунку Сталь 45 $\Rightarrow [\tau] = 15 \text{ МПа}$.

Розрахуємо найбільш навантажений вал редуктора (вихідний вал).

$$d \geq \sqrt{\frac{330}{0,2 \cdot 15}} = 3,97 \text{ (мм)};$$

З конструктивних міркувань ми вибираємо діаметри всіх валів рівними 4 мм.

1.8.1.6. Розрахунок підшипників

Підберемо підшипники. Для цього розраховують величину сил, що діють на колеса, розміщені на найбільш навантаженому валу (на вихідному валу редуктора):

$$P_{04} = \frac{2M}{m \cdot Z_2}; \quad (1.17)$$

$$P_{04} = \frac{2 \cdot 330}{0,5 \cdot 34} = 38,82 \text{ (Н)}.$$

Радіальні зусилля (α - кут зачеплення, що дорівнює 20°)

$$P_{04r} = P_{04} \operatorname{tg} \alpha = 38,82 \cdot 0,36 = 13,98 \text{ (Н)};$$

Осьове зусилля [10]:

$$P_{04a} = P_{04} \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) = 38,82 \cdot 0,36 \cdot 0,03 = 0,48 \text{ (Н)};$$

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з ГОСТ 18854-82 еквівалентне статичне навантаження

$$\begin{cases} Q_0 = x_0 F_r + y_0 F_a \\ Q_0 = F_r \end{cases}, \quad (1.18)$$

де F_r, F_a - відповідно радіальне та осьове навантаження на підшипник
 x_0, y_0 - коефіцієнти радіального и осьового навантажень.

Для однорядного радіального підшипника: $x_0 = 0.6$; $y_0 = 0.5$;

$$\begin{cases} Q_1 = 0.6 \cdot 38.82 + 0.5 \cdot 13.98 = 30.28(H) \\ Q_0 = 38.82(H) \end{cases};$$

Обираємо найбільше значення $Q_0 = 38.82 H$. Підберемо підшипник по допустимому значенню статичної вантажопідйомності[10].

Виконаємо розрахунок підшипнику на довговічність

$$L_b = \frac{10^6 L}{60n} = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{c}{p} \right)^\gamma; \quad (1.19)$$

де n - частота обертання, об/хв;

c - динамічна вантажопідйомність, Н;

p - еквівалентне динамічне навантаження, Н;

$\gamma = 3$ - для кулькових підшипників. задаємося довговічністю $L=10000$ годин.

$$C = \sqrt[3]{\frac{L \cdot P^3 \cdot 60 \cdot n}{10^6}} = \frac{38.82}{100} \sqrt[3]{10000 \cdot 60 \cdot 6000} = 594.96 \approx 595(H);$$

Вибираємо підшипники серії 1000084 з наступними параметрами:

$d = 4\text{мм}$; $B=4\text{мм}$; $r=0.4\text{мм}$; $D=10\text{мм}$;

$D=2.000 \text{ мм}$; $C=595 \text{ Н}$; Маса 4,5 г. [2]

1.8.1.7. Розрахунок планетарної передачі

Частота обертання вхідного валу дорівнює частоті обертання вихідного валу прямозубого редуктора:

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{1пл} = n_{4пр} = 6000 \text{ об/хв} (100 \text{ 1/с});$$

передаточне число однієї ланки планетарного редуктора

$$i_{л} = \sqrt[3]{i_{пл ред}} = \sqrt[3]{173} = 5,6;$$

$$\text{тоді } n_{3пл} = n_{1пл} / i_{л}^2 = \frac{6000}{5,6^2} = 193,4 (\text{об/хв});$$

прийнемо ККД редуктора 95%, тоді момент на вихідному валу планетарного редуктора:

$$M_{нлз} = M_{нл1} \cdot i_p \cdot \eta_p;$$

де $M_{нл1}$ – момент на вхідному валу ($M_{нл1} = 0,33 \text{ Нм}$);

i_p та η_p – відповідно загальне передаточне відношення та ККД редуктора.

$$M_{нлз} = 0,33 \cdot 173 \cdot 0,95 = 54,24 \text{ (Нм)}.$$

Оскільки розрахунок планетарної коробки передач досить громіздкий, а ланки мають однакове передавальне число, розрахунок буде виконуватися лише для останньої ланки планетарної коробки передач (як найбільш навантаженої) та вибирати конструктивні параметри 1 і 2 ланок на основі за результатами розрахунку.

1. Щоб забезпечити рівномірність розподілу навантаження на супутники та отримати компактну конструкцію редуктора, ми беремо кількість супутників $s=3$.

2. За врахуванням уникнення підрізання зубців ($Z \geq 17$) приймаємо $Z_1=20$, Z_2 і Z_3 знаходимо за формулами:

$$Z_3 = (i_p - 1)Z_1 = (5,6 - 1) \cdot 20 = 92;$$

$$Z_2 = (Z_3 - Z_1) \cdot 0,5 = (91 - 20) \cdot 0,5 = 36.$$

Перевіримо правильність підбору кількості зубів за умов співвідносності, колективності та сусідства.

Умова співвідносності:

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 - Z_2;$$

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$20+36=92-36;$$

$$56=56.$$

Умова збірності:

$$\frac{Z_1 + Z_3}{c} = \gamma(\text{цїле число});$$

$$\frac{20+92}{3} = 37.33.$$

Умова сусідства:

$$(Z_1 + Z_2) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{c}\right) \geq (Z_2 + 2);$$

$$(20+36) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \geq (36 + 2);$$

$$48.24 > 38.$$

Отже, всі три умови виконано.

Уточнюємо фактичне передаточне відношення редуктора:

$$u_{ред} = 1 + \frac{Z_3}{Z_1} = 1 + \frac{92}{20} = 5.6.$$

Тобто передавальне число дорівнює раніше прийнятому.

3. Визначимо кутові швидкості редуктора за допомогою нерухомого колеса ω_3 .

$$\text{Кутова швидкість колеса } \omega_3 = \omega_e = 20.03 \left(\frac{рад}{с}\right);$$

Кутова швидкість водила(абсолютна):

$$\omega_h = \frac{\omega_1}{1 + \rho} = \frac{20.03}{1 + 4.6} = 3.58 \left(\frac{рад}{с}\right);$$

$$\rho = \frac{Z_3}{Z_1} = \frac{92}{20} = 4.6.$$

Кутова швидкість сонячного колеса у відносному русі

$$\omega'_1 = \omega_1^3 - \omega_h^3 = 20.03 - 3.58 = 16.45 \left(\frac{рад}{с}\right);$$

Передавальне відношення між сонячним колесом і супутником у відносному русі (коли автомобіль зупинено):

$$u_{12}^h = \frac{\omega_1}{\omega_2^h} = -\frac{Z_2}{Z_1} = -\frac{36}{20} = -1.8.$$

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Відносна кутова швидкість сателіта:

$$\omega_2' = \frac{\omega_1}{u_{12}^h} = -\frac{16.45}{-1.8} = 9.14(\text{рад/с}).$$

4. Визначення ККД планетарної передачі

ККД Ефективність планетарної передачі без урахування втрат в підшипниках $\eta_{1h} = 1 - \left(\frac{1}{u_{1h}^3}\right) \cdot (1 - \eta_{13});$

$$\eta_{1h} = \left(1 - \frac{1}{5.6}\right) \cdot (1 - 0.98 \cdot 0.96) = 0.95,$$

де η_{13} - ККД передачі при зупиненому водилі;

$$\eta_{13} = \eta_{12} = \eta_{23} = 0.99 \cdot 0.96 = 0.94.$$

$\eta_{12} = 0.98$ - ККД зовнішнього зубчатого зацеплення;

$\eta_{23} = 0.96$ - ККД внутрішнього зубчатого зацеплення.

