

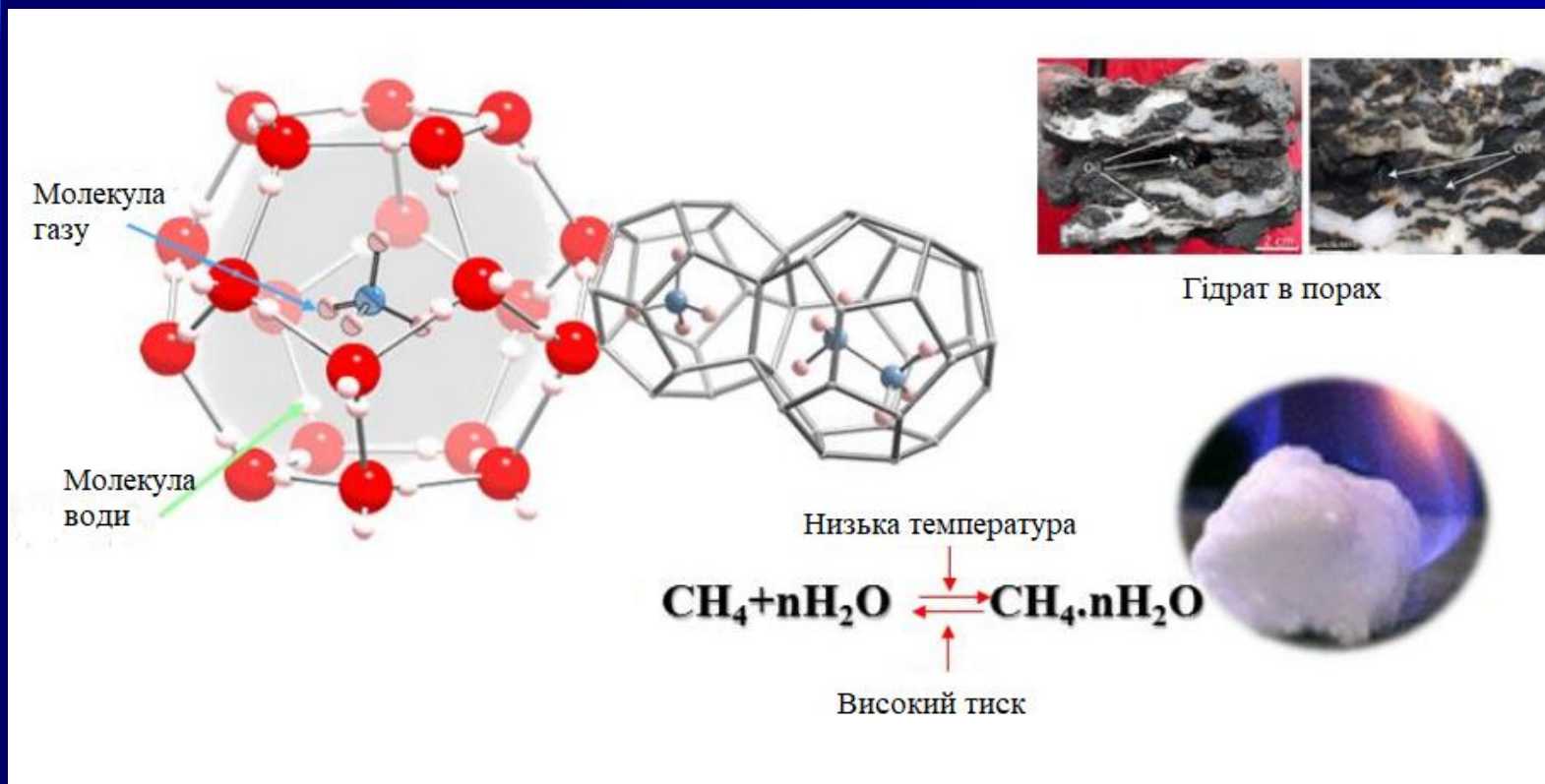
**Експериментальний  
лабораторний модульний  
комплекс для дослідження  
фізичних властивостей штучно  
сформованих  
газогідратовміщуючих донних  
осадів**

