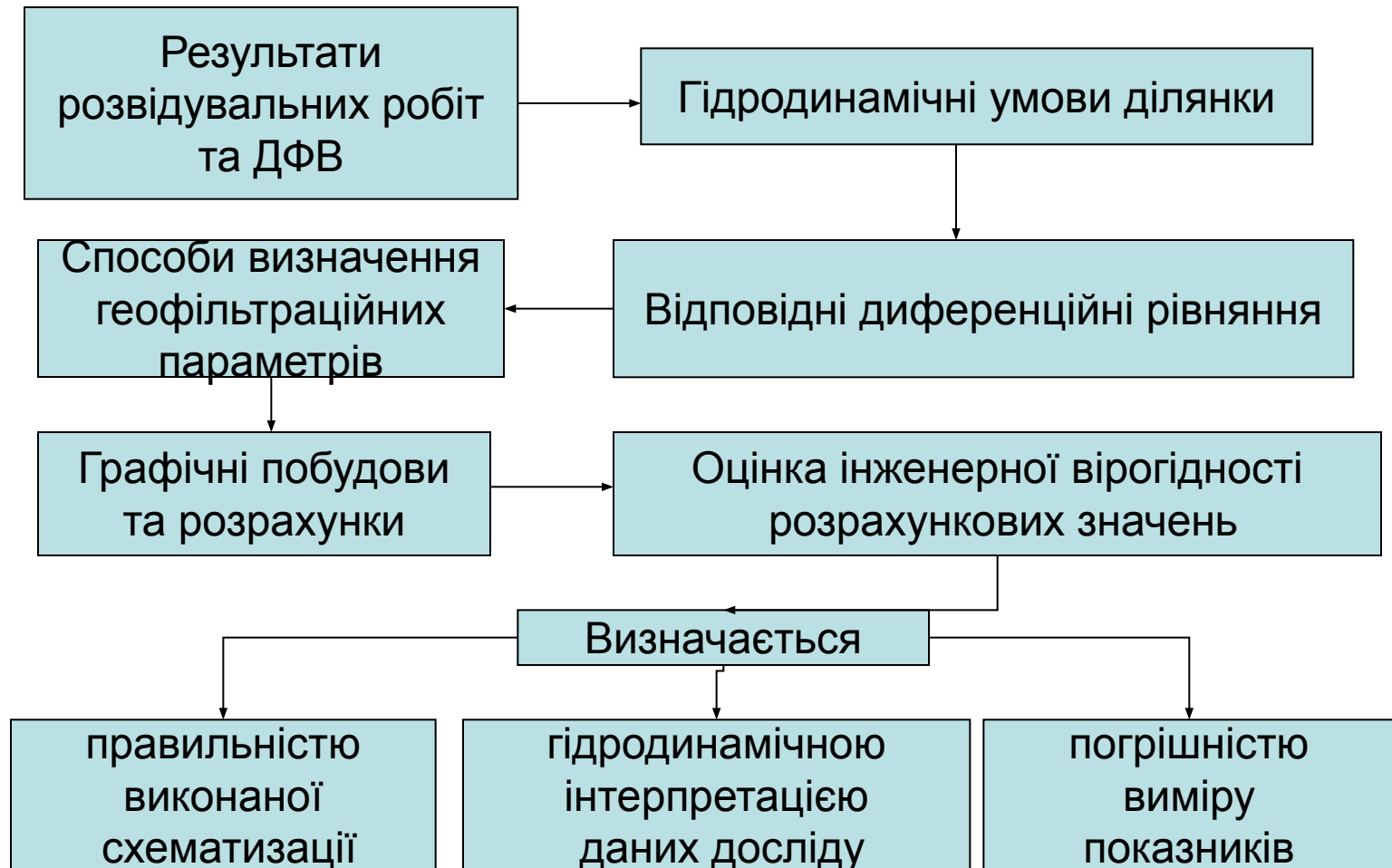


ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ
ВИЗНАЧЕННЯ
ФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ
ЗА ДАНИМИ ДФВ

