

# ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ



Виконала:  
студентка групи ЛТО-18мз  
Носова Г. В.

Науковий керівник:  
доц. каф. ЛОТ  
Тарновський М.Г.



## Мета роботи:

покращення функціональних характеристик оптико-електронного засобу вимірювання вологості сипучих матеріалів

## Основні задачі:

1. Аналіз сучасних оптичних методів вимірювання вологості.
2. Вибір методу вимірювання вологості, визначення шляхів його покращення та підходів до можливого застосування.
3. Визначення підходів до побудови оптико-електронного засобу вимірювання вологості сипучих речовин з покращеними функціональними характеристиками.

## Об'єкт дослідження:

явище вибіркового поглинання оптичного випромінювання молекулами води

## Предмет дослідження:

методи та засоби вимірювання вологості за оптичним поглинанням

## Наукова новизна отриманих результатів:

Набув подальшого розвитку метод вимірювання вологості за вибірковим оптичним поглинанням випромінювання молекулами води, при якому за рахунок використання додаткового опорного випромінювання враховується спектральна залежність коефіцієнта поглинання досліджуваної речовини, що сприятимемо підвищенню точності вимірювання.

## Практичне значення отриманих результатів :

1. Запропоновані технічні рішення дозволяють побудувати засіб для безконтактного вимірювання вологості сипучих речовин з лінійною передавальною характеристикою вимірювального каналу, що спрощує математичну обробку результатів вимірювання.
2. Запропонований засіб може бути застосований для безконтактного контролю вологості різноманітних сипучих речовин у складі автоматизованої системи контролю та управління

# Переваги оптичних методів вимірювання вологості

1. Простота та технологічність
2. Висока вибірковість
3. Висока чутливість, точність та відтворюваність вимірювань
4. Можливість інтегральної оцінки вологості у великих об'ємах
5. Безінерційність та відсутність гістерезису
6. Відсутність впливу на досліджуваний об'єкт
7. Можливість використання для різноманітних матеріалів



# Метод оптичного поглинання

У ближній інфрачервоній області найбільше поглинання води спостерігається на довжинах хвиль 1,45, 1,94 та 2,75 мкм.

## Із закону Бугера-Ламберта

для вимірювального потоку:

$$\Phi_{\lambda\epsilon} = \Phi_{0\lambda\epsilon} \cdot e^{-(k_1 m_1 + k_2 m_2)}$$

для опорного потоку:

$$\Phi_{\lambda on} = \Phi_{0\lambda on} \cdot e^{-k_1 m_1}$$

$k_1$  – коефіцієнти поглинання матеріалу на опорній та вимірювальній довжинах хвиль;  
 $k_2$  – коефіцієнти поглинання вологи на вимірювальній довжині хвилі;  
 $m_1$  та  $m_2$  – маси речовини і вологи відповідно

**Забезпечуючи**  $\Phi_{0\lambda\epsilon} = \Phi_{0\lambda on}$  **маса вологи  $m_2$ :**

$$m_2 = \frac{1}{k_2} (\ln \Phi_{\lambda on} - \ln \Phi_{\lambda\epsilon})$$

# Метод оптичного поглинання

для вимірювального потоку:

$$\Phi_{\lambda_{\text{в}}} = \Phi_{0\lambda_{\text{в}}} \cdot e^{-(k_1 m_2 + k_2 m_1)}$$

для опорних потоків:

$$\Phi_{\lambda_{\text{оп1}}} = \Phi_{0\lambda_{\text{оп1}}} \cdot e^{-k_3 m_1} \quad \Phi_{\lambda_{\text{оп2}}} = \Phi_{0\lambda_{\text{оп2}}} \cdot e^{-k_4 m_1}$$

$k_1$  – коефіцієнт поглинання вологи на вимірювальній довжині хвилі  $\lambda_{\text{в}}$ ;

$k_2$  – коефіцієнт поглинання матеріалу на вимірювальній довжині хвилі  $\lambda_{\text{в}}$ ;

$k_3$  – коефіцієнт поглинання матеріалу на опорній довжині хвилі  $\lambda_{\text{оп1}}$ ;