**А.М. Сафронов,  
аспірант Інституту геофізики ім. С.І.  
Субботіна НАН України**

**Київ - 9 листопада 2021 року**

**З кожним роком у світі все більш виразно спостерігається тенденція до збільшення споживання паливно-енергетичних ресурсів. Багато країн, маючи незначні запаси класичних видів енергоносіїв, повністю залежні від кон'юнктури світового ринку енергетичної сировини. Для економіки України це також важливе питання.**

**Одним з найактуальніших сучасних завдань світових наукових досліджень є розробка та пошук альтернативних, або додаткових, джерел енергії. Одне з таких джерел - газові гідрати.**



**Молекулярний склад гідрату природного газу, формула сполуки та зразка гідрату в природних порах**

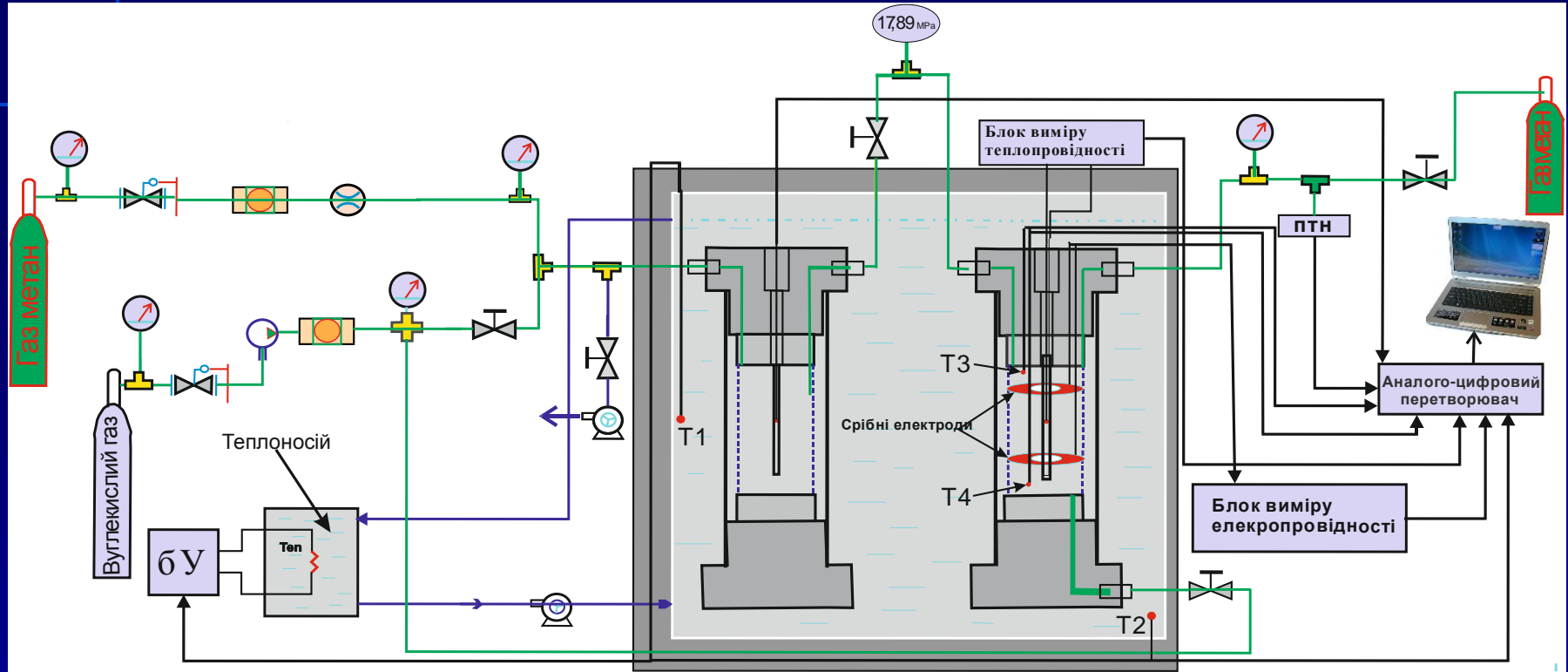
**Фізичні властивості газогідратвміщуючих донних осадів (ГВДО) являють собою надзвичайно важливу інформацію для розробки методів їх пошуку та розвідки. Існуючі технології виявлення ГВДО ґрунтовані на використанні фізичних властивостей гідрату і гідратнасичених порід.**