Повний ККД редуктора з врахуванням втрат в парі підшипників($\eta_n = 0.99$):

$$\eta_{ред} = \eta_{1h}^3 \eta_n = 0.95^3 \cdot 0.99 = 0.85; (\text{ККД редуктора з трьох ланок}).$$

Розрахуємо момент на шестерні(прийmemo $K_t = 1.5$;))

Приведене число сателітів c :

$$c' = c - 0.7 = 3 - 0.7 = 2.3;$$

тоді розрахунковий момент на шестерні:

$$M_t = M_{нлз} \cdot K_t / c' = 54.24 \cdot 1.5 / 2.3 = 35.37 \text{ (Нм)};$$

5. Розрахунок зацеплення на витривалість зубців

Виберіть для всіх передач середньолеговану Сталь 40Х (ковка); міцність на розрив $\sigma_t = 900 \text{ Н/мм}^2$, термічна обробка - об'ємне зміцнення. Згідно з керівництвом, середня твердість зубів HB 350, тому ми призначаємо середню твердість зубів сонячного колеса HRC 40, супутників HRC 38.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Допустима контактна напруга визначається за формулою:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot K_{HL}}{[n]_H} = \frac{18 \cdot 38 \cdot 150}{12} = 695 \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right);$$

де $\sigma_{Hlim} = 18 \text{ HRC} + 150$; $[n]_H=1,2$; $K_{HL} = 1$;[2]

Допустиме напруження згину для зубців сонячного колеса визначається за формулою:

$$[\sigma]_{F1} = \frac{[\sigma]_{Flim} \cdot b}{[n]_F} = \frac{550}{1.8} = 305 \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right);$$

Допустимі напруги вигину для супутника, що зазнає змінних напружень, визначаються за тією ж формулою, але зі зміненими значеннями коефіцієнтів, що враховують умови роботи супутників $[n]_F=2$; $K_{FG} = 0.7$:

$$[\sigma]_{F2} = \frac{[\sigma]_{Flim} \cdot b}{[n]_F} K_{FG} = \frac{550 \cdot 0.7}{2} = 192 \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right);$$

Осьова відстань $a_{\omega 12}$ визначається з умови контактної витривалості активних поверхонь зубів $a_{\omega 12} = (u + 1) \sqrt[3]{\left(\frac{310}{[\sigma]_H} \right)^2} = \frac{M_1 K_H}{\psi_{ba} u_{12} c}$,

визначаємо значення коефіцієнта ширини колеса ψ_{ba} у випадку трьох сателітів за формулою:

$$\psi_{ba} = \frac{1.5}{u_{12} + 1} = \frac{1.5}{5.6} = 0.27;$$

таким чином

$$a_{\omega 12} = \frac{54.24 \cdot 1.5}{0.27 \cdot 3 \cdot 2.3} = 43.67 (\text{мм}).$$

Модуль зачеплення при сумарній кількості зубців:

$$Z_{\Sigma} = Z_1 + Z_2 = 20 + 36 = 56;$$

$$m = 2 a_{\omega 12} / Z_{\Sigma} = 2 \cdot 43.67 / 56 = 1.5;$$

Відповідно до стандарту вибирайте модуль, рівний 0,8. Збільшити витривалість найнавантаженого каналу, замінивши один супутник на їх пару.

Уточнюємо міжосьову відстань

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

$$a_{\omega 12} = (u + 1) \frac{m Z_{\Sigma}}{2} = 0.8 \cdot \frac{56}{2} = 22.4 \text{ (мм)};$$

Ширина зубчастих коліс

$$b_2 = \psi_{ba} \cdot a_{\omega 12} = 0.27 \cdot 22.4 = 6.05 \text{ (мм)};$$

Припускаючи, що сонячне колесо буде плавати, збільште ширину центральних коліс на 1 мм з кожного боку ($\Delta=2$):

$$b_1 = b_3 = b_2 + 2\Delta = 6.05 + 2 = 8.05 \text{ (мм)};$$

Для перевірки величини σ_1 уточнюємо коефіцієнт

$$K_H = K_{Ha} + K_{H\beta} + K_{Hv} ,$$

Приймаємо $K_{Ha} = 1.15$; $K_{H\beta} = 1.25$; $K_{Hv} = 1.1$;

$$K_H = 1.15 \cdot 1.25 \cdot 1.1 = 1.6;$$

За формулою знаходимо:

$$\sigma_H = \frac{310}{a_{\omega}} \sqrt{\frac{M(u_{12} + 1)^3 K_H}{b u_{12} c}} = \frac{310}{22.4} \sqrt{\frac{54.24 \cdot 1000 \cdot (5.6 + 1)^3 1.6}{8.05 \cdot 5.6 \cdot 2.3}} = 678.8$$

Відхилення від σ_H : $\frac{695 - 678.8}{695} \cdot 100 = 2.33\%$ (допускається до 10%);

Розраховані згинальні навантаження зубної ніжки зазвичай визначаються для зубів колеса, для яких співвідношення $[\sigma] / Y_F$ менше, за ГОСТ 21354-75 для шестерні при $Z=20$ $Y_{F1} = 4.09$; для колеса при $Z=36$ $Y_{F1} = 3.62$

Відношення:

$$\frac{[\sigma_{F1}]}{Y_{F1}} = \frac{305}{4.09} = 74.5 \text{ і } \frac{[\sigma_{F2}]}{Y_{F2}} = \frac{192}{3.62} = 53 ,$$

Тому розрахунок слід проводити за супутником.

Кругова швидкість у зачепленні зовнішньої пари 1.2 щодо системи координат, пов'язаної з осями шестерень (відносно водила h):

$$v^h = \frac{d_1 \omega_1^h}{2 \cdot 1000} = \frac{16 \cdot 16.45}{2 \cdot 1000} = 0.13 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right);$$

Значення коефіцієнта навантаження $K_F = K_{Fv} \cdot K_{F\beta} = 1.2 \cdot 1.18 = 1.41$;

Розрахункове напруження згину по формулі:

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$\sigma_{F2} = \frac{2M_1 K_F Y_F}{c m b d} = \frac{2 \cdot 54.24 \cdot 1.4 \cdot 3.6}{2.3 \cdot 0.8 \cdot 8.05 \cdot 28.8} = 128.2 \left(\frac{H}{mm^2} \right);$$

Умова $\sigma_{F2} \leq [\sigma]_{F2}$ витримана.

6. Геометричний розрахунок передачі

Діаметри ділільних кіл, мм по формулі:

$$d = m z;$$

$$d_1 = 0.8 \cdot 20 = 16(мм);$$

$$d_2 = 0.8 \cdot 36 = 28.8(мм);$$

$$d_3 = 0.8 \cdot 92 = 64.4(мм);$$

Діаметри кіл виступів і впадин для коліс із зовнішніми зубцями:

$$d_a = d + 2 \cdot m;$$

$$d_{a1} = 16 + 2 \cdot 0.8 = 17.6(мм);$$

$$d_{a2} = 28.8 + 2 \cdot 0.8 = 30.4(мм);$$

$$d_a = d - 2.5 \cdot m;$$

$$d_{f1} = 16 - 2.5 \cdot 0.8 = 14(мм);$$

$$d_{f2} = 28.8 - 2.5 \cdot 0.8 = 26.8(мм);$$

Для коліс із внутрішнім зачепленням:

$$d_{a3} = d_3 - 2m + \frac{15.2 \cdot m}{Z_3}$$

$$d_{a3} = 64.4 - 2 \cdot 0.8 + \frac{15.2 \cdot 0.8}{92} = 62.8(мм);$$

$$d_{f3} = d_3 + 2.5 \cdot m;$$

$$d_{f3} = 64.4 + 2.5 \cdot 0.8 = 68.4(мм);$$

7. Зусилля в зачепленні

Окружне зусилля в зачепленні знаходимо за формулою:

$$P_{12}=P_{21}=P_{23}=P_{32}=\frac{2M}{d_1}=\frac{2 \cdot 54.24}{16}=678(H);$$

Радіальне зусилля:

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$P = Ptga = 678 \cdot \operatorname{tg} 20^{\circ} = 276,48(\text{H});$$

Навантаження на вісь сателіта:

$$P_{2h} = P_{h2} = 2 \cdot P_{12} = 2 \cdot 678 = 1356(\text{H});$$

Відцентрова сила при таких швидкостях незначна тому нею можна знехтувати.

