

# МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МІКРОПОТОКУ РІДКОГО ПОЖИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ЧЕРЕЗ КАНАЛИ ТА ПОРОЖНИНИ ЛАБОРАТОРІЇ НА ЧИПІ

Роботу виконав:

Костюк Володимир Володимирович,  
учень 11 класу

Коломийського ліцею №9

Коломийської міської ради

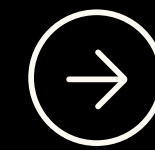
Наукові керівники:

-Бонарева Світлава Олександрівна, вчитель біології

Коломийського ліцею №9 Коломийської міської ради

-Ніколов Микола Олександрович, к.т.н., доцент кафедри  
електронної інженерії НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»

# Що таке “Лабораторії на чипі”?

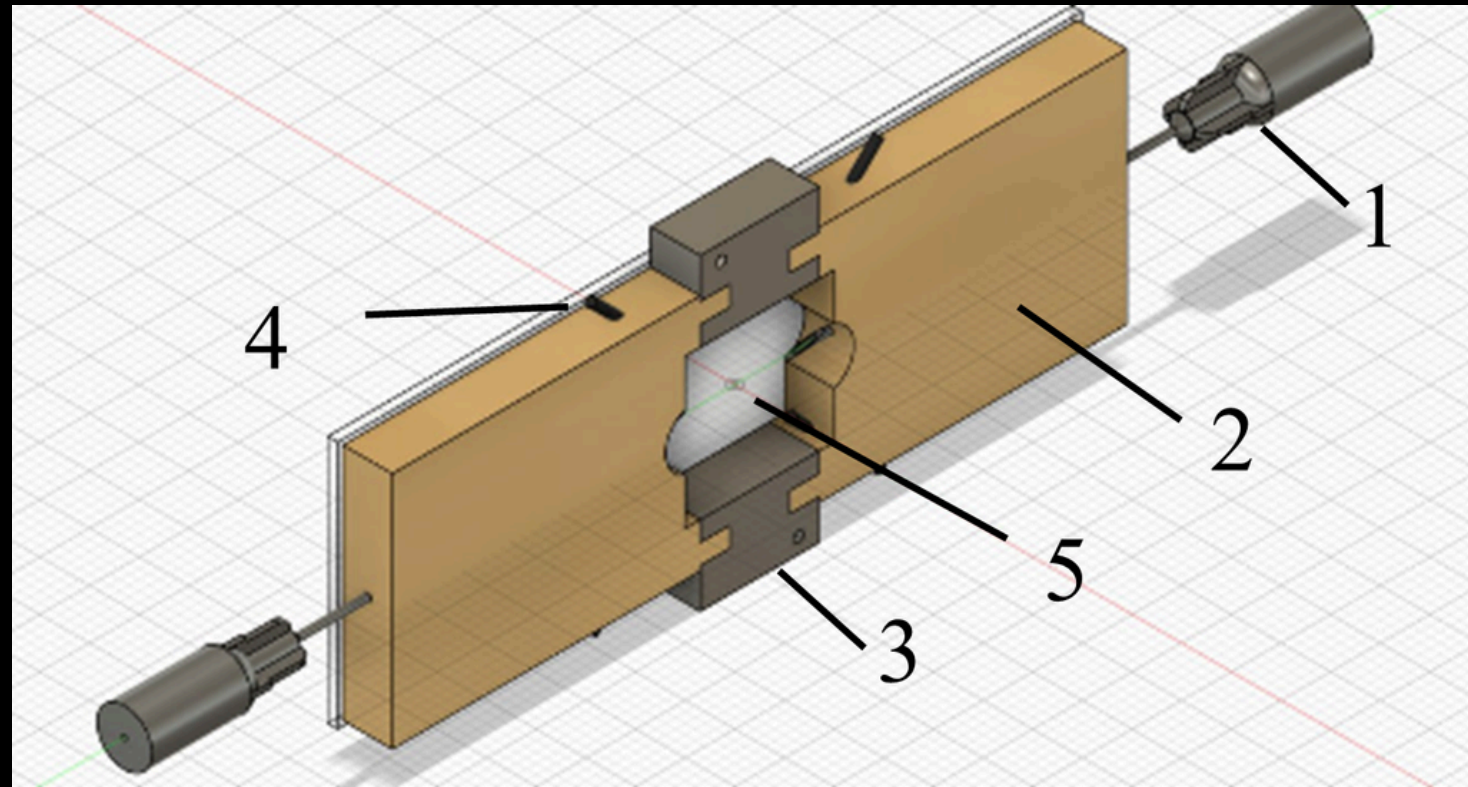


## РІЗНОВИДИ ЛАБОРАТОРІЙ НА ЧИПІ (LoC)

Цифрові LoC	Масивні LoC	Органоїдні та біологічні LoC	Мікрофлюїдні LoC
<ul style="list-style-type: none"><li>Маніпуляція краплями рідини за допомогою електричних полів</li><li>Підходить для високоточного контролю об'єму та швидкості</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Паралельне проведення сотень експериментів одночасно</li><li>Використовуються у фармакології та скринінгу ліків</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Моделюють тканини або органи людини на чипі</li><li>Використовуються для тестування ліків, токсикології та дослідження клітин</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Основний тип, де рідина рухається через мікроканали</li><li>Використовують для хімічних реакцій, аналізу зразків та синтезу речовин</li></ul>
			