**В лабораторіях різних країн світу створені різноманітні установки для утворення і дослідження фізичних властивостей штучних газогідратів метану в чистому вигляді. Але наразі дуже мало відомо про фізичні властивості ГВДО різного гранулометричного та речовинного складу, що значно ускладнює їх пошук та розвідку за допомогою дистанційних геофізичних методів. Присутність газогідратів в морських відкладах суттєво змінює їх фізичні властивості, що надає можливість виявлення присутності цих сполук за допомогою геофізичних досліджень.**

**Розробка та створення експериментального лабораторного модульного комплексу (ЛМК) для формування штучних газогідратів метану у різноманітних літолого-гранулометричних матрицях (пісковики, аргіліти, алевроліти тощо) та вимірювання їх фізичних властивостей в термодинамічних умовах донних відкладів Чорного моря, дозволить підвищити ефективність геофізичних методів їх пошуку, розвідки та оптимізувати технологію розробки родовищ метаногідратів.**

**В експериментальних умовах поряд з тепло- електропровідністю та швидкостями поздовжніх і поперечних хвиль штучних газогідратвміщуючих донних відкладів передбачається вимірювати параметри пружної деформації, міцності, характеристики розпаду, що дозволить виконати теоретичний аналіз для побудови моделей, заснованих на різних гіпотезах їх генезису.**

**В Інституті геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України розроблено макет експериментального лабораторного комплексу для утворення та вимірювання фізичних властивостей штучних газогідратовміщуючих донних осадів [Коболев, Михайлюк, Сафронов, 2021] і продовжуються роботи по виготовленню та вдосконаленню його окремих модулів.**

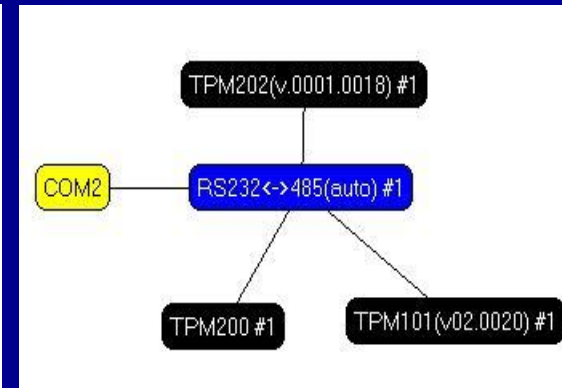


**Основним компонентом гідратного модулю є дві камери високого тиску, виготовлені із нержавіючої сталі довжиною 350мм, діаметром 70мм, товщиною стінки 12мм та внутрішнім об'ємом 550 мл. Камери на двох протилежних сторонах мають відповідні з'єднання і фітинги для під'єднання газових трубопроводів та електричних виводів від датчиків температури, теплопровідності, електропровідності та акустичних датчиків. Система з двох камер розміщується в термостаті, який для відтворення температур нижче 0°C, поміщується в морозильну камеру.**

**Термостат об'ємом 80 літрів заповнюється сумішшю етиленгліколю і води в рівних об'ємних пропорціях. Перша камера служить для стабілізації температури газу, який подається в робочий посуд, де проходить реакція утворення газогідрату.**

Температура термостату вимірюється за допомогою двох платинових термоперетворювачів опору (ТЕРА ТСП - Pt100) Т1 і Т2, які розташовані всередині термостату – один у верхній частині і другий поблизу дна. Температурний режим термостату контролюється та виставляється за допомогою вимірювача типу TRM101(ОВЕН).