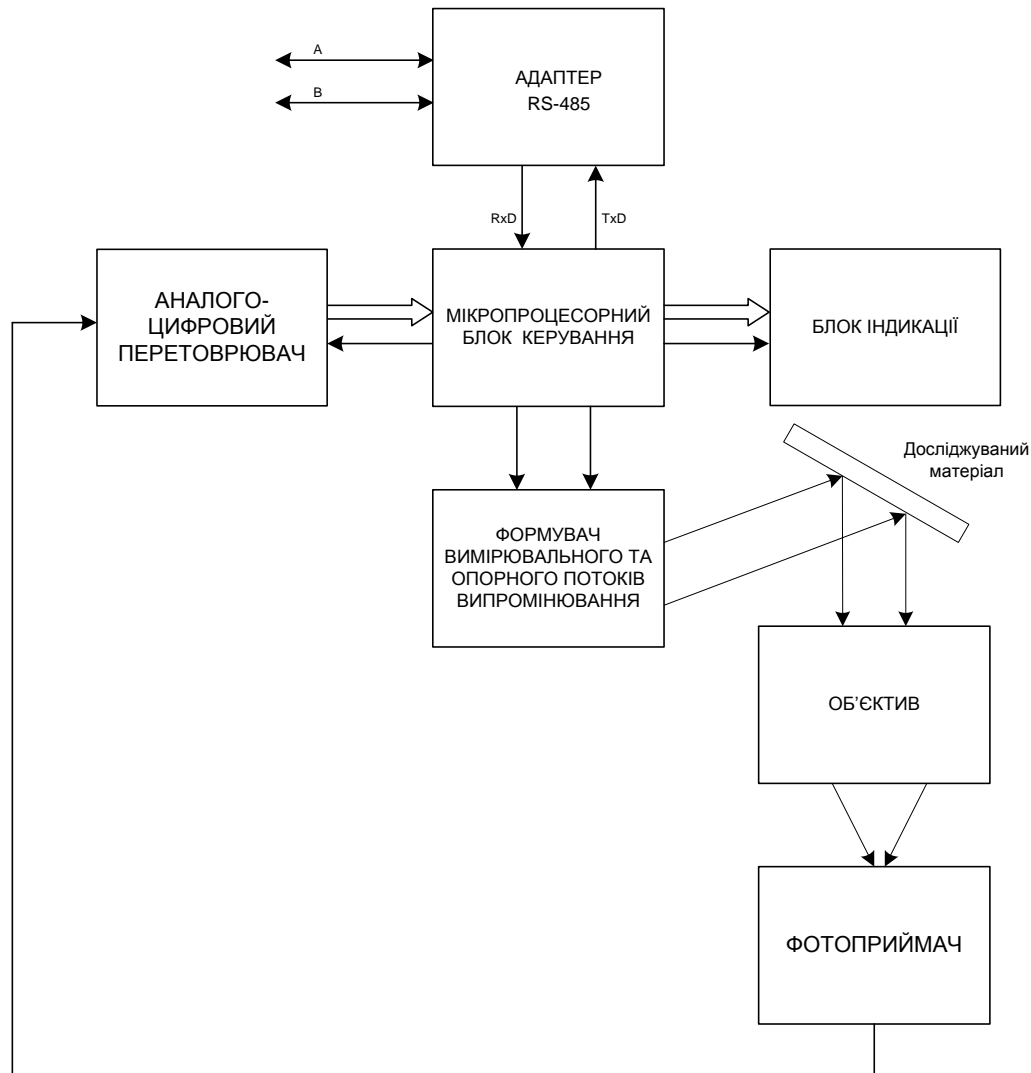
$k_4$  – коефіцієнт поглинання матеріалу на опорній довжині хвилі  $\lambda_{\text{оп2}}$ .