Лабораторія на чипі це мініатюрна лабораторна система розміром з банківську карту яка створена на невеликій пластині, котра дозволяє проводити складні біохімічні та медичні дослідити або аналізи та не потребує великого простору та часу. В наших умовах це є актуальним оскільки вони здатні значно зменшити витрати реактивів і обладнання для біомедичних досліджень та діагностики, що важливо в умовах обмеженого доступу до великих лабораторій.

# Розробка "ЛнЧ" на каф. Електронної інженерії НТУУ "КПІ"



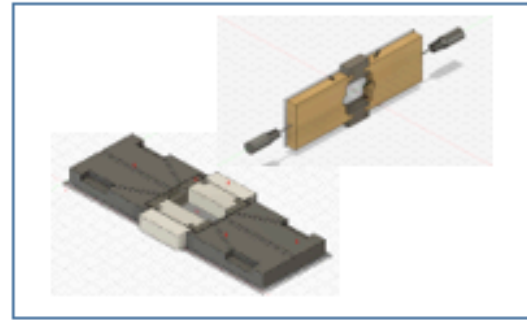
3D модель лабораторного макету ЛнЧ: 1 – голки-канали для подачі поживного середовища до камери біореактору 5, 2 – корпус чипу, 3 – вставки з матеріалу, що досліджується, 4 – електроди

Але вітчизняні проєкти із ЛнЧ - відсутні. В Україні лабораторії на чипі перебувають переважно на етапі досліджень. Широкомасштабних наукових програм, серійних розробок або комерційних реалізацій технологій ЛнЧ в Україні наразі майже немає, що робить цю сферу перспективною для подальших досліджень і розвитку

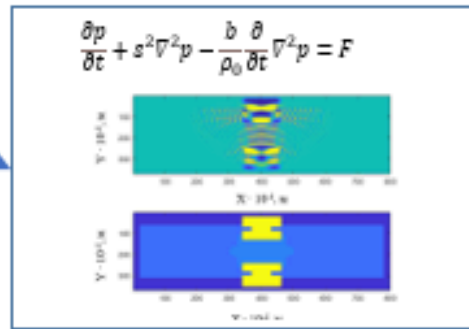
Тому на кафедрі ЕІ почали створювати прототипи та експериментальні зразки ЛнЧ. Проте, проточну автоматизовану систему ще не було реалізовано.

Розробка буде корисна для: науковців , що працюють у сфері біомедичної інженерії, біофізики

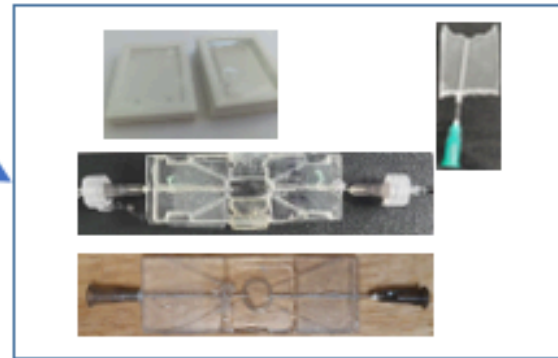
# Основні етапи розробки системи ЛнЧ на сьогодні



Розробка 3D моделі ЛнЧ  
*О. Розум, Є. Розум*



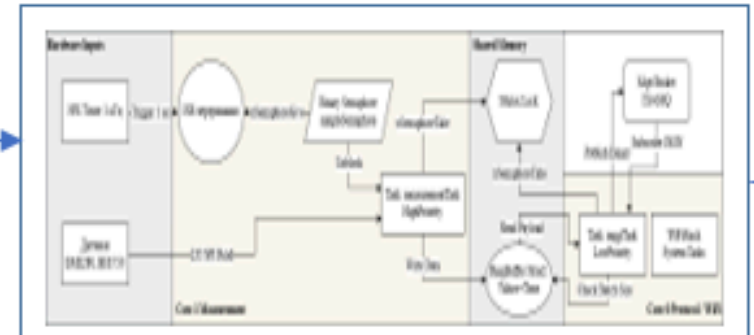
Мат. модел. поширення  
акуст. хвиль у ЛнЧ  
*Є. Розум*