Основні параметри редуктора зведемо в таблицю.

Таблиця 1.8.2.

Основні параметри планетарного редуктора

	Найменування параметру	Числове значення
1	Кутова швидкість ведучого валу n_1 , об/хв	6000
2	Кутова швидкість вихідного валу n_2 , об/хв	193,4
3	Момент на ведучому валу M_1 , Нм	0,33
4	Момент на вихідному валу M_v , Нм	54,24
5	Передаточне відношення редуктора	173
6	Число сателітів s	3
7	Модуль зачеплення m , мм	0,8
8	Число зубців коліс ланки редуктора Z	$Z_1=20; Z_2=36; Z_3=92;$
9	Дільний діаметр коліс d , мм	$d_1 = 16; d_2 = 28,8;$ $d_3 = 64,4;$

1.9. Розрахунок працездатності

приладу

Виконаємо розрахунок за кінематико-функціональною схемою. Припустимо, що сила, з якою важіль пристрою притискається до стінки свердловини, дорівнює 80 Н. Припустимо, що сила діє перпендикулярно важелю. Довжина важеля 450 мм. Тоді момент, коли вам потрібно створити пристрій, дорівнює:

$$M = F \cdot l = 65 \cdot 0.45 = 29,25(\text{Нм}), \quad (1.20)$$

Радіус кулачка дорівнює 12 мм. Отже, розрахуйте силу, яку потрібно прикласти до штовхача, щоб забезпечити необхідний крутний момент:

$$F = \frac{M}{R} = \frac{29,25}{0.12} = 243,75(\text{Н}), \quad (1.21)$$

Тепер обчисліть силу, що діє на штовхач від кулькової гвинтової передачі, де крутний момент, що діє на гайку, дорівнює крутному моменту на вихідному валу редуктора $M=54,24 \text{ Нм}$, $d=15 \text{ мм}$.

$$F = \frac{2M \cdot \operatorname{tg}(\alpha)\eta}{d} = \frac{2 \cdot 54.24 \cdot 0.36 \cdot 0.98}{0.15} = 255,14(\text{Н}), \quad (1.22)$$

Таким чином, розрахований привід каверноміра забезпечує необхідну силу притискання важелів до стінки свердловини.

Пружини підберемо за аналогом приладу (свердловинний модуль кавернометрії КП2-М2):

- довжина ненавантаженої пружини 210 мм;
- довжина стиснутої пружини 176 мм;
- діаметр дроту 5мм;
- крок 6 мм;
- кількість витків пружини 38;
- діаметр середній 20 мм;

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- внутрішній діаметр 15 мм;
- жорсткість пружини 300 Н/мм.

1.10. Програма для розрахунку основних параметрів редуктора

Виконаймо програму для розрахунку основних параметрів редуктора з циліндричною редукторною передачею за допомогою алгоритмічної мови **Python** (текст програми приведено нижче).

program reduktor;

```
print('Calculation of gearbox')
print('-----')
print('Data entry')
print('-----')
n = float(input('Enter the number of gear units: n='))
m1 = float(input('Enter module a pair of wheels: m1='))
z1 = float(input('Enter the number of teeth first wheel: z1='))
z2 = float(input('Enter the number of teeth second wheel: z2='))
d1 = m1 * z1
d2 = m1 * z2
da1 = d1 + 2 * m1
da2 = d2 + 2 * m1
df1 = d1 - 2,5 * m1
df2 = d2 - 2,5 * m1
a1 = (m1 * (z1 + z2) / 2)
i12 = z2 / z1

if n>1 :
    m2 = float(input('Enter module a pair of wheels: m2='))
    z3 = float(input('Enter the number of teeth third wheel: z3='))
    z4 = float(input('Enter the number of teeth fours wheel: z4=' ))
    d3 = m2 * z3
    d4 = m2 * z4
    da3 = d3 + 2 * m2
    da4 = d4 + 2 * m2
    df3 = d3 - 2,5 * m2
    df4 = d4 - 2,5 * m2
    a2 = (m2 * (z3+z4) / 2)
    i34 = z4 / z3
    print('-----')
    print('Result')
    print('i34=', i34, ' d3=', d3, 'mm', ' d4=', d4, 'mm')
```

```

print('da3=',da3,'mm', ' da4=',da4,'mm' )
print('df3=',df3,'mm', ' df4=',df4,'mm' )
print('Median distance a2=', a2,'mm')

else :
    print('-----')
    print('Result')
    print('i12=', i34, ' d1=',d1,'mm', ' d2=',d2,'mm')
    print('da1=',da1,'mm', ' da2=',da2,'mm' )
    print('df1=',df1,'mm', ' df2=',df2,'mm' )
    print('Median distance a1=', a1,'mm')

```

Результати отримані внаслідок проведеного розрахунку двохступінчатого редуктора співпадають з отриманими вище (рис. 1.10.1).

```

Python 3.6.1 (default, Dec 2015, 13:05:11)
[GCC 4.8.2] on linux
Calculation of gearbox
-----
Data entry
-----
Enter the number of gear units: n=2
Enter module a pair of wheels: m1=0.5
Enter the number of teeth first wheel: z1=24
Enter the number of teeth second wheel: z2=24
Enter module a pair of wheels: m2=0.5
Enter the number of teeth third wheel: z3=17
Enter the number of teeth fours wheel: z4=34
-----
Result
i34= 2.0  d3= 8.5 mm  d4= 17.0 mm
da3= 9.5 mm  da4= 18.0 mm
df3= (6.5, 2.5) mm  df4= (15.0, 2.5) mm
Median distance a2= 12.75 mm
>

```

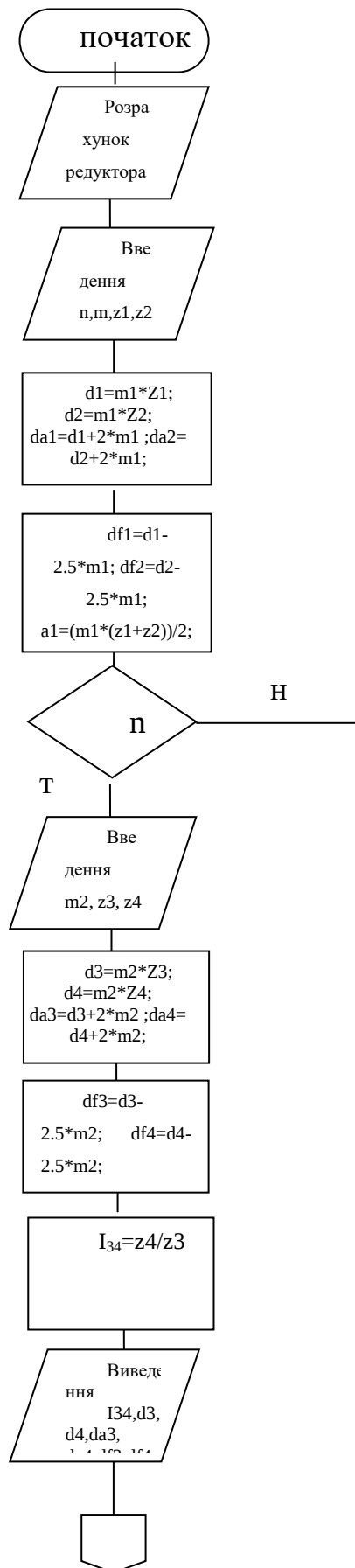
Рис. 1.10.1. Результати виконання програми для розрахунку двоступінчатого редуктора

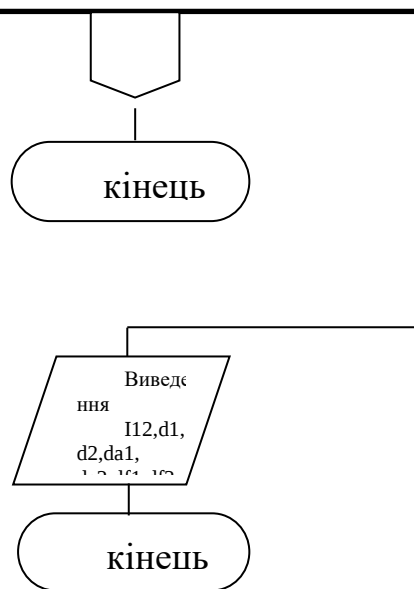
Дана програма призначена для розрахунку геометричних параметрів циліндричної двоступінчатої зубчатої передачі редуктора приводу каверноміра механічного. Опис роботи програми виконаємо за схемою алгоритму і таблицею ідентифікаторів [6].