**Забезпечуючи  $\Phi_{0\lambda_{\text{в}}} = \Phi_{0\lambda_{\text{оп1}}} = \Phi_{0\lambda_{\text{оп2}}}$  вологовміст  $m_2/m_1$ :**

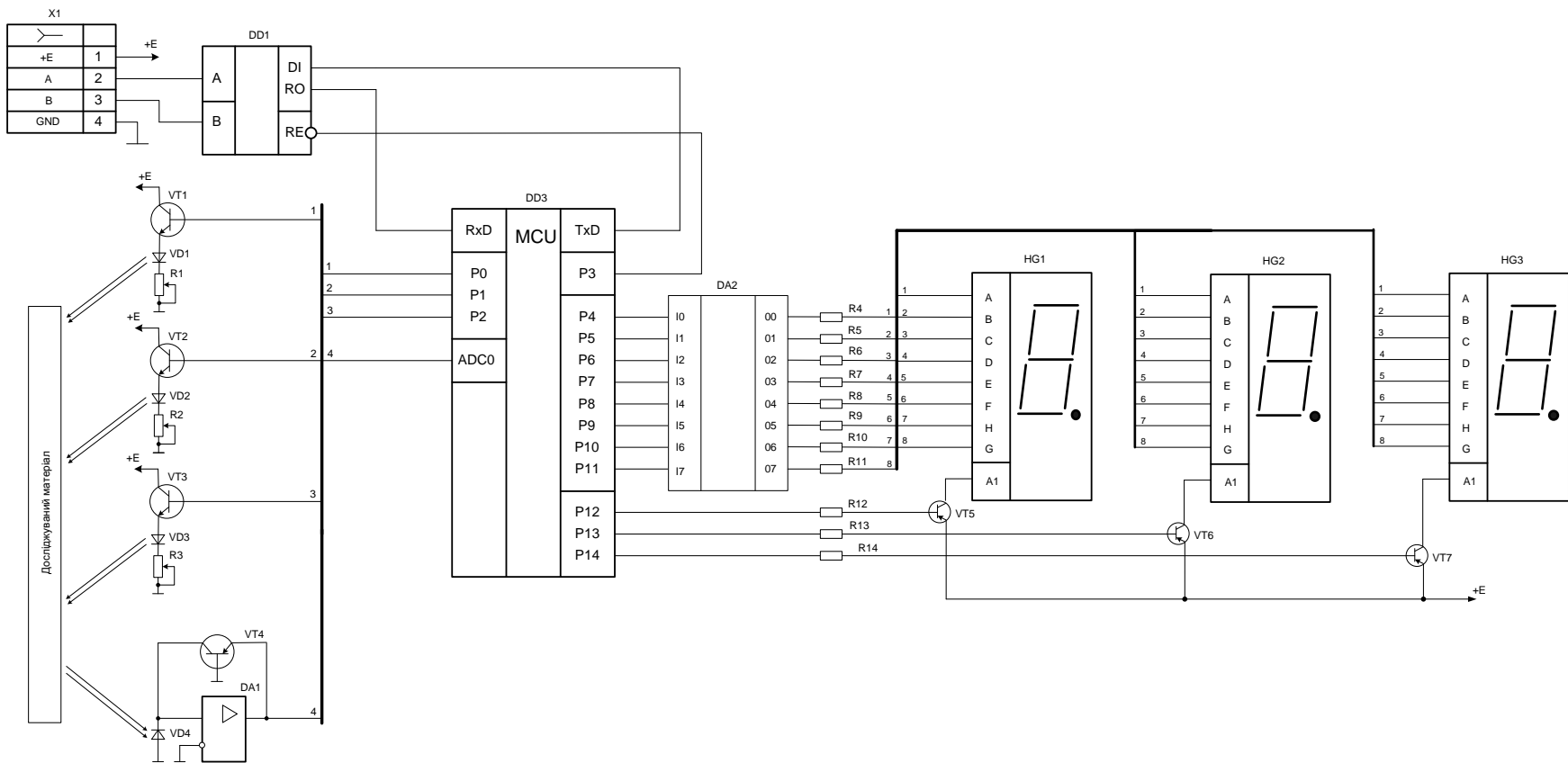
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{(k_3 - k_2)}{k_1} - \frac{(k_4 - k_3)}{k_1} \cdot \frac{\ln(\Phi_{\lambda_{\text{в}}}) - \ln(\Phi_{\lambda_{\text{оп1}}})}{\ln(\Phi_{\lambda_{\text{оп1}}}) - \ln(\Phi_{\lambda_{\text{оп2}}})}$$