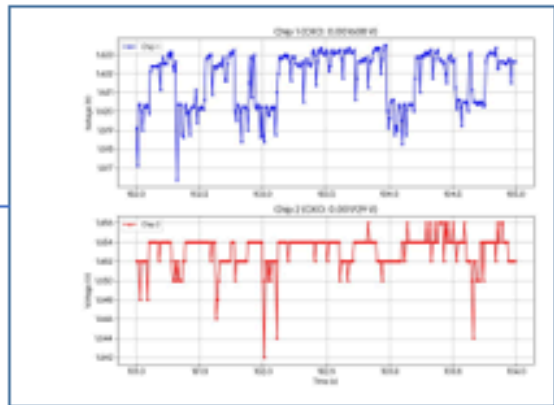
Технологія створення ЛнЧ



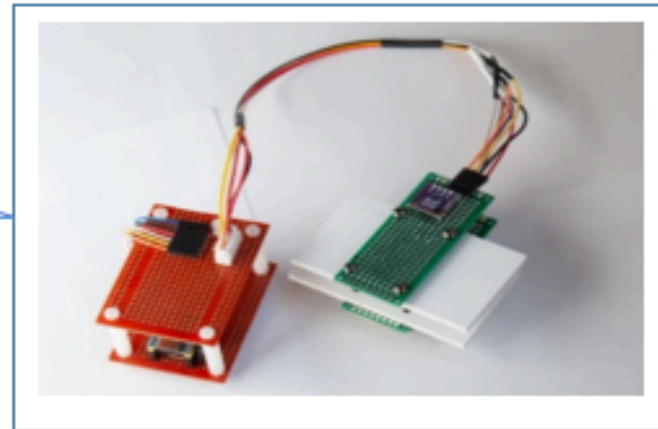
Розробка архітектури електронно-  
вимірювальної системи  
*Є. Розум, А. Кулаков*



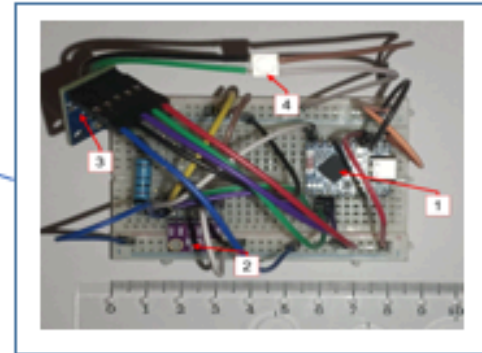
Розробка архітектури ПЗ для МК  
*Є. Розум*



Експериментальне дослідження  
стендів, технічні випробування  
*А. Кулаков, Є. Розум*



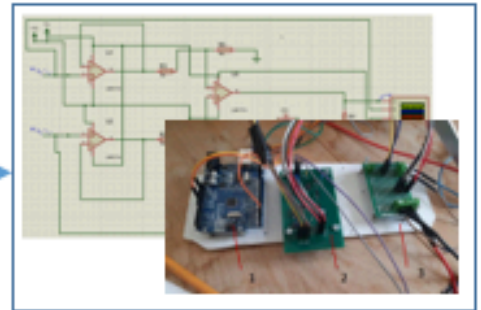
Експериментальний стенд електронно-  
вимірювальної системи (колориметрії),  
масштабування стендів  
*А. Кулаков*



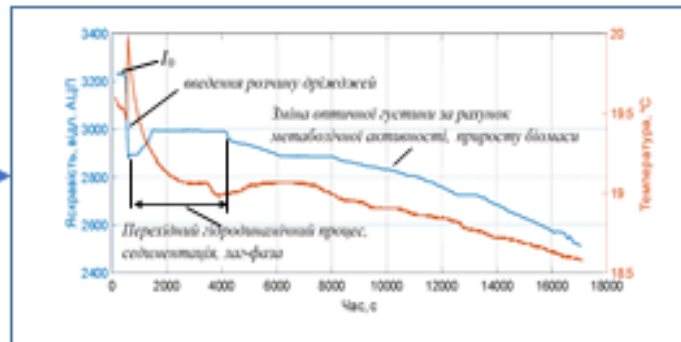
Макетування електронно-  
вимірювальної системи  
*А. Кулаков, Є. Розум*