ЗВОРОТНІ (ОБЕРНЕНІ) ЗАДАЧІ

- З позицій теорії фільтрації визначення параметрів являє собою вирішення зворотних задач.
- В основу визначень покладене використання наявних аналітичних і чисельних рішень диференціальних або інтегральних рівнянь планово-радіальної фільтрації, отриманих для типових розрахункових схем водопритоку до свердловин.
- Це означає необхідність схематизувати гідрогеологічні умови ділянки випробувань до відомих розрахункових схем, що завжди вносить погрішність у розрахункові значення параметрів.

Схема постановки зворотної задачі



ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- Розрахункова схема відкачки
- Побудова індикаторних графіків
- Діагностика
- Інтерпретація
- Ідентифікація

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- Розрахункова схема відкачки - це спрощена математична умова ділянки шару, що відбиває його характерні гідрогеологічні й гідродинамічні особливості, які визначають закономірності фільтрації, що утворюється при відкачуванні.
- Вибір розрахункової схеми залежить від ряду чинників серед яких переважний вплив мають гідрогеологічні та технологічні умови на дослідній ділянці.

РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ВІДКАЧКИ (чинники впливу)

- *По мінливості фільтраційного процесу в часі*
виділяють відкачування в стаціонарному и нестаціонарному режимах.
- *По будові фільтруючих комплексів в розрізі*
можлива їх диференціація в трьох різних аспектах:
 - 1) комплекси однорідні (квазіоднорідні), упорядковані шаруваті і неоднорідні;
 - 2) комплекси, по обмежені потужності і необмежені;
 - 3) комплекси з горизонтальним, похилим і підстилаючим водотривким ложем.

РОЗРАХУНКОВА СХЕМА ВІДКАЧКИ (чинники впливу)

- *За будовою фільтруючої товщі в плані* розрізняють (однорідні товщі (квазіоднорідні) і неоднорідні.
- *За ступенем фільтраційної анізотропії* виділяють комплекси ізотропні і анізотропні - в плані і в розрізі.
- *За характером ємнісних властивостей фільтруючих порід* виділяють породи з гомогенною і гетерогенною ємністю
- *За характером зовнішніх кордонів області фільтрації в плані* виділяються необмежені області (найбільш важливий випадок при відкачках), напів обмежені - з однією визначеною (прямолінійною) межею і обмежені.

Класифікація розрахункових геофільтраційних схем

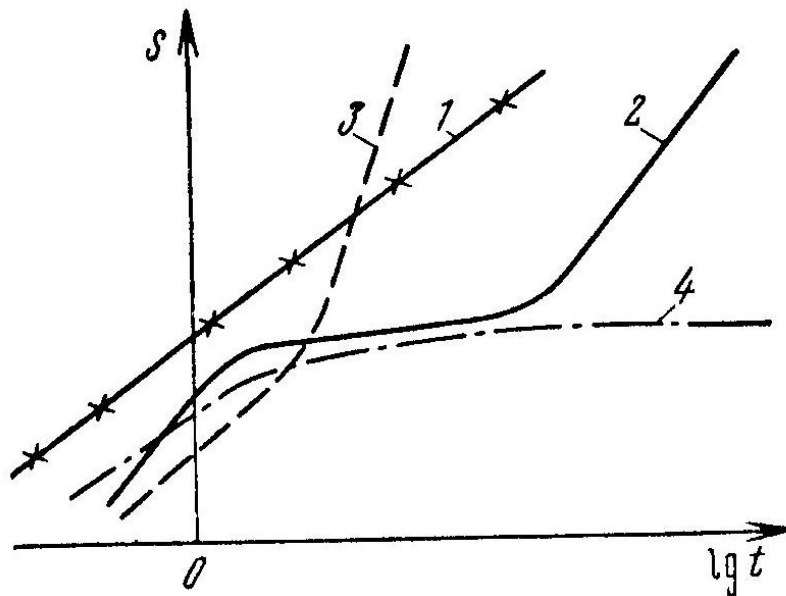
(за В.А.Мироненко)