Таблиця ідентифікаторів

Параметр	Позначення в пояснювальній записі	Позначення в програмі	Розмірність
Розрахунок геометричних параметрів редуктора			
Ділильний діаметр колеса(п-го), де $n=1..4$	dn	Dn	мм
Модуль	m	m	мм
Діаметр вершини зуба	da	da	мм
Діаметр вершини впадини	df	df	мм
Передаточне відношення ланки	i_{kj}	i_{kj}	1
Міжосьова відстань	a_{kj}	a_{kj}	мм
Кількість ланок редуктора	n	n	1
Кількість зубців колеса, де n – номер колеса	Zn	Zn	1

1.10.1. Алгоритм роботи програми





Ця програма спрощує процес отримання результатів розрахунку, скорочує час отримання їх, дозволяє оптимізувати параметри.

1.11. Методика проведення випробувань каверноміра

У промислових умовах каверномір тестується на зовнішній гідростатичний тиск і температуру, які відповідають реальним умовам, в яких буде працювати пристрій. Також випробуйте готовий продукт на транспортне струшування.

1.11.1. Випробування на зовнішній тиск і температуру

Програма випробувань на зовнішній гідростатичний тиск і температуру включає такі дії:

1. По-перше, пристрій підключається за допомогою кабелю 6000 м або його еквівалента. Потім опускають в автоклав;
2. Відкрийте та закрийте важелі електромеханічного блоку, фіксуючи час їх відкривання та закриття;
3. Поступово підвищують температуру та тиск у автоклаві до 121 МПа і 180°C. після чого повторюють пункт 2;

4. Підтримуйте заданий тиск та температуру протягом 2 годин, повторюючи відкривання / закриття важелів електромеханічного блоку кожні 30 хвилин;
5. Поступово знижуйте температуру і тиск в автоклаві до атмосферних. Потім повторіть крок 2.

Під час таких випробувань виявляється здатність робота виявляти пристрій у реальних умовах.

1.11.2. Випробування на транспортну тряску

Метою перевірки транспортного струсу є перевірка міцності вибійного модуля на міцність під час транспортування.

Методика випробувань полягає в наступному:

1. Закріплюють каверномір на випробувальному стенді (рис. 1.11.2.1);
2. Проводять випробування тривалістю 2 години згідно зі стандартом СТ ЕАГО-013-01.



Рис. 1.11.2. Стенд для випробування на транспортне трясіння з закріпленням на ньому приладом

В результаті цілісність конструкції контролюється після струшування на підставці. Прилад, що пройшов випробування відправляється замовнику[8].

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Під час магістерської дисертації були отримані наступні результати:

1. Огляд літератури з кавернометрії та профілометрії неосаджених свердловин. Розглянуто існуючі конструкції механічного каверномера (КМ) та умови експлуатації свердловинного обладнання;
2. Розглянуто питання точності пристрою. Досліджено залежність відносної похибки від радіуса відкриття важелів каверноміра;
3. Розроблена структура пристрою. Зроблено кінематичну функціональну схему електромеханічного блоку каверноміра;
4. Вибрано основні елементи приводу електромеханічного блоку КМ. Виконано розрахунок редуктора та приводу електромеханічного блоку КМ. Виконується розрахунок ККД пристрою;
5. Розробив програму на алгоритмічній мові Python для обчислення геометричних параметрів двоступеневої циліндричної шестерні;
6. Наведено методику проведення механічних кавернометричних випробувань.

Література

1. “Атлас конструкцій елементів приладових пристроїв”/під. ред. О.Ф.Тіщенко - М.: Вис. школа 1982г., 115с
2. Довідник конструктора точного приладобудування під ред. К. Н. Явленського. – Л.: Машиностроение 1989 г., 792с
3. *Заворотько Ю. М. Фізичні основи геофізичних методів дослідження свердловин* , М., Недра, 1983. – 208 с.
4. *Зельцман П. А. Конструирование аппаратуры для геофизических исследований скважин.* – Недра, 1968. – 180 с.
5. Модуль скважинний кавернометрии-профилометрии КП2-М2. Руководство по эксплуатации.
6. Немнюгин С.А. TurboPascal. Программирование на языке высокого уровня: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2005. – 544 с.
7. Первицкий Ю.Д. “Розрахунок і конструювання точних механізмів” - Л.: Машинобудування, 1976 р., 456 с
8. Програма испытаний Модуля скважинного кавернометрии-профилометрии КП2-М2.
9. Румбешта В.О. Основи технології складання приладів: Підручник. – К. : ІСДО, 1993. – 303 с.
10. “Элементы приборных устройств”/под ред. О.Ф.Тищенко.4.1.- М.: Вис. школа 1982г.

2. Стартap розділ

Вступ

У цьому розділі описується метод вдосконалення каверноміра з урахуванням відмінностей в характеристиках бічних середовищ.

Сьогодні процес пошуку середнього діаметра свердловини є невід'ємною частиною геофізичних досліджень. Але оскільки каверномір працює для бічного середовища - різних типів гірських порід, існує потреба у створенні нової конструкції вибухових свердловин.

Для визначення місця розташування та розміру місцевого діаметра свердловини пропонується конструкція каверноміра, що дозволяє усунути їх вплив, наприклад, розміщуючи вибухові речовини в поліпропіленових рукавах. Наведено залежність величини руху рухомої втулки від діаметра свердловини. Зміна положення точки кріплення штока до важеля змінює ціну поділу вимірювальної стрічки для вимірювання діаметра свердловини. Зі збільшенням цього коефіцієнта ціна поділу зменшується, а діаметр свердловини визначається з меншою похибкою. Застосування каверноміра з ручним приводом, оснащеного ручною лебідкою з двома барабанами, дозволить знизити трудомісткість і збільшити продуктивність під час підйому - опускання та утримання каверноміра на заданій глибині свердловини, забезпечує можливість загальних вимірювань глибина свердловини та більша сторона, спрощують конструкцію та зменшують вагу каверноміра в свердловині.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.1. Механічний каверномір з ручним приводом для вибухових свердловин

Вибухові свердловини на порівняно невеликих глибинах (переважно до 20 м, іноді до 50 м) дуже часто мають порушення стінок свердловини, що тягне за собою надмірне споживання вибухових речовин (вибухових речовин) та місцевих подрібнених порід з неконтрольованим розсіюванням гірських порід. Знання місця та величини місцевого збільшення діаметра зарядженої свердловини зменшить їх вплив, наприклад, шляхом розміщення вибухівки в поліпропіленових рукавах.

В даний час існує ряд конструктивних розробок, спрямованих на забезпечення контролю параметрів свердловин. Таким чином, відомий профільний вимірювач, що має перетворювач сигналу, є магніторезистивним датчиком, який є резистивною мостовою ланцюгом, чутливим до напрямку магнітного поля і нечутливим до його інтенсивності. Недоліками цього профіломіра є технологічна складність пристрою, висока вартість виготовлення та потреба в потужності під час роботи пристрою [1].