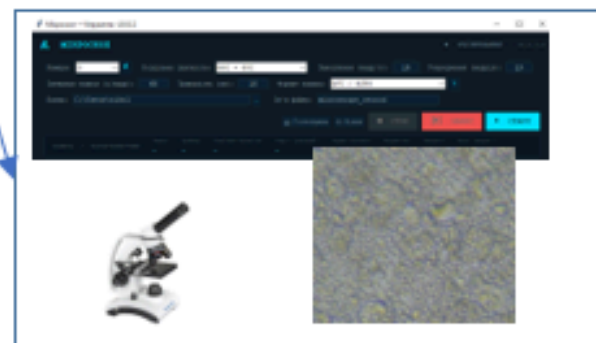
Розробка ПЗ  
користувача  
*Є. Розум*



Розробка модулю вимірювання  
диференційної температури ЛнЧ  
*А. Тимків*



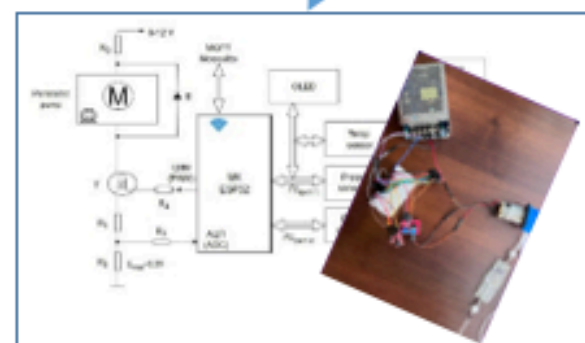
Попередні біологічні  
експериментальні дослідження  
*С. Парасотка, А. Кулаков*



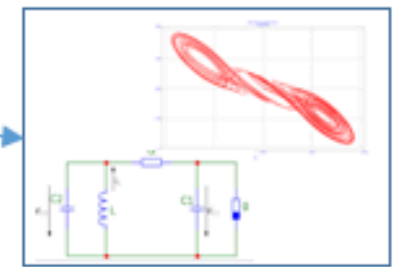
Попередні мікробіологічні  
експерим. дослідж.,  
розробка ПЗ-утіліт  
*С. Парасотка, А. Кулаков*



Розробка 3D моделі  
корпусу для ЛнЧ  
*Є. Розум, А. Кулаков*



Розробка автоматизованої  
системи забезпечення  
мікропотоків  
*В. Костюк*



Розробка генератора хаотичних  
коливань для стимуляції БО  
*І. Семеній*

# Літературні дослідження, щодо порівняльних потоків в різних системах LoC

Вид біооб'єкту	Типові потоки, мл/хв	Рідина
Альгінатні мікросфери (кухонна ікра / інкапсуляція клітин) [Vinner G., 2019]	0.02 / 0.02	2 % w/v альгінат (A), CaCl <sub>2</sub> (B)
Альгінатні мікросфери для інкапсуляції ДНК / клітин [Zhao S. et al., 2013]	0.03 / 0.0006 / 0.015	Альгінат (Q1), олія/сурфактант (Q2), CaCl <sub>2</sub> (Q3)
Гідрогелеві мікросфери для 3D культур клітин / штучні тканини [Zhu L. et al., 2019]	0.005–0.03	Альгінат з клітинами, олія з сурфактантом
Мікросудинна модель (Organ-on-a-Chip, судини) [Liu X. et al., 2021]	0.005–0.02	Культура ендотеліальних клітин, середовище DMEM
Легеневий чіп (Lung-on-a-Chip) [Lung-on-a-chip, 2024]	0.001–0.005	Культура епітеліальних клітин легень, повітря/середовище
Печінковий чіп (Liver-on-a-Chip) [Sun C. et al., 2023]	0.005–0.015	Гепатоцити, поживне середовище
Серцевий чіп (Heart-on-a-Chip) [Chen G. et al., 2024]	0.002–0.01	Кардіоміоцити, живильний розчин
Нирковий чіп (Kidney-on-a-Chip) [Avanaki M. et al., 2023]	0.003–0.01	Клітини проксимальних каналців нирки
Шкіра на чіпі (Skin-on-a-Chip) [Avanaki M. et al., 2023]	0.002–0.008	Кератиноцити, дермальні фібробласти
Чіп кишківника (Gut-on-a-Chip) [Avanaki M. et al., 2023]	0.001–0.004	Ентероцити, мікробіота
Моделювання пухлини (Tumor-on-a-Chip) [Liu X. et al., 2021]	0.002–0.006	Клітини ракової лінії
Нейронний чіп (Brain-on-a-Chip) [Chen G. et al., 2022]	0.001–0.003	Нейрони та астроцити
Мікросфера з гіалуроновою кислотою [Chen G. et al., 2022]	0.01–0.03	Гіалуронова кислота, PBS
ДНК-гідрогель [Okuducu M. et al., 2021]	0.002–0.006	ДНК, буфер
Еритроцити в мікроканалах [Potkay J. et al., 2012]	0.005–0.02	Кров або модельна рідина
Мікрочіп для бактерій [Tang S. et al., 2022]	0.001–0.004	Бактеріальна суспензія
Орган-мікс на чіпі [Okuducu M. et al., 2021]	0.003–0.01	Клітини різних органів
Мікрофлюїдна модель плаценти [Okuducu M. et al., 2021]	0.002–0.005	Клітини трофобласту

# СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗАЦІЇ МІКРОПОТОКУ ЛАБОРАТОРІЇ НА ЧИПІ



## ТЕОРЕТИЧНЕ ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПІВ МІКРОПОТОКУ

- Аналіз руху рідини в мікроканалах
- Визначення необхідного тиску, швидкості та об'єму рідини