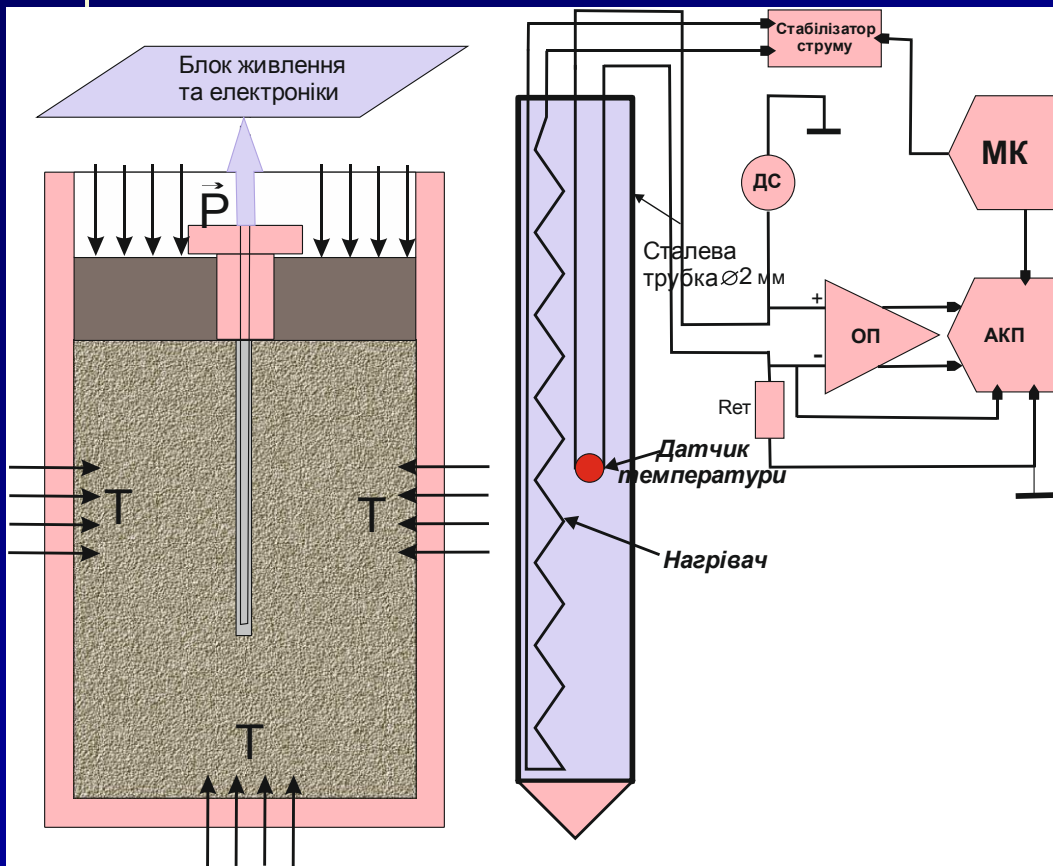
Для вимірювання та встановлення температурного градієнту вздовж довжини робочої камери під час процесу утворення (розпаду) газогідрату використовується декілька температурних датчиків Т3,4 (ТЕРА ТС - Pt1000). Тиск всередині судів вимірюється за допомогою датчиків тиску компанії DWYER INSTRUMENTS INC.(США), а його значення як і значення температури безперервно реєструються вимірювачами ОВЕН типу TRM-202 та TRM-101 з подальшим під'єднанням до комп'ютера через перетворювач інтерфейсу USB\RS485 з відповідним програмним забезпеченням.