Також розроблено пристрій для вимірювання внутрішнього розміру стволу свердловини, основний принцип роботи якого подібний до принципу електромеханічного каверноміра, але використовуються оптичні датчики, здатні виявляти зміни в положенні зондів. Недоліком пристрою є наявність системи реєстрації та електронних оптичних датчиків, робота яких неможлива без наземної станції обслуговування, яка включає комп'ютер для збору та аналізу даних із відповідним програмним забезпеченням, що ускладнює пристрій у незручних умовах. Також компонування пристрою приймально-передавальних елементів безпосередньо пов'язана з наявністю джерела живлення[2].

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найпростіший - механічний каверномір з ручним приводом. Наконечник шарнірно прикріплений до важелів, верхні кінці яких стикаються зі стінкою стовбура свердловини, а нижні кінці з'єднані з повзуном. Немає необхідності в джерелі електроенергії, що дозволяє безперешкодно працювати у важкодоступних і особливо небезпечних для електробезпеки місцях, механічний каверномір має невеликі розміри, дозволяє загально вимірювати глибину свердловини та точну глибину зміни діаметра свердловини, але лише при менших змінах діаметра тоді як ми зацікавлені в зміні діаметра в більшому напрямку.

Розроблена конструкція механічного каверноміра, який дозволяє знизити трудомісткість та підвищити продуктивність при підйомі-опусканні та утриманні каверноміра на заданій глибині свердловини, забезпечити можливість загального вимірювання глибини свердловини та точного значення діаметра свердловини зміна маси опускається в свердловину каверноміра.

Механічний каверномір з ручним приводом для вибухових свердловин (рис. 1) включає каверномір 1 і ручну лебідку 2. Каверномір складається із штока 3, підвішеного на метричній металевій смузі 4 для вимірювання глибини свердловини. На нижньому кінці штока 3 закріплені вушка 5, в яких шарнірно закріплені два вимірювальні важелі 6, шарнірно закріплені важелями 7 з рухомою втулкою 8, вільно закріпленою на штоку 3. На гільзі 8 закріплений кінець метрики металева стрічка 9 для вимірювання діаметра свердловини.

Ручна лебідка 2 складається з рами, що містить знімні підшипники ковзання 10, встановлені на чотирьох опорах 11, з'єднаних поздовжніми 12 і поперечними 13 ригелями (рис. 2). В підшипниках 10 знаходиться вал 14 з рукояткою 15. На валу жорстко закріплений барабан 16, обмотка метричної металевої стрічки 4 для вимірювання глибини свердловини, і вільно, ковзаючи щодо стовбура 14, барабан 17, обмотка метричного

металу стрічка 9 для вимірювання діаметра свердловини. Шестерня 16 жорстко з'єднана з барабаном 16, зуби якого зачеплені з собакою 19. Собака 19 закріплена на одному кінці осі 20, обертаючись у вушках 21, закріплених на ригелі 13, з іншого кінця осі 20 - це ручка 22 собаки 19.

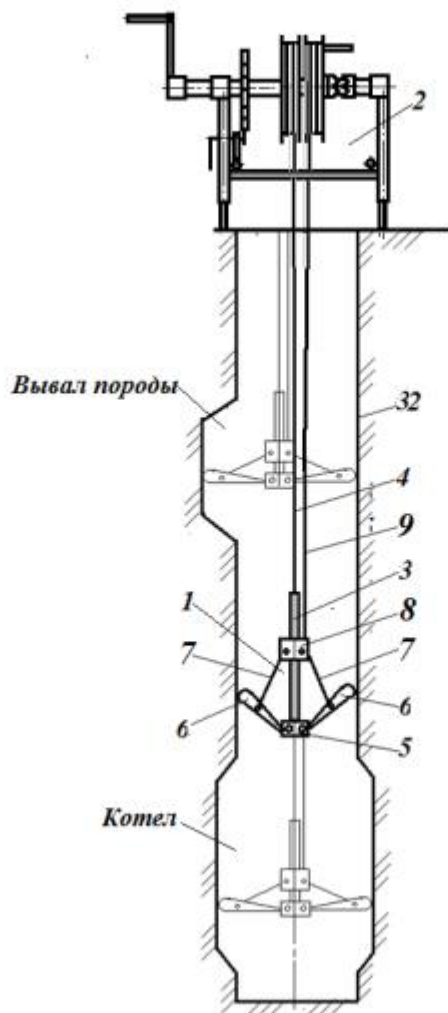


Рис. 1. Схема механічного Каверноміра з ручним приводом для вибухових свердловин

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

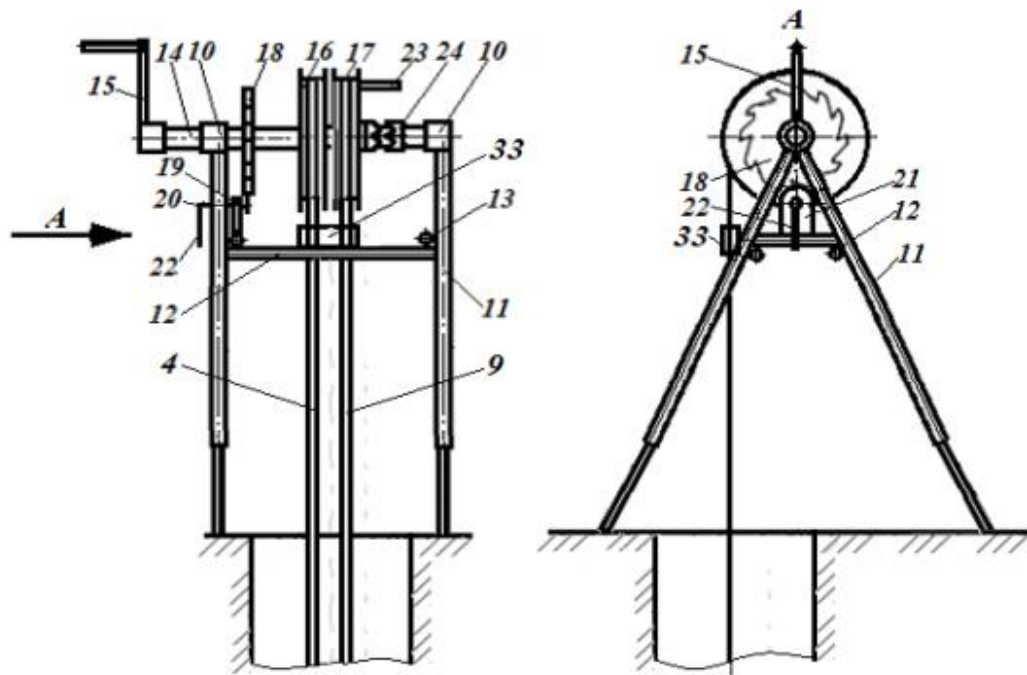


Рис. 2. Схема ручної лебідки механічного Каверноміра

Барaban 17 обмотки метричної металевої стрічки 9 для вимірювання діаметра свердловини забезпечений рукояткою 23 і муфтою зубчастої муфти 24.

Опори 11 рами лебідки 2 виконані телескопічними, кожна опора 11 складається з кореня 25 і розсувних 26 секцій; на нижньому кінці кореневої ділянки 25 закріплені вушка 27, в яких на осі 28 встановлена засувка 29 з рукояткою 30 і ексцентриком 31.