## ПІДБІР МАТЕРІАЛІВ І КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРІЇ НА ЧИПІ

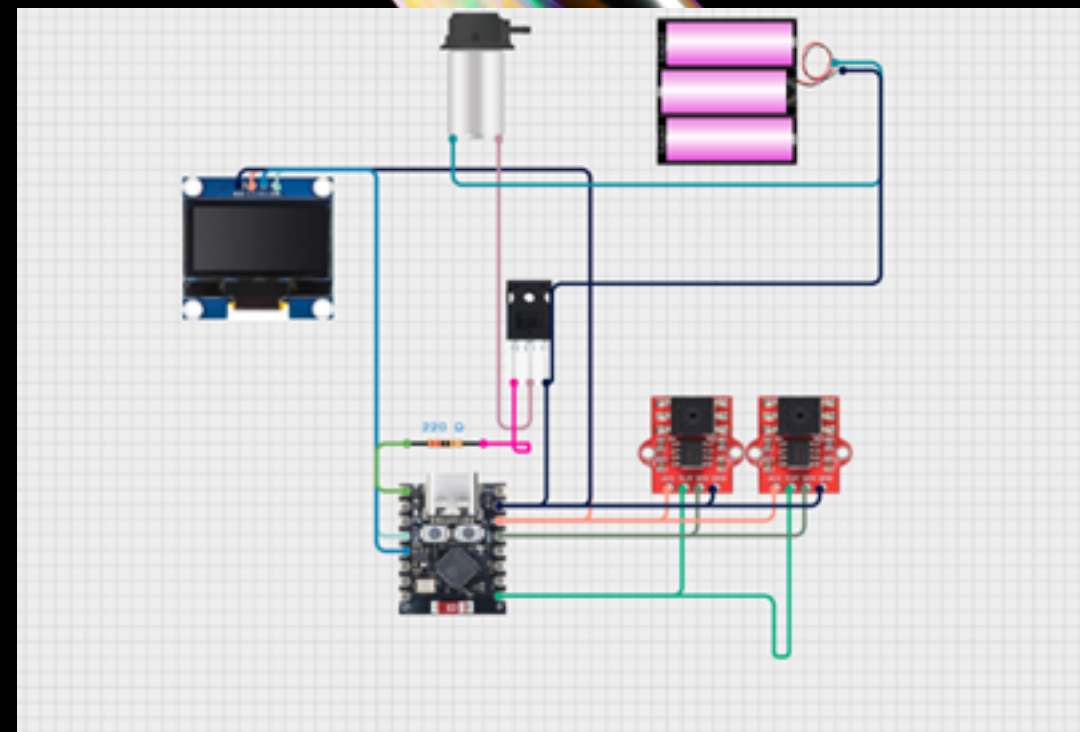
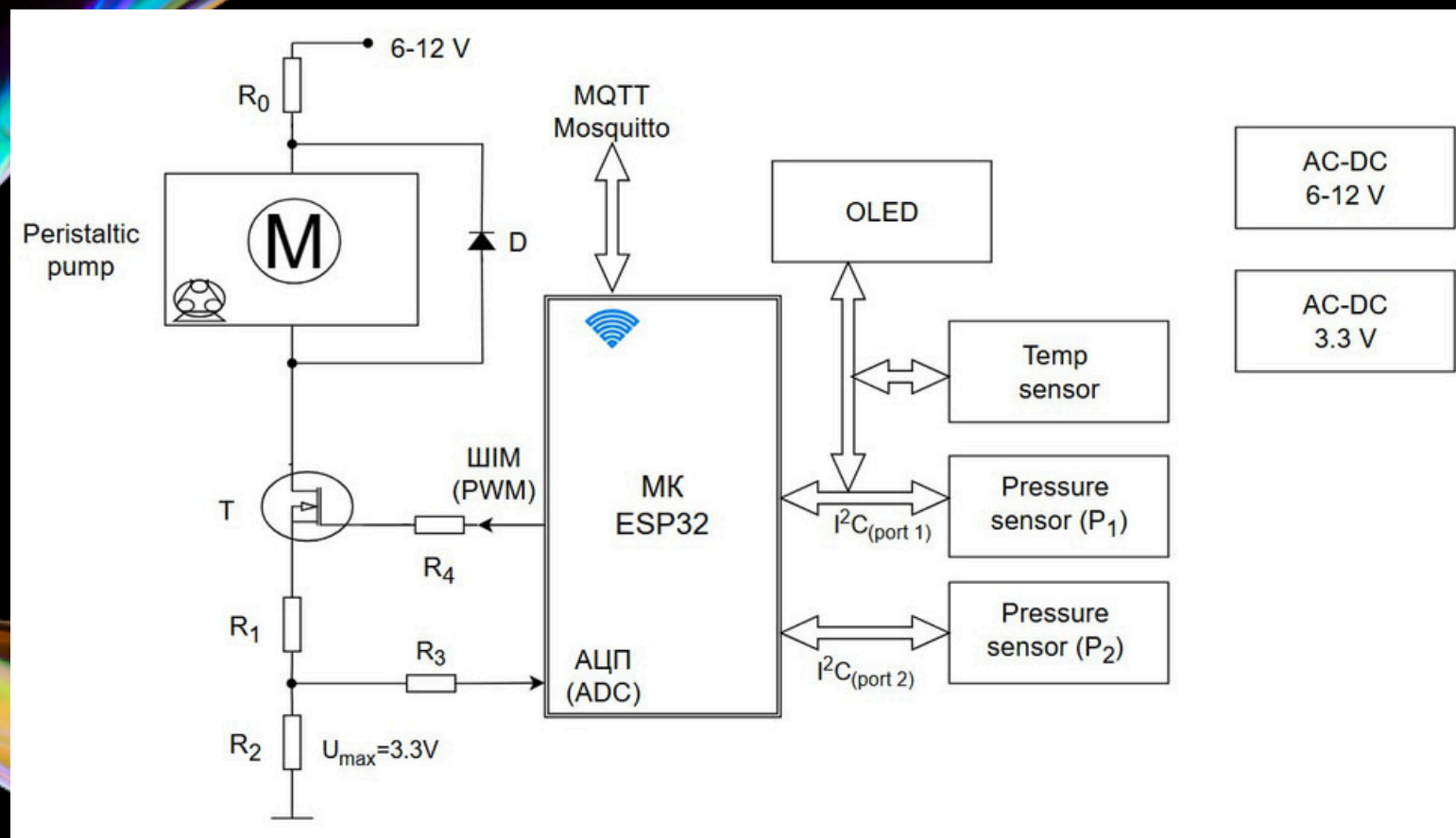
- Мікронасоси, сенсори тиску, температури, рівня рідини
- Матеріали для каналів та порожнин (полімери, скло, силікон)

## ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА КЕРУЮЧОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

- Створення схеми підключення сенсорів та насоса до ESP32
- Розробка алгоритму управління мікропотокком

## ПІДКЛЮЧЕННЯ ВСІХ КОМПОНЕНТІВ ЗА РОЗРОБЛЕНОЮ СХЕМОЮ

- Фізичне з'єднання сенсорів і насоса з мікроконтролером
- Налаштування електроніки та перевірка коректності сигналів



- МК ESP32C3 supermini - забезпечує керування та передачу інформації до ПК,
- передача даних через WIFI-MQTT
- oled дисплей (LCD 1.3"128x64 I2C) - виводить інформацію про стан датчиків та насосу,
- інфрачервоний датчик температури (GY-906) вимірює навколишню температуру та температуру рідини,
- два датчики тиску (HX710B) контролюють тиск та потік через ЛнЧ,
- MOSFET (IRF520)- дозволяє керувати через ШІМ перистальтичним насосом,
- перистальтичний насос (kamor DC 12V Micro Self-priming Pump) - забезпечення потоку рідини через канали ЛнЧ

# ПРОГРАМНИЙ КОД ДЛЯ МК В ARDUINO IDE

```
ESP32_Client | Arduino IDE 2.3.7
File Edit Sketch Tools Help
ESP32S3 Dev Module
ESP32_Client.ino
11 #include <ESP32.h> // датчик температуры и влажности (Zemlin 1011)
12 #include <Adafruit_ADS1X15.h> // v2.4.0 - 16-битный АЦП (Аналого-цифровой преобразователь)
13 #include <Preferences.h> // Библиотека для работы с энергонезависимой NVS-памятью ESP32
14 #include <Adafruit_NeoPixel.h> // v1.3.3 - Управление адресными RGB-светодиодами (WS2812)
15
16 const char* Version = "0.3.0.2";
17
18 // =====
19 // NETWORK CONFIGURATION (СЕТЕВЫЕ НАСТРОЙКИ И NVS-ПАМЯТЬ)
20 // =====
21 Preferences prefs; // объект для чтения данных, записанных флешем преподавателя
22
23 // --- Дефолтные значения (используются, если NVS пуст) ---
24 const char* DEFAULT_SSID = "DESKTOP"; // + оставляем из новой версии
25 const char* DEFAULT_PASSWORD = "45690X8a"; // + оставляем из новой версии
26 const char* DEFAULT_BROKER = "broker.hivemq.com";
27 const int DEFAULT_PORT = 1883;
28 const char* DEFAULT_TOPIC = "esp32/loc/main_topic";
29 const char* DEFAULT_NAME_ESP = "Chip_4";
30 const char* DEFAULT_STATIC_IP = "192.168.1.100";
31 const char* DEFAULT_GATEWAY = "192.168.0.1";
32 const char* DEFAULT_SUBNET = "255.255.255.0";
33 const char* DEFAULT_DNS = "8.8.8.8";
34
35 // --- Рабочие переменные ---
36 char WIFI_SSID[64];
37 char WIFI_PASSWORD[64];
38 char MQTT_BROKER[64];
39 int MQTT_PORT;
40 char MAIN_TOPIC[128];
41 char NAME_ESP[32];
42 bool USE_STATIC_IP;
43 char STATIC_IP[16];
44 char GATEWAY[16];
45 char SUBNET[16];
Output
Ln 36, Col 20 ESP32S3 Dev Module on COM7 [not connected]
```