- Схема I – ізольований напірний однорідний пласт.
- Схема II – гетерогенні напірні системи:
- Схема II-1 – пласт з перетіканням.
- Схема II-2 – ізольований гетерогенний пласт.
- Підсхема II-2а – напірний пласт, що складається з кількох однорідних за ємністю та фільтраційними властивостями шарів.
- Підсхема II-2б – однорідний пласт гетерогенних порід (складений породами з подвійною ємністю).
- Схема III – безнапірний ізольований знизу пласт.
- Схема III-1 – двошарова товща (основний пласт перекритий зверху відносно слабо проникним)
- Схема III-2 – одношарова товща.

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- **Індикаторні графіки** характеризують головні особливості процесу зниження рівня води в дослідних і спостережних свердловинах для типових розрахункових схем.
- Найважливішим елементом при діагностиці відкачування є індикаторні графіки часового простеження $S = f(lgt)$, при достатній тривалості доскідку і повноті вимірів сама форма цих графіків часто може свідчити про ті чи інші особливості фільтраційного процесу.
- За допомогою подібних графіків визначається наявність непроникних або слабо проникних контурів, додаткове харчування з поверхневих водойм або потужних водоносних пластів.

Приклад індикаторних графіків



1. Ізольований напірний пласт.
2. Гетерогенний пласт.
3. Пласт біля непроникного контуру.
4. Пласт поблизу контуру живлення, або при наявності перетікання із більш водозбагаченого пласта.

Індикаторні графіки

- Разом з тим, індикаторні графіки не дають вичерпних відомостей для діагностики і по ряду причин:
 1. Для віддалених спостережних свердловин форма графіків є, як правило, маловиразної. Вони зазвичай мають плавні криволінійні обриси і апроксимувати прямою лінією без достатніх на те підстав.
 2. Може виявитися, що початкові ділянки на цих графіках взагалі не представницька в наслідок відсутності вимірів в перші моменти відкачування або через нерівномірність роботи насоса, впливу «скін ефекту» (для центральної свердловини), інерційності свердловин, взаємного накладення ряду факторів. Тому не рекомендується (за рідкісними винятком) використовувати для діагностики відкачування початкові ділянки індикаторних графіків середньою тривалістю 5-10 хв.
 3. При відносно короткочасних відкачках може не проявитися, або виявитися не представницькою остання характерний ділянку індикаторного графіка, через дуже малу швидкість знижень (порівняно з точністю вимірів, «фоновими» коливаннями напорів), а також з огляду на накладання впливу меж пласта.

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- **Діагностика** - це порівняльний аналіз теоретичних і дослідних індикаторних кривих.
- Діагностика результатів дослідно-фільтраційних робіт є найбільш відповідальним і складним моментом їх інтерпретації
- В результаті діагностики на дослідних індикаторних графіках виділяються розрахункові ділянки для визначення геофільтраційних параметрів.
- Якість діагностики визначає найчастіше точність і надійність інтерпретації дослідно-фільтраційних робіт.
- Ця обставина ще раз підкреслює визначальну роль вирішення питань схематизації в підвищенні ефективності будь-яких гідрогеологічних досліджень.

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- **Ідентифікація** - це візуальна оцінка ступеня подібності виділених ділянок до теоретичних, що в наступному підтверджується відповідним розрахунковій схемі результатом.

ПРИНЦИПИ ДІАГНОСТИКИ Й ІНТЕРПРЕТАЦІЇ ДАНИХ ДФВ (дослідних відкачувань)

- **Інтерпретація** - це аналіз дослідних індикаторних графіків для виявлення головних факторів, що визначають реальний процес відкачування, і встановлення типових періодів формування депресійних кривих, що відповідають дії конкретної розрахункової схеми.