Механічний каверномір з ручним приводом для вибухових свердловин працює наступним чином. Лебідка 2 встановлюється над свердловиною 32 так, що метрична металева смуга 4 для вимірювання глибини свердловини і підвішений на ній каверномір 1 розташовані на осі свердловини 32. Для встановлення лебідки 2 на зручній висоті висувні секції 26 опор 20 25 (рис. 3). Для цього засувка 29 обертає засувку 29 навколо осі 28 вгору, а ексцентрик 31 не торкається ковзної секції 26.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При фіксації довжини опори 11 рукоятка 30 повертається вниз, і ексцентрик 31 затискає ковзну секцію 26 відносно кореневої секції 25 опори 20.

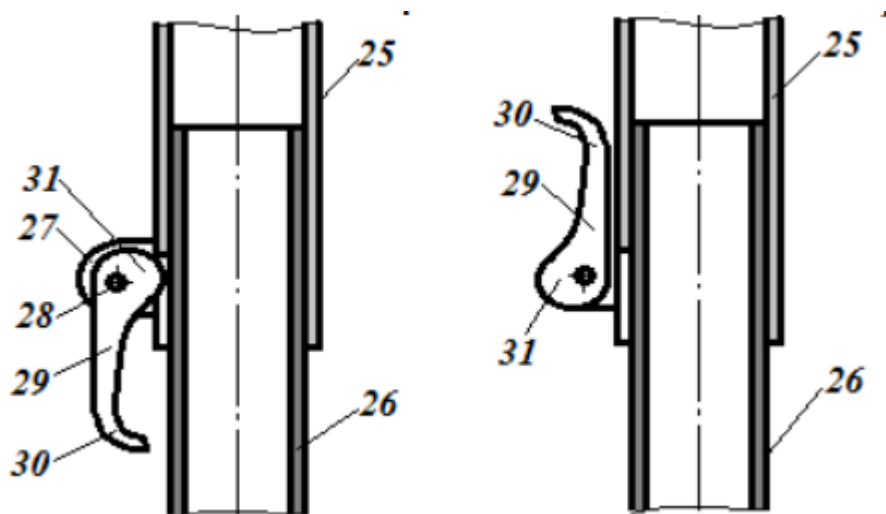


Рис. 3. Схема засувки висувної секції опори лебідки

У початковому положенні вимірювальна стрічка 9 діаметру свердловини намотується на барабан 17 так, що рухома втулка 8 знаходиться на штоку 3 у верхньому положенні, а важелі 6 притискаються до штока 3. Повертаючи рукояткою 22 собаки 19 і, витягнувши її з шестерні, рукоятка 15 обертає вал 14 з барабанами 16 і 17, опускаючи каверномір 1 на задану глибину, яка визначається вимірювальною стрічкою 4 для вимірювання глибини. Після досягнення заданої глибини, визначеної вказівкою стрічки 4 на ризик 34 козирка 33 (рис. 4), собака 19 вводиться рукою 22 в зачеплення із зубами храпового колеса 18, тим самим запобігаючи несанкціонованому опусканню каверноміра 1. Зверніть увагу на позначення стрічки 9 34, потім рукоятка 23 рухає барабан 17 уздовж вала 14, відкриваючи зчепну шестерню 24. Під дією сили тяжіння рухомої втулки 8 важелі 6 обертаються навколо осі, поки вони не зупиняться в стінках свердловини 32. Вимірювальна стрічка 9 17 і

величина переміщення h вимірної стрічки 9 визначають діаметр D свердловини 32 на заданій глибині.

Для вимірювання діаметра свердловини 32 на іншій глибині втулку 8 піднімають натягом вимірної стрічки 9 у верхньому положенні на штоку 3, муфту шестерні 24 закривають і операцію повторюють.

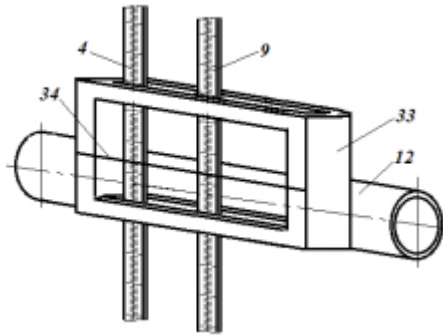


Рис. 4. Візир для позначки показань мірних стрічок

Для вільного виймання каверноміра з свердловини 32 втулка 8 метричної металевої стрічки 9 для вимірювання діаметра свердловини піднімається у верхнє положення вздовж штока 3, важелі 6 важелів 7 обертаються щодо шарнірів вушок 5, притиснуті проти штока 3, а пристрій для метричної металевої стрічки 4 для вимірювання свердловини витягується на поверхню. Собака 19 не заважає обертанню колеса 18 валом 14 і барабанами 16 і 17.

Вимірювання діаметра D свердловини роблять у такий спосіб (рис. 5).

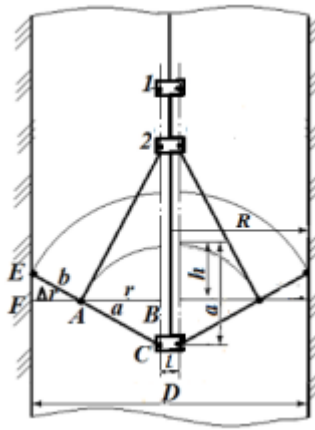


Рис. 5. Схема для розрахунку діаметра свердловини в залежності від величини переміщення рухомого втулки

Послабте натяг вимірювальної стрічки 9, вимірюючи діаметр свердловини, і рухома втулка 8 опускається вздовж штока 3 (точка 2) до упору важелів 6 у стінках колодязя 32. Козирок 33 визначає величина цього руху h .

З трикутника ABC $a^2 = r^2 + (a - h)^2$, де a - відстань між осями кріплення важеля до штока і штока; r - відстань між віссю кріплення важеля до тяги і віссю підвісу каверноміра (точка B).

$$(a - h)^2 = a^2 - r^2$$

$$a^2 - 2ah + h^2 = a^2 - r^2$$

$$a^2 - 2ah + h^2 = 0$$

$$h_{1,2} = \frac{2a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2a}{2}\right)^2 - r^2} = a \pm \sqrt{a^2 - r^2}$$

$$\text{Для розрахунків } h = a - \sqrt{a^2 - r^2}$$

Зводимо в квадрат ліву і праву частини виразу

$$(a - h)^2 = a^2 - r^2$$

$$a^2 - 2ah + h^2 = a^2 - r^2$$

$$\text{Звідси } r = \sqrt{h(2a - h)}$$

Радіус свердловини R визначиться

$$R = \frac{l}{2} + r + \Delta r$$

З подоби трикутників ABC і AFE :

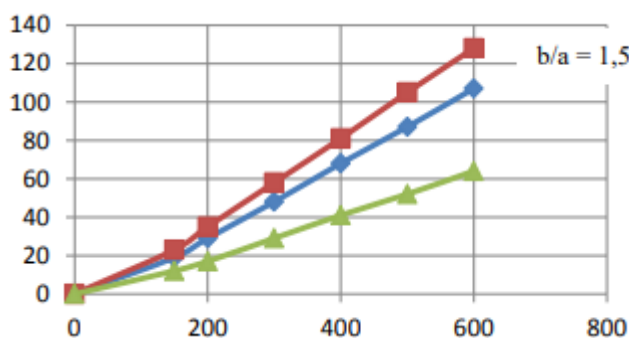
$$\frac{\Delta r}{b} = \frac{r}{a}$$

b - відстань між віссю кріплення важеля до штока і кінцем важеля, що спирається на стінку свердловини.

$$\text{Звідси: } \Delta r = \frac{br}{a}$$

$$D = 2R = 2 \left(r + \frac{l}{2} + \frac{br}{a} \right) = l + 2 \left(1 + \frac{b}{a} \right) \sqrt{h(2a - h)}$$

На рис. 6 показана залежність переміщення рухомої втулки h від діаметра свердловини D . Графіки показують, що зміна положення точки кріплення штока до важеля (відповідно, зміна співвідношення a/b) змінює ціна поділу вимірювальної стрічки для вимірювання діаметра свердловини. Зі збільшенням цього коефіцієнта ціна поділу зменшується, а діаметр свердловини визначається з меншою похибкою..