**Схема підключення вимірювачів ОВЕН через перетворювач АС-4 до USB-порту комп'ютера**

# Теплофізичні властивості

Для вимірювання теплофізичних властивостей гідратовміщуючих осадів застосовується метод циліндричного зонду [Von Herzen, R.P. & Maxwell, A.E., 1959]



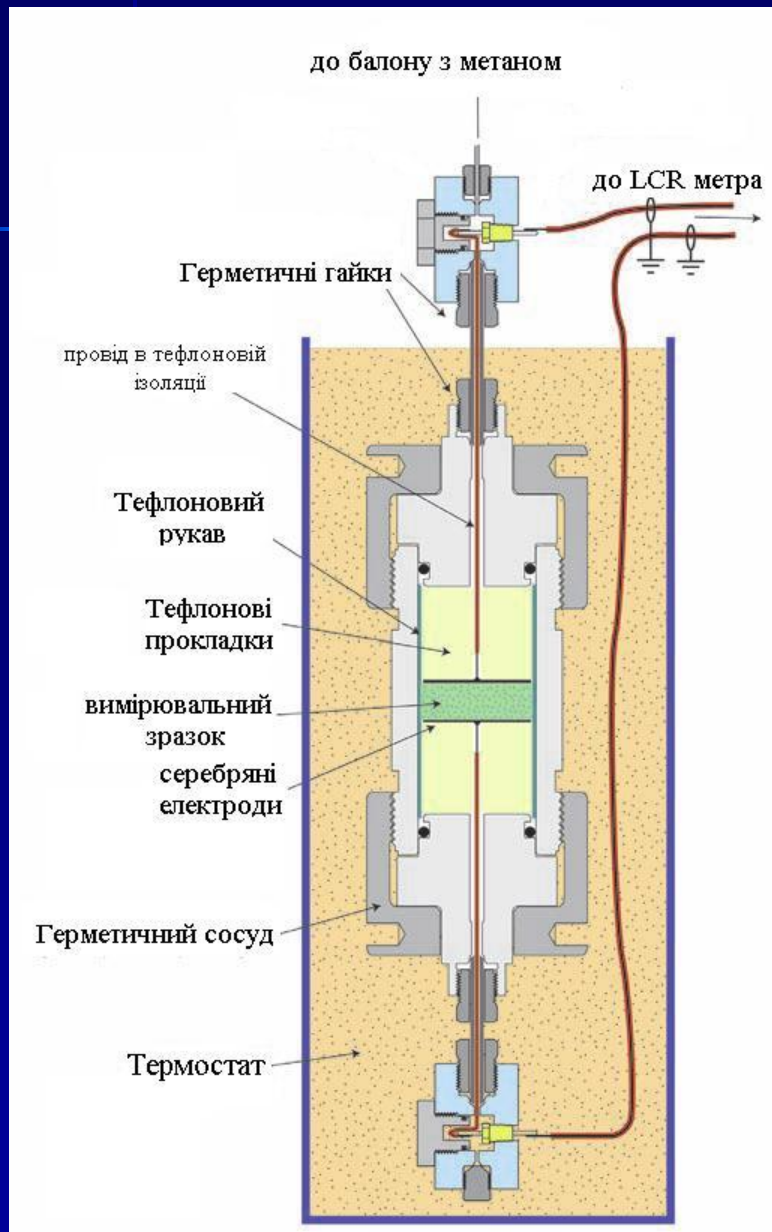
Блок-схема вимірювання теплопровідності гідратовміщуючих осадів

Постійний струму  $I$  подають на нагрівальний елемент з опором  $R$ . Ефективна потужність  $Q$  якого визначається по формулі,  $Q=2 \times I^2 R$  де множник 2 враховує геометрію нагрівального дроту, який розміщений по всій довжині голки зонда у вигляді петлі. Тепло від нагрівача призводить до зміни температури  $T$ , вимірюваної всередині зонду, по закону [Blackwell, J.H., 1954]:  $\Delta T = A \times \ln(t) + B$ , де  $t$  - час у секундах, на протязі якого розігрівається зразок.

У якості первинних перетворювачів температури використовуються мініатюрні прецизійні тонкоплівкові платинові терморезистори Pt1000. Дані терморезистори при температурі  $0^\circ\text{C}$  мають опір  $1\text{ кОм}$ , а в діапазоні температур від  $-5^\circ\text{C}$  до  $20^\circ\text{C}$  його опір змінюється лінійно від  $0,95$  до  $1,1\text{ кОм}$ .