Методи визначення геофільтраційних параметрів

- 1) Аналітичні;
- 2) Графоаналітичні;
- 3) Моделювання.

Аналітичні й графоаналітичні методи розглянуті в роботах В.Н.Щелкачева, Н.Н.Веригина, Ф.М.Бочевера, В.М.Шестакова, В.А.Мироненко, Б.В.Боревського, І.Є.Жернова, М.Хантуша, Ч.Тейса, Ч. Джейкоба, Д. Хорнера й ін.

При моделюванні слід відтворити на моделі розрахункову гідродинамічну схему, результати даних ДФВ і проаналізувати отримані геофільтраційні параметри.

Методи визначення геофільтраційних параметрів

- Сучасні методи визначення розрахункових гідрогеологічних параметрів за даними ДФВ базуються на рівняннях неусталеного руху підземних вод.
- В окремих випадках такі параметри, як коефіцієнти фільтрації і водопровідності, а також параметри перетікання та опору руслових відкладів, розраховуються за формулами стаціонарної фільтрації.
- В залежності від характеру дослідної інформації, що отримана, всі існуючі методи визначення геофільтраційних параметрів можна умовно поділити на дві групи.

До методів першої групи відносяться:

- Метод еталонної кривої
- Метод підбору
- Методи простеження

Всі вказані методи базуються на використанні рівняння неусталеного руху підземних вод під впливом відкачування води із свердловини (рівняння Тейса).

Методи визначення геофільтраційних параметрів

До аналітичних методів відносяться:

- 1) Метод підбору;
- 2) Метод еталонної кривої.

Графоаналітичні методи, відомі також як **методи простеження** є основними при визначенні геофільтраційних параметрів за даними ДФВ. Методи простеження діляться на:

- 1) Простеження в часі;**
- 2) Простеження по площі;**
- 3) Комбіноване простеження.**

Умови застосування рівняння Тейса

- Дебіт відкачування сталий ($Q=\text{const}$).
- Водоносний пласт напірний, ізольований, необмежений.
- Водовмісна порода однорідна та ізотропна ($K=\text{const}$).
- Водотривкий шар горизонтальний.
- Потужність пласта ($m=\text{const}$).
- Досконала дослідна та спостережні свердловини.

- 1) Рівняння Тейса

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad U = \frac{r^2}{4at}$$

За умови, що з похибкою до 5%

$$u = \frac{r^2}{4a_{\dot{r}} t} \leq 0,03 \div 0,9$$

$$W(u) = \ln\left(\frac{1}{u}\right) - 0,577 = \ln \frac{2,25a_{\dot{r}} t}{r^2}$$

- 2) Рівняння Тейса для квазістаціонарного режиму фільтрації

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2.25at}{r^2}.$$

Метод підбору

Метод заснований на порівняльній характеристиці зниження напору в умовах квазістаціонарного режиму фільтрації.

Метод підбору

Якщо відомі величини зниження напору на два моменти часу, то при умові $Q=\text{const}$,

використовуються залежності:

$$S_1 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at_1}\right)$$

$$S_2 = \frac{Q}{4\pi T} W\left(\frac{r^2}{4at_2}\right)$$

та їх співвідношення

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{W\left(\frac{r^2}{4at_2}\right)}{W\left(\frac{r^2}{4at_1}\right)}$$

Метод підбору

При цьому невідомою залишається величина коефіцієнту п'єзопровідності (α_p), що встановлюється методом підбору.

Величина коефіцієнту рівнепровідності ($T=Km$) визначається за залежністю:

$$T = \frac{Q}{4\pi S_1} W\left(\frac{r^2}{4a_{\bar{j}} t_1}\right) \quad \text{чи} \quad T = \frac{Q}{4\pi S_2} W\left(\frac{r^2}{4a_{\bar{j}} t_2}\right)$$

Недоліком методу підбору є фіксоване в часі визначення геофільтраційних параметрів.