X — діаметр свердловини D , мм
 Y — переміщення втулки h , мм.

Рис. 6. Залежність величини переміщення рухомого втулки h від діаметра свердловини D для різних співвідношень a/b .

На рис. 7. показаний приклад графіка для свердловин з максимальним діаметром D 500 мм. З графіку видно, що при повороті важелів з

вертикального положення для торкання стінок колодязя рухома втулка рухається на 87 мм, і ціна поділу в міру збільшення діаметра свердловини.

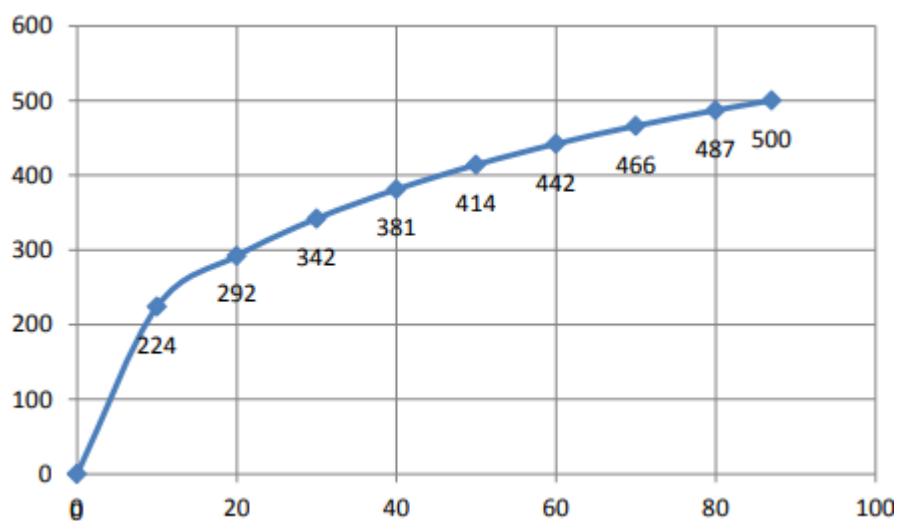


Рис. 7. тарувального графік Каверномер для виміру свердловин максимальним діаметром $D = 500$ мм

X – переміщення втулки h, мм.

Y – діаметр свердловини D, мм

2.2. Оцінка рівня якості

Оцінка рівня якості пристрою проводиться з метою порівняльного аналізу та визначення ефективного варіанту технічного рішення. Ця оцінка проводиться на етапі створення нового товару.

На етапі модернізації існуючого або створення нового пристрою, що розглядається, є зведений показник рівня якості – коефіцієнт технічного рівня $K_{T.P}$ - розраховують за формулою:

$$K_{T.P_j} = \sum_{i=1}^n \varphi_i B_{ij}, \quad (2.1)$$

де φ_j - коефіцієнт вагомості i -го параметра якості в сукупності параметрів якості;

B_{ij} - оцінка i -го параметра якості j -го варіанта приладу;

n - кількість оцінюваних параметрів приладу.

За наявності кількісної характеристики властивостей коефіцієнт технічного рівня можна визначити за формулою:

$$K_{T.P} = \sum \varphi_i q_{ij}, \quad (2.2)$$

де q_{ij} - відносний i -й показник якості j -го варіанта приладу.

Відповідно до функціональних можливостей пристрою, вимог замовника до його основних функцій, а також умов, що використовуються для розрахунку коефіцієнта технічного рівня пристрою. Система обчислювальних параметрів повинна достатньо повно характеризувати споживчі властивості. Чим більше параметрів буде прийнято, тим точніше буде оцінка. Основні параметри товару повинні бути достатньо описані.

Методика оцінки рівня якості і основні технічні параметри показані в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Основні технічні параметри

Параметри	Од. виміру	Прилади		
		Прилад КП-М	Прилад КП-МТ	Прилад, що розробляється
Нижня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	50	50	50
Верхня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	300	300	300
Максимальна температура середовища	°C	120	175	120
Час розкриття(закриття) важелів, не більше	с	120	120	40
Вага	кг	83	100	80
Похибка вимірювання в діапазоні 200 – 300 мм	мм	4	4	3
Статична характеристика		лінійна	лінійна	лінійна

Розглянемо вплив параметрів на роботу виробу::

1. Нижня межа вимірювання радіусу свердловини R - чим менше значення, тим краще, але не важливий параметр.
2. Верхня межа вимірювання радіусу свердловини R - чим більше значення, тим краще, але не важливий параметр.
3. Максимальна температура навколишнього середовища - чим вище значення, тим краще.
4. Час відкривання (закриття) важелів - чим менше, тим краще. Дуже важливий параметр, оскільки зі збільшенням часу відкривання (закриття) важелів збільшується ймовірність надзвичайної ситуації.
5. Похибка вимірювання - чим менше значення помилки, тим точніше пристрій.
6. Статична характеристика - бажано лінійна.

Відносні показники якості за будь-якими параметром q_{ij} (2.3), якщо вони знаходяться у лінійній залежності від якості, визначають за формулами:

$$q_{ij} = \frac{P_{n_i}}{P_{\delta_i}}, \quad (2.3)$$

або

$$q_{ij}' = \frac{P_{\delta_i}}{P_{n_i}}, \quad (2.4)$$

де P_{n_i}, P_{δ_i} - числові значення i -го параметра нового і базового виробів відповідно.

Формула (2.3) використовується при розрахунку відносних показників якості та формула (2.4) - якщо зі збільшенням кількісного значення параметра якість продукції погіршується.

Якщо нелінійна залежність між параметрами та якістю товару або коли параметри відрізняються більш ніж на порядок, слід використовувати наступні формули:

$$q_i = \frac{1}{0.7} \ln\left(\frac{P_{H_i}}{P_{B_i}} + 1\right), \quad (2.5)$$

або

$$q_i' = \frac{1}{0.7} \ln\left(\frac{P_{B_i}}{P_{H_i}} + 1\right). \quad (2.6)$$

чи інші залежності, що відповідають специфіці параметру.

Значення відносного показника якості повинно бути більше одиниці, коли i -й показник якості покращується, і менше одиниці, коли він погіршується.

Для параметрів приладів, що розглядаються, відносні показники якості вміщено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2. Відносні показники якості

Параметр	Од. виміру	Прилади		
		Прилад КП-М	Прилад КП-МТ	Прилад, що розробляється
Нижня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	1	1	1
Верхня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	1	1	1
Максимальна температура середовища	°C	1	1,46	1
Час розкриття(закриття) важелів, не більше	с	1	1	3
Вага	кг	1	0,83	1,038
Похибка вимірювання в діапазоні 200 – 300 мм	мм	1	1	1,33
Статична характеристика		1	1	1

2.3. Визначення коефіцієнтів вагомості параметрів

Вага кожного параметра у загальній кількості параметрів, врахованих під час оцінки, визначається методом порівняння в парах. Оцінку проводить експертна комісія, кількість членів якої повинна дорівнювати

непарній кількості (не менше 5 осіб). Експерти повинні бути експертами з предметних питань.

Визначення ваг передбачає: визначення ступеня важливості параметрів шляхом присвоєння їм відповідних рангів; перевірка придатності експертних оцінок для подальшого використання: виявлення та оцінка пріоритетності одного з параметрів, обробка результатів та визначення вагових коефіцієнтів (φ_i). Після детального обговорення та аналізу кожен експерт оцінює важливість параметрів, присвоюючи їм ранги. Результати експертного рейтингу наведені в таблиці. 2.3.