# Структурна схема оптико-електронного засобу вимірювання вологості



# Схема електрична функціональна оптико-електронного засобу вимірювання вологості



# Передавальна функція вимірювального каналу

## Вологовміст

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{(k_3 - k_2)}{k_1} - \frac{(k_4 - k_3)}{k_1} \cdot \frac{\ln(\Phi_{\lambda \epsilon}) - \ln(\Phi_{\lambda_{on1}})}{\ln(\Phi_{\lambda_{on1}}) - \ln(\Phi_{\lambda_{on2}})}$$

### З врахуванням передавальної функції фотодіода

$$I_\phi = S \cdot \Phi \implies \Phi = I_\phi / S$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{(k_3 - k_2)}{k_1} - \frac{(k_4 - k_3)}{k_1} \cdot \frac{\ln(I_{\lambda \epsilon}) - \ln(I_{\lambda_{on1}})}{\ln(I_{\lambda_{on1}}) - \ln(I_{\lambda_{on2}})}$$

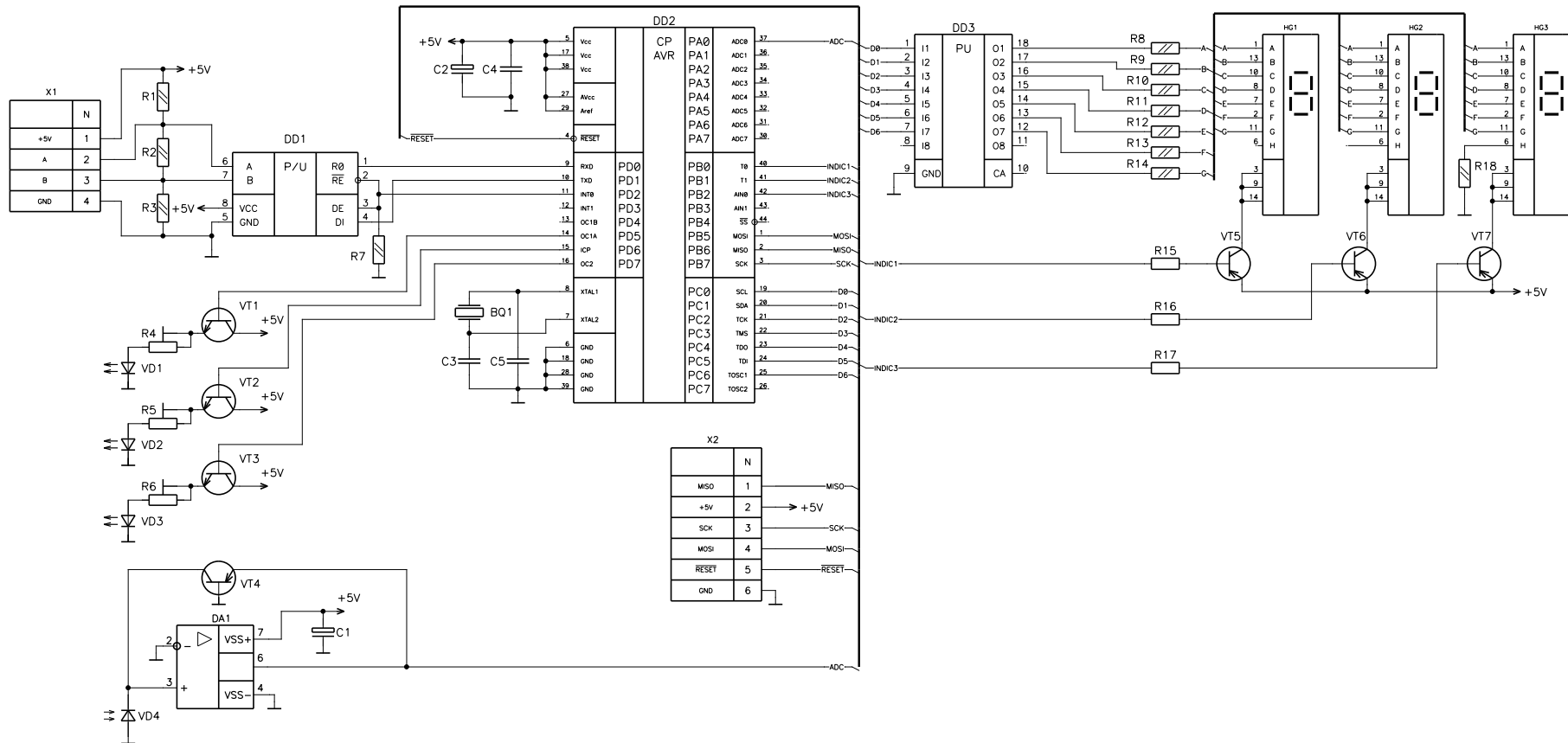
### З врахуванням передавальної функції підсилувача

$$U = \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{I_\phi}{I_0}\right) \implies \ln(I_\phi) = \frac{e}{kT} U + \ln(I_0)$$