Також випадково може бути підібрана величина коефіцієнта п'єзопровідності, що не відповідає гідродинамічній умовам схематизації ділянки пласта.

Метод еталонної кривої

- Даний метод базується на логарифмуванні рівняння Тейса

$$\ln S = \ln \left[\frac{Q}{4\pi T} W \left(\frac{r^2}{4at} \right) \right] = \ln \frac{Q}{4\pi T} + \ln W \left(\frac{r^2}{4at} \right).$$

$$u = \frac{r^2}{4at} \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{u} = \frac{4at}{r^2}$$

$$\ln \left(\frac{1}{u} \right) = \ln \left(\frac{4at}{r^2} \right) = \ln \frac{4 \cdot a}{r^2} + \ln(t).$$

Метод еталонної кривої

Величини $\ln S$ та $\ln W\left(\frac{r^2}{4at}\right)$

відрізняються на величину $\ln\left(\frac{Q}{4\pi T}\right)$.

Величини $\ln\left(\frac{1}{u}\right)$ та $\ln(t)$ відрізняються

на величину $\ln\left(\frac{r^2}{4 \cdot a}\right)$.

Метод еталонної кривої

За результатами дослідів будується графік у координатах:

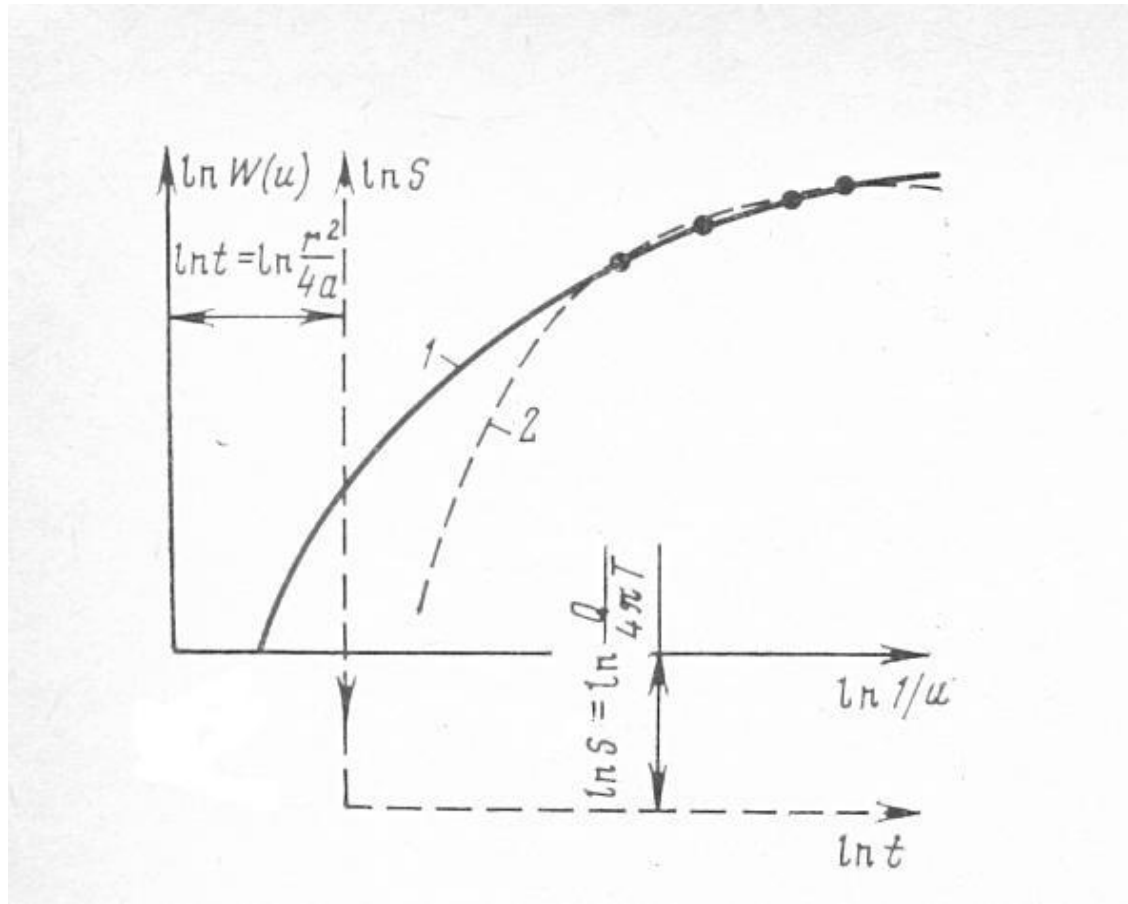
$$\ln S = f[\ln t],$$

та графік “еталонної” кривої у координатах

$$\ln W(u) = f\left[\ln\left(\frac{1}{u}\right)\right],$$

Метод еталонної кривої

Графіки еталонної та дослідної кривих суміщаються та на основі отриманих числових значень визначаються геофільтраційні параметри.



Метод еталонної кривої

Визначення параметрів ведеться за такими залежностями:

$$\ln\left(\frac{Q}{4\pi T}\right) = \ln S - \ln W(u),$$