Таблиця 2.3. Результати ранжування параметрів

Параметр	Ранг параметра за оцінкою експерта					Сума рангів R_i	Відхилення Δ_i	$(\Delta_i)^2$
	1	2	3	4	5			
Нижня границя вимірювання радіусу свердловини R	1	2	1	2	1	7	-13	169
Верхня границя вимірювання радіусу свердловини R	2	1	2	1	2	8	-12	144
Максимальна температура середовища	4	4	4	3	3	18	-2	4
Час розкриття(закриття) важелів	7	7	5	7	6	32	12	144
Вага	3	3	3	4	4	17	-3	9
Похибка вимірювання	5	5	6	5	5	26	6	36
Статична характеристика	6	6	7	6	7	32	12	144
Всього	28	28	28	28	28	140	0	650

Найбільш вагомим вважаємо 7-й ранг.

Перед подальшою обробкою перевіряється сума рангів за кожним стовпчиком, яка повинна дорівнювати $\frac{n(n+1)}{2}$, де n - кількість оцінюваних параметрів. Для даного випадку отримуємо суму рангів:

$$\frac{7(7+1)}{2} = 28.$$

Визначення можливості використання результатів ранжирувальних параметрів для подальших розрахунків здійснюється на основі розрахунку коефіцієнта узгодженості (узгодженості) експертних оцінок. Для цього:

а) визначають суму рангів кожного показника (за рядками):

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij}, \quad (2.7)$$

де r_{ij} - ранг i -го параметра, визначений j -м експертом;

N - число експертів.

Ми перевіряємо загальну кількість рангів, яка повинна дорівнювати:

$$R_i = \frac{Nn(n+1)}{2}; \quad (2.8)$$

$$R_i = \frac{5 \cdot 7(7+1)}{2} = 140.$$

б) середня сума рангів:

$$T = \frac{R_i}{n} = \frac{140}{7} = 20. \quad (2.9)$$

в) визначаємо відхилення суми рангів кожного параметра R від середньої суми рангів T :

$$\Delta_i = R_i - T. \quad (2.10)$$

Сума відхилень для всіх параметрів повинна бути нульовою.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

г) обчислюють квадрат відхилень за кожним параметром Δ_i^2 та загальну суму квадратів відхилень:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2; \quad (2.11)$$

$$S = 650$$

г) визначаємо коефіцієнт узгодженості (конкордації) за формулою:

$$W = \frac{12S}{N^2(n^3 - n)}; \quad (2.12)$$

Розрахований коефіцієнт відповідності $W = 0,91$ перевищує норму $W_n = 0,67$. Дані експертів заслуговують уваги і їх піддаємо обробці.

Використовуючи результати ранжирування параметрів, отримані від кожного експерта, ми порівнюємо всі параметри попарно і вносимо результати в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. Порівняння параметрів пари

Параметри	Експерт					Підсумкова оцінка	Числове значення коефіцієнтів переваги a_{ij}
	1	2	3	4	5		
x_1 і x_2	<	>	<	>	<	<	0.5
x_1 і x_3	<	<	<	<	<	<	0.5
x_1 і x_4	<	<	<	<	<	<	0.5
x_1 і x_5	<	<	<	<	<	<	0.5
x_1 і x_6	<	<	<	<	<	<	0.5
x_1 і x_7	<	<	<	<	<	<	0.5
x_2 і x_3	<	<	<	<	<	<	0.5
x_2 і x_4	<	<	<	<	<	<	0.5
x_2 і x_5	<	<	<	<	<	<	0.5
x_2 і x_6	<	<	<	<	<	<	0.5
x_2 і x_7	<	<	<	<	<	<	0.5
x_3 і x_4	<	<	<	<	<	<	0.5
x_3 і x_5	>	>	>	<	<	>	1.5

$x_3 \text{ і } x_6$	<	<	<	<	<	<	0.5
$x_3 \text{ і } x_7$	<	<	<	<	<	<	0.5
$x_4 \text{ і } x_5$	>	>	>	>	>	>	1.5
$x_4 \text{ і } x_6$	>	>	<	>	>	>	1.5
$x_4 \text{ і } x_7$	>	>	<	>	>	>	1.5
$x_5 \text{ і } x_6$	<	<	<	<	<	<	0.5
$x_5 \text{ і } x_7$	<	<	<	<	<	<	0.5
$x_6 \text{ і } x_7$	<	<	<	<	<	<	0.5

В даний час найбільш широко використовуються такі значення коефіцієнтів переваги (a_{ij}):

$$a_{ij} = \begin{cases} 1.5 \text{ при } x_i > x_j; \\ 1.0 \text{ при } x_i = x_j; \\ 0.5 \text{ при } x_i < x_j, \end{cases}$$

де x_i і x_j - параметри, які порівнюються між собою.

На основі числових даних a_{ij} з табл.2.4 складають квадратну матрицю $A = \|a_{ij}\|$ (табл.2.5).

Таблиця 2.5. Розрахунок вагомості параметрів

x_i	Параметр x_j							Перша ітерація	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	b_i	φ_i
x_1	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	4.0	0.081
x_2	1.5	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5.0	0.102
x_3	1.5	1.5	1.0	0.5	1.5	0.5	0.5	7.0	0.143
x_4	1.5	1.5	1.5	1.0	1.5	1.5	1.5	10.0	0.204
x_5	1.5	1.5	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	6.0	0.122

X ₆	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.0	0.5	8.0	0.164
x ₇	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	1.0	9.0	0.184
Всього								49	1.0

Розрахунок вагомості параметрів на основі числових даних a_{ij} відбувається за допомогою формул:

$$b_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} ; \quad (2.13)$$

$$\varphi_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} , \quad (2.14)$$

де b_i – вагомість i -го параметра за результатами оцінок всіх експертів.

Відносна оцінка, отримана на останній ітерації розрахунків, приймається як ваговий коефіцієнт (φ_1) i -го параметра.

Таблиця 2.6. Розрахунок технічного рівня

Параметри	Од. виміру	Прилади		
		Прилад КП-М	Прилад КП-МТ	Прилад, що розробляється
Нижня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	0.081	0.081	0.081
Верхня границя вимірювання радіусу свердловини R	мм	0.102	0.102	0.102
Максимальна температура середовища	°C	0.143	0.209	0.143
Час розкриття(закриття) важелів, не більше	с	0.204	0.204	0.612

Вага	кг	0.122	0.101	0.127
Похибка вимірювання в діапазоні 200 – 300 мм	мм	0.164	0.164	0.218
Статична характеристика		0.184	0.184	0.184
$K_{T.P.}$		1.0	1.045	1.467

Як видно з попередньої розрахункової таблиці $K_{T.P.}$, тобто коефіцієнт технічного рівня пристрою, що розробляється > 1 , що означає, що ми технічно обґрунтували економічну доцільність нового пристрою.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Висновок

Таким чином, каверномір з ручним приводом, оснащений ручною лебідкою з двома барабанами, може значно зменшити трудомісткість і підвищити продуктивність при підйомі та опусканні та утриманні каверноміра на заданій глибині свердловини, дозволяє виміряти загальну глибину свердловини і точна зміна діаметра як менший, так і більший бік, спрощують конструкцію і зменшують вагу каверноміра, що опускається в свердловини.

					МД ПП91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Патент на винахід № 2244120 С2 Росія. E21В 47/04, G01В 7/30 / Профілемер / Асманом Р.Н., Даниленко В.М., Зараменських Н.М., Ленський А.В. / Заявл.30.09.2002. Опубл.10.06.2004. Бюл. № 16.
2. Патент на винахід № 2353766 С2 Росія. E21В 47/08 Пристрій для вимірювання внутрішнього розміру стовбура свердловини / Пруве А., Кальб Ф., Добриш К., Чоловіка П., Оссібаль К. / заявл. 20.09.2005. Опубл.27.10.2008. Бюл. № 30.
3. Меркулов В.П. Геофізичні дослідження свердловин. Навчальний посібник - Видавництво Томського політехнічного університету, 2008.
4. Лобанков В.М. Калібрування свердловини геофізичної апаратури. Навчальний посібник - Уфа, 2013.

					МД ПІ91мн.000.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		