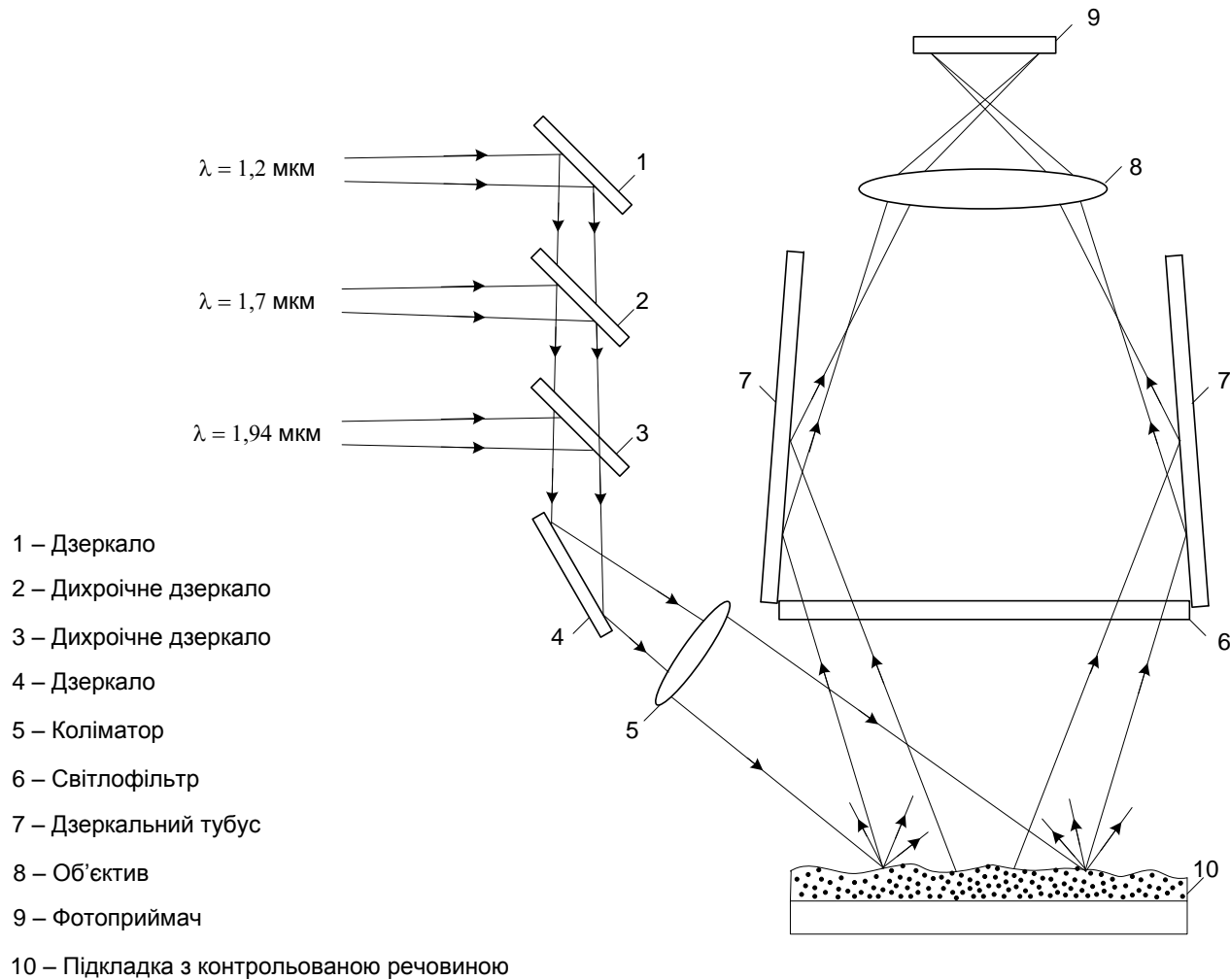
$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{k_3 - k_2}{k_1} - \frac{k_4 - k_3}{k_1} \cdot \frac{U_\epsilon - U_{on1}}{U_{on1} - U_{on2}}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = A - B \cdot \frac{U_\epsilon - U_{on1}}{U_{on1} - U_{on2}}$$