$$\ln\frac{r^2}{4 \cdot a} = \ln(t) - \ln\left(\frac{1}{u}\right).$$

Метод еталонної кривої

Даний метод вперше запропонований Ч.Тейсом. Отримані результати прийнятні для практичного використання за умови $t < 100r^2/a$.

Необхідно також відмітити:

- 1) Суміщення еталонної та дослідної кривих не завжди здійснюється з достатньою точністю, що обумовлює значні погрішності у визначенні параметрів;
- 2) В методі еталонної кривої використовуються дані по кожній окремій свердловині, що не дозволяє судити про характер зниження у різних точках ділянки одночасно;
- 3) Тривалість першого періоду відкачування, коли зниження напору у напірному пласті відповідає залежності Тейса, як правило невелика (від кількох годин до кількох діб).

Всі перераховані недоліки методу обумовлюють його обмежене застосування

Методи простеження (методи лінійної анаморфози Тейса- Джейкоба)

Методи засновані на приведенні залежності Тейса для квазістаціонарного режиму фільтрації до вигляду рівняння прямої лінії, коефіцієнти якої, А та С, служать для визначення геофільтраційних параметрів.

$$S = A + C \cdot \ln(r, t)$$

$$S = A + C \cdot \lg(r, t)$$

Методи простеження

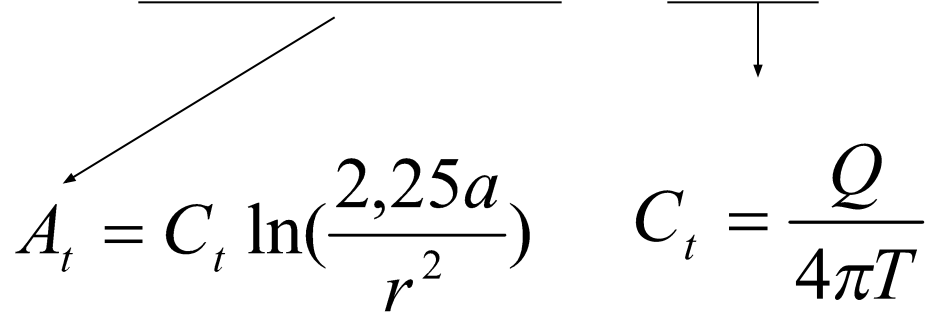
У зв'язку з належності до відповідного методу коефіцієнти рівняння прямої мають такі позначення:

- Простеження за часом – A_t та C_t ;
- Простеження по площі – A_r та C_r ;
- Комбіноване простеження – A_k та C_k .