У якості прецизійного цифрового термовимірювального приладу доцільно використовувати сигма-дельта аналоговий цифровий перетворювач (АЦП) і ратіометричну схему підключення до нього температурного датчика (Texas Instruments Inc., 2013).

# Модуль вимірювання електропровідності гідратовміщуючих осадів



**Електропровідність ГГ мають типову експонентну залежність від температури:**

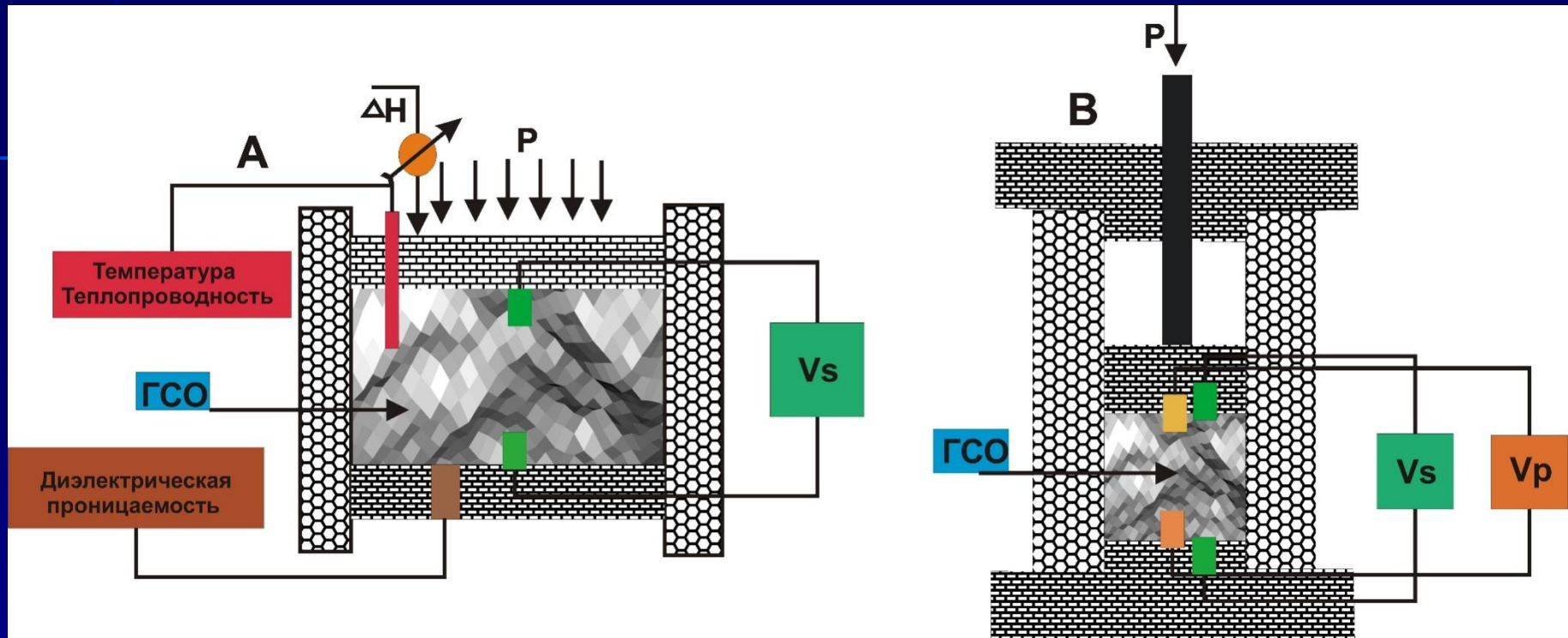
$$\sigma(T) = \sigma_0 \times e^{-E_a / RT},$$

де  $\sigma_0$  - постійна,  $E_a$  - енергія активації,  $R$  - газова стала,  $T$  - температура.