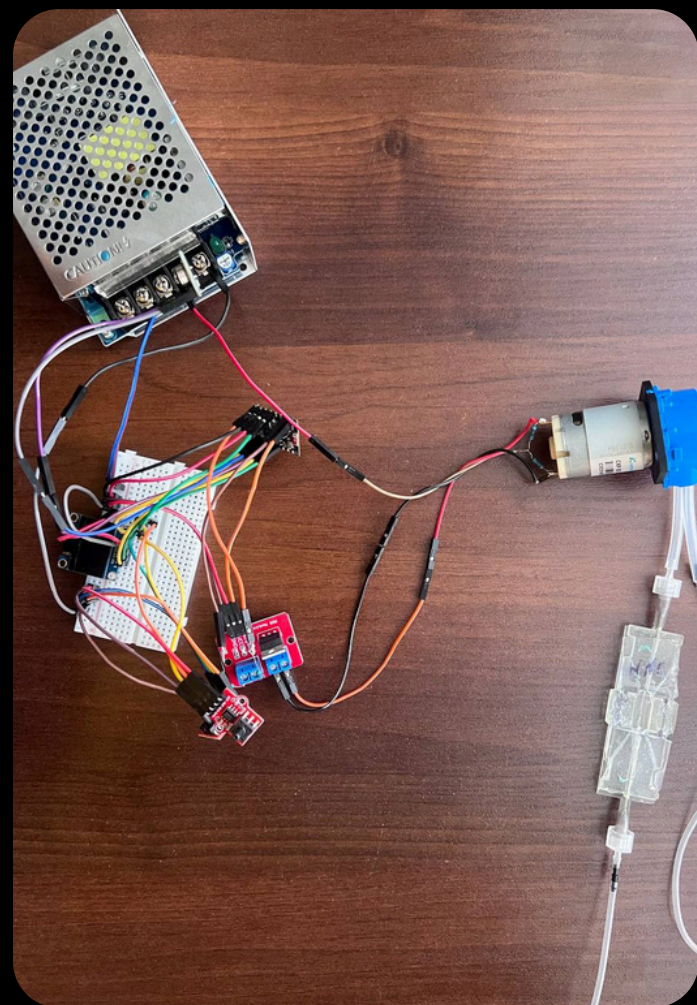


# ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА ПРОГРАМИ НА ПК ДЛЯ КЕРУВАННЯ МІКРОПОТОКОМ

MQTT Broker: test.mosquitto.org  
MQTT Port: 1883  
Data Topic: esp32/demo  
Motor Topic: esp32/motor  
Motor ON payload: 1  
Motor OFF payload: 0  
Max table rows: 50  
 Use fake (random) data instead of MQTT