Методи простеження

(простеження за часом)

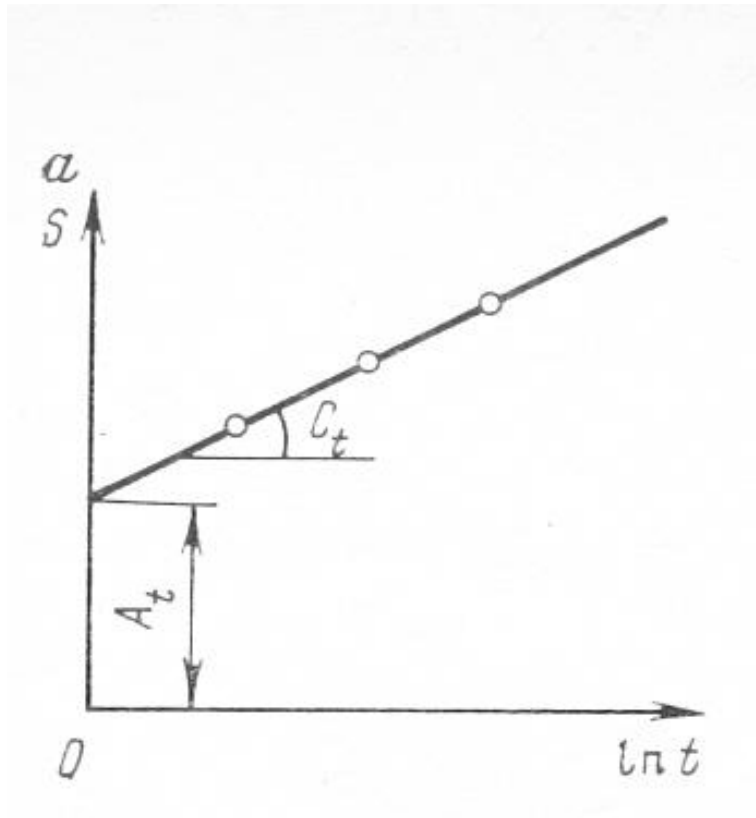
$$S = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25a}{r^2}\right) + \frac{Q}{4\pi T} \ln(t)$$


$$A_t = C_t \ln\left(\frac{2,25a}{r^2}\right) \quad C_t = \frac{Q}{4\pi T}$$

$$S = A_t + C_t \ln(t)$$

Методи простеження

(простеження за часом)

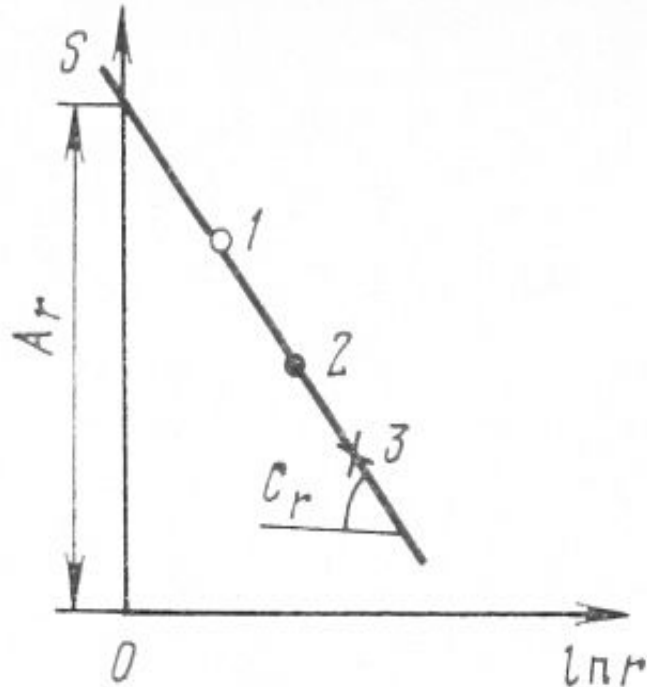


$$S = A_t + C_t \ln(t)$$

$$T = \frac{Q}{4\pi C_t}$$

$$\ln a = \frac{A_t}{C_t} + 2 \ln r - 0,82$$

Методи простеження (простеження по площі)