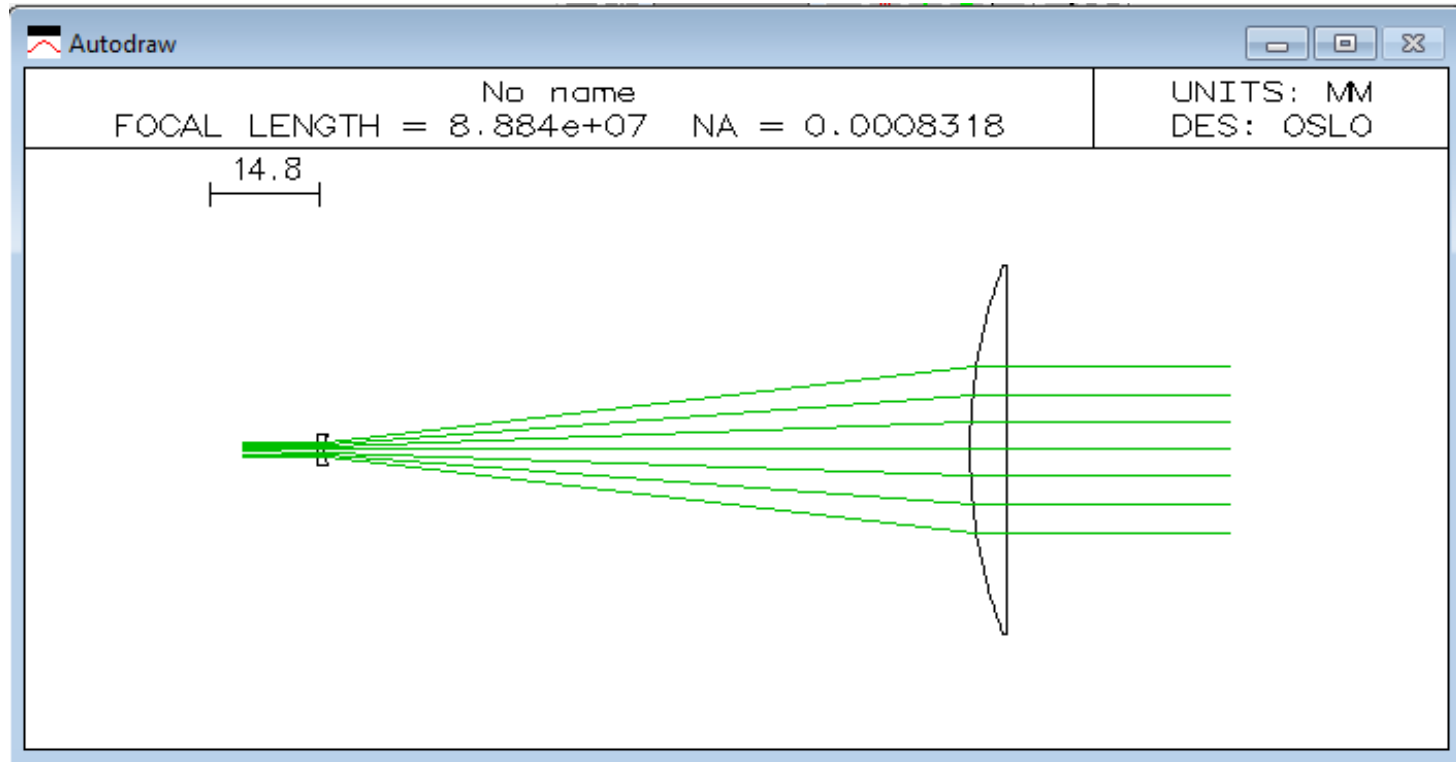
# Схема електрична принципова оптико-електронного засобу вимірювання вологості