Save Apply Connect

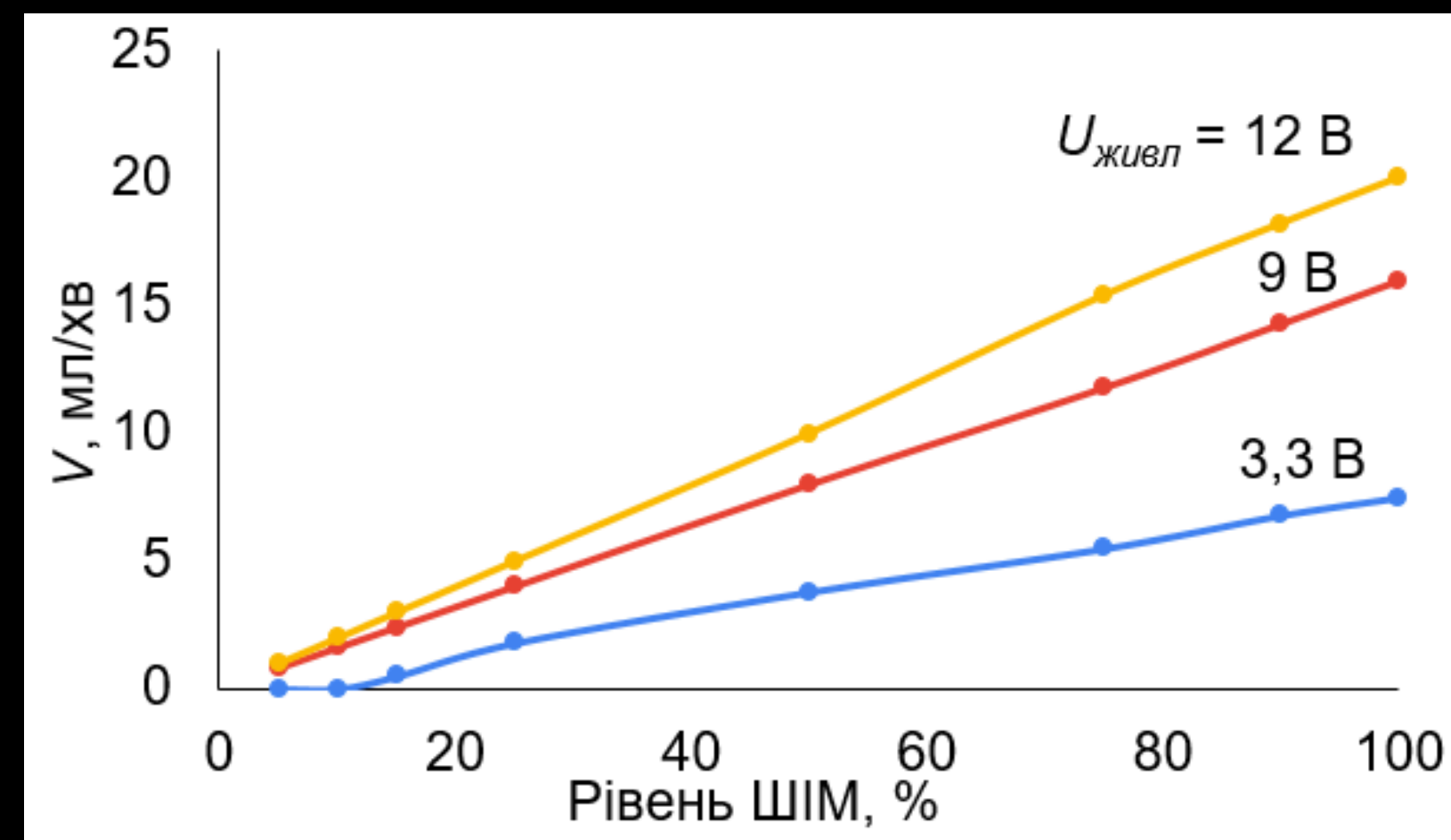
Експериментальне випробування, за результатами яких було побудовано калібрувальні характеристики потоків через ЛнЧ



Макетування електронної системи керування перистальтичним насосом



Розроблений корпус для електронної системи



Калібрувальні характеристики потік - рівень ШІМ в залежності від напруги живлення

# ВИСНОВКИ

## ВЛАСНІ ПРОФЕСІЙНІ ДОСЯГНЕННЯ

- Оволодів навичками пошуку та критичного аналізу наукових літературних джерел,
- Суттєво підвищив навички програмування мовою Python,
- Підвищив навички програмування мікроконтролерів ESP32,
- Оволодів інструментарієм створення структурно-логічних технічних блок-схем draw.io,
- Отримав практичні навички схемотехнічного проектування та моделювання у Proteus та EasyEDA
- Отримав навички фізичного макетування та реалізації електронних систем



## ВИСНОВКИ ДО РОБОТИ

- Проведено огляд наукових джерел
- Проаналізовано існуючі апаратні рішення
- Розроблено блок-схему та електричну принципову схему мікроконтролерної системи керування мікропотокком.
- Створено та реалізовано прототип системи, що забезпечує керований мікропотік рідини через канали лабораторії на чипі.

Тези доповіді: Костюк В.В. та інш. ЛАБОРАТОРІЯ НА ЧИПІ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ, ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПОПЕРЕДНІ РЕЗУЛЬТАТИ / «Біотехнологія XXI століття»: матеріали XX Міжнародної науковопрактичної конференції, 08 травня 2026. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – с. 443-445.

Прийняті до публікації тези доповіді: Розробка вимірювального модуля для лабораторії на чипі із контролем параметрів зовнішнього середовища/XVI Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2026»

# ПІДТРИМКА ВІД ПРОГРАМИ SCIENCE MENTORING

Окремо хочу висловити подяку програмі SCIENCE MENTORING за їхню підтримку та придбання, фінансування деталей на розробку моделі через грантовий проєкт Da Vinci

Science Mentoring Ukraine — це освітньо-наукова програма, спрямована на підтримку українських школярів і студентів у розвитку дослідницьких навичок та наукового мислення. Програма поєднує учасників з досвідченими менторами — науковцями та інженерами — які надають індивідуальний супровід у реалізації наукових проєктів, підготовці до конкурсів, олімпіад і наукових конференцій, а також сприяють інтеграції молоді в міжнародний науковий простір.