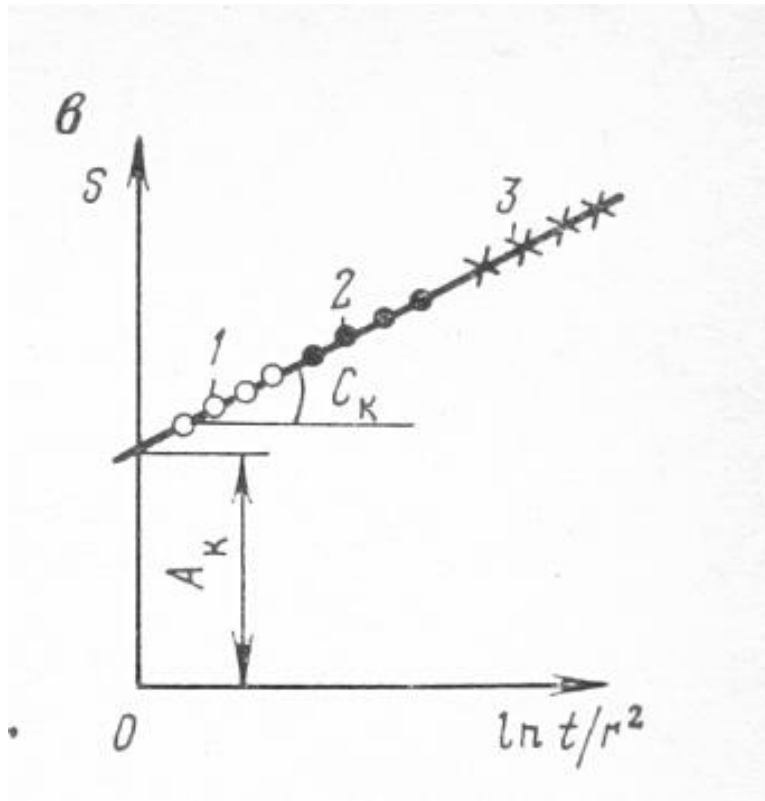


$$S = A_r + C_r \ln(r)$$

$$T = \frac{Q}{4\pi C_r}$$

$$\ln a = \frac{2A_r}{C_r} - 0,82 - \ln t$$

Методи простеження (комбіноване простеження)



$$S = A_K + C_K \ln\left(\frac{t}{r^2}\right)$$

$$T = \frac{Q}{4\pi C_K}$$

$$\ln a = \frac{A_K}{C_K} - 0,82$$

Розрахункові формули визначення параметрів при використанні десяткових логарифмів

Методи простеження		
Простеження в часі	Простеження за площею	Комбіноване простеження
Графік в координатах $S - \lg(t)$	Графік в координатах $S - \lg(r)$	Графік в координатах $S - \lg(t/r^2)$
$T = \frac{0.183 * Q}{C_t}$	$T = \frac{0.366 * Q}{C_r}$	$T = \frac{0.183 * Q}{C_K}$
$\lg a = 2 \lg r - 0.35 + \frac{A_t}{C_t}$	$\lg a = \frac{2A_r}{C_r} - 0.35 - \lg t$	$\lg a = \frac{A_k}{C_k} - 0.35$
$\mu^* = T / a_{\dot{I}}$	$\mu^* = T / a_{\dot{I}}$	$\mu^* = T / a_{\dot{I}}$