**Електропровідність чистого гідрату метану (тобто без осадів) коливаються від  $10^{-5}$  до  $10^{-4}$  См/м, а з чистого льоду - на  $\sim 400\%$  вище.**

**Електропровідність гідрату метану набагато менше ніж морської води ( $\sim 10^{-1}$  до  $10$  См/м) і набагато більше, ніж кварцу ( $<10^{-18}$  См/м).**

**Для проведення експериментальних вимірів акустичних властивостей використовуються спеціальні модулі, які призначені для вимірювання швидкостей поздовжніх (P) і поперечних (S) хвиль гідратовміщуючих осадів**



Вимірювання часу розповсюдження пружних хвиль у зразку здійснюється на розробленій двоканальній ультразвуковій імпульсній установці. Одночасно вимірюється час розповсюдження поздовжніх і поперечних пружних хвиль, сигнали яких розділено по амплітуді і частоті. Похибка розрахунку швидкостей з урахуванням похибки вимірювання часу розповсюдження імпульсів і довжини зразка в умовах високого тиску і температури становить не більше  $\pm 1\%$  для  $V_p$  і  $\pm 1,2\%$  для  $V_s$ .



**Загальний вигляд окремих складових експериментального комплексу для вивчення фізичних властивостей штучно сформованих газогідратвміщуючих донних відкладів**



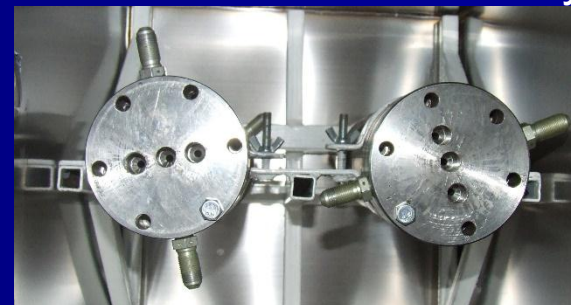
Витяжний шкаф



Пульт управління



Сосуди високого тиску



**1. Опубліковано тези в матеріалах:**

- **III Міжнародні науково-технічної конференції «ГАЗОГІДРАТИ ТА ІНШІ АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ГАЗУ», яка проходила з 12 по 14 грудня 2019 року в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу «Експериментальний лабораторний комплекс для вивчення фізичних властивостей штучносформованих газогідратовміщуючих донних осадів.».**
  - **IX Всеукраїнської молодіжної наукової конференції-школі «Сучасні проблеми наук про Землю», яка відбувалася 16-19 квітня 2019 року в ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка «Експериментальні вимірювання фізичних властивостей штучних гідратвміщуючих донних осадів».**
  - **X Всеукраїнської молодіжної наукової конференції-школі «Сучасні проблеми наук про Землю», яка відбувалася 14-16 квітня 2020 року в ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Тараса Шевченка на тему: «Вивчення фізичних властивостей газогідратовміщуючих донних осадів».**
- 2. Прослухав курси лекцій та успішно склав іспити по навчальним дисциплінам: «Філософія», «Англійська мова» та «Методологія, організація та технологія наукових досліджень».**
- 3. Експериментальна робота по створенню окремих модулів лабораторного комплексу для вивчення фізичних властивостей штучносформованих газогідравміщуючих донних осадів.**

## **На 3 курсі навчання в аспірантурі було виконано:**

- 1. Узагальнення наявної геолого-геофізичної інформації стосовно глибинної будови та газогідратних ресурсів мегазападини Чорного моря.**
- 2. Підготовлені 3 та 4 методичні розділи дисертації.**
- 3. Здана до друку стаття: Коболев В.П., Михайлюк С.Ф., Сафронов А.М. *Експериментальний лабораторний комплекс для вивчення фізичних властивостей штучно сформованих газогідратовміщуючих донних осадів* // Геологія і корисні копалини Світового океану. 2021. 17, № 2-3:.**
- 4. Пошук, замовлення та придбання вимірювальних елементів для експериментального лабораторного комплексу.**

# Дякую за увагу!

Бермудский треугольник