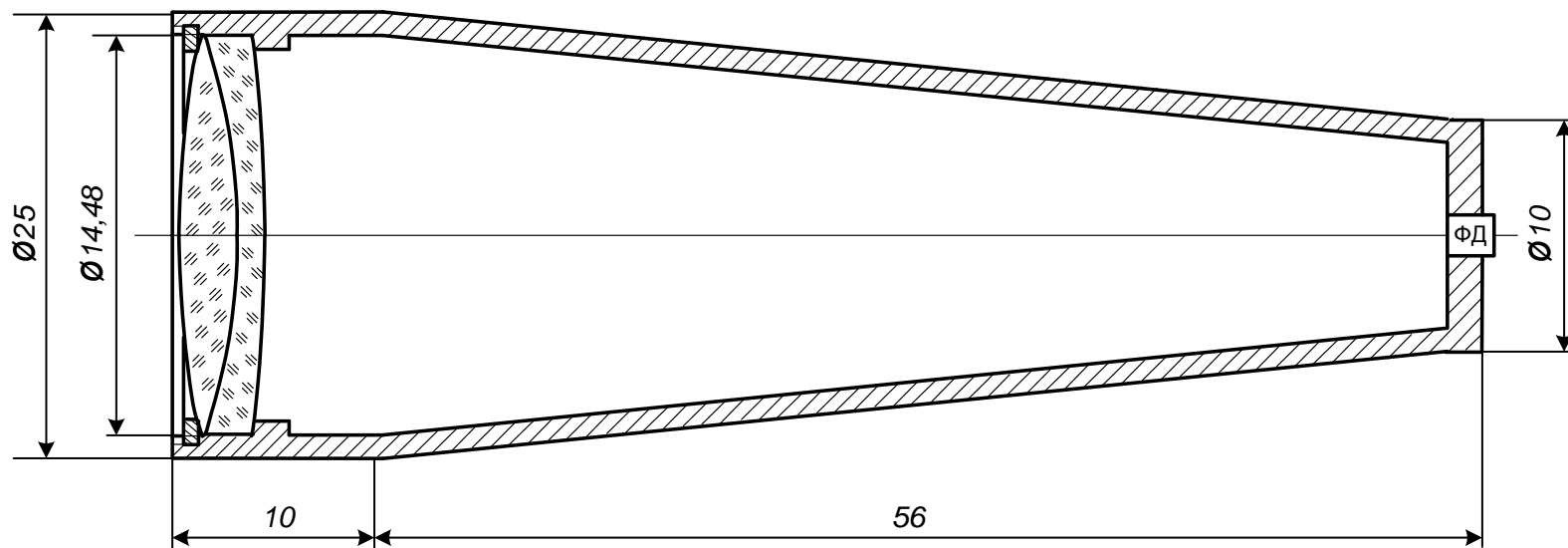
# Оптична функціональна схема оптико-електронного засобу вимірювання вологості



# Результати моделювання ходу променів через оптичну систему коліматора



# Об'єктив





# Висновки

1. Задачі вимірювання вологості сипучих речовин є надзвичайно поширеними та мають багато практичних застосувань. Безконтактні оптичні методи вимірювання вологості характеризуються високою вибірковістю, чутливістю та виключають взаємодію датчика з контрольованим матеріалом, що сприяє підвищенню точності вимірювання
2. Стандартна реалізація методу вимірювання вологості за її оптичним поглинанням, яка передбачає використання вимірювального та опорного потоків випромінювання, не враховує спектральних характеристик матеріалу, що у загальному випадку збільшує похибку вимірювання.
3. Врахування спектральних характеристик матеріалу, зокрема, спектральної залежності його коефіцієнта поглинання, при доволі простій математичній обробці результатів вимірювання можна досягти за рахунок використання ще одного випромінювання з опорною довжиною хвилі.
4. Запропоновані в роботі принципи структурної та функціональної побудови оптико-електронного засобу для вимірювання вологості дозволяють реалізувати безконтактне вимірювання вологовмісту сипучих речовин на відстані 400 мм. При цьому, забезпечується лінійність передавальної характеристики вимірювального каналу, що надає можливість отримувати результат вимірювання вологості у відносних одиницях, здійснивши попереднє калібрування лише за двома зразками контрольованого матеріалу, відомої вологості