

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський державний університет харчування та торгівлі

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІКА**

**Частина 2**

**(доповнення)**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальності 181 «Харчові технології»

Харків  
ХДУХТ  
2017

Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з курсу «Електротехніка та теплотехніка» для студентів спеціальності 181 «Харчові технології» [Електронний ресурс] / укладачі : Дьяков М. А., Малафаєв М. Т., Іштван Є. О. – Електрон. дані. – Х. : ХДУХТ, 2017. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Назва з тит. екрана.

Укладачі: О. Г. Дьяков  
М. Т. Малафаєв  
Є. О. Іштван

Рецензент Потапов В. О.

Схвалено науково-методичною комісією вищого навчального закладу

Протокол від «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 року № \_\_\_\_\_

Схвалено вченою радою ХДУХТ

Протокол від «28» грудня 2016 року № 9

Схвалено редакційно-видавничою радою ХДУХТ

Протокол від «26» грудня 2017 року № 5

© Дьяков О.Г., Малафаєв М.Т., Іштван Є.О., укладачі, 2017

©Харківський державний університет

харчування та торгівлі, 2016

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛООБМІНУ ЦИЛІНДРИЧНОГО  
ТЕПЛООБМІННИКА З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ДАТЧИКА  
ТЕМПЕРАТУРИ DS18B20

Дослідження нестационарного режиму здійснюється на лабораторній установці яка дає можливість знайти певні співвідношення між температурою нагрітої оболонки і температурою умовного зразка дослідження.

Спрощена конструкція термостату наведена на рис. 1. Він складається з термоізоляційного матеріалу (1), усередині якого розташований нагрівач (2) і датчик температури (3) що розташований на його зовнішній поверхні. Термоізоляція зменшує втрати тепла і вплив навколишнього середовища на температурний режим роботи нагрівача і, відповідно, температуру умовного зразка дослідження. Дана конструкція є традиційною для термостатів. Під дією нагрівача температура у його середині починає зростати і за рахунок теплообміну починає збільшуватися температура зразка. Між внутрішньою поверхню нагрівача і поверхнею зразка є повітряний прошарок що створює перешкоди для процесу теплообміну. Це визначається у тому, що виникає часова затримка між зміною температури нагрівача і зразка. Крім того, датчик температури розташований у скляній ампулі що також потребує певного часу на зміну температури.

Для регулювання та підтримки температури на певному рівні термостат обладнаний релейним регулятором температури з малим значенням гістерезису що дозволяє підтримувати задану температуру з точністю декількох градусів. Для можливості оцінки градієнту температури за висотою нагрівача є ще два додаткових датчика.

Через певний час у термостаті виникає стаціонарне теплове поле при якому температура зразка дослідження наближається до температури нагрівача. Якщо зовнішні коливання температури не впливають на нагрівач то температура зразка також залишається не змінною.

Розглянемо спрощену математичну модель, що дає можливість описати процес зміни температури у його окремих частинах. Виходячи з конструкції термостату його можна розглядати як чотиришаровий необмежений циліндр. Це означає, що у кожному  $i$ -тому прошарку зміна температури може бути записана у виді

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial r^2} + \frac{\partial T_i}{\partial r} \cdot \frac{1}{r_i} \right), \quad (1)$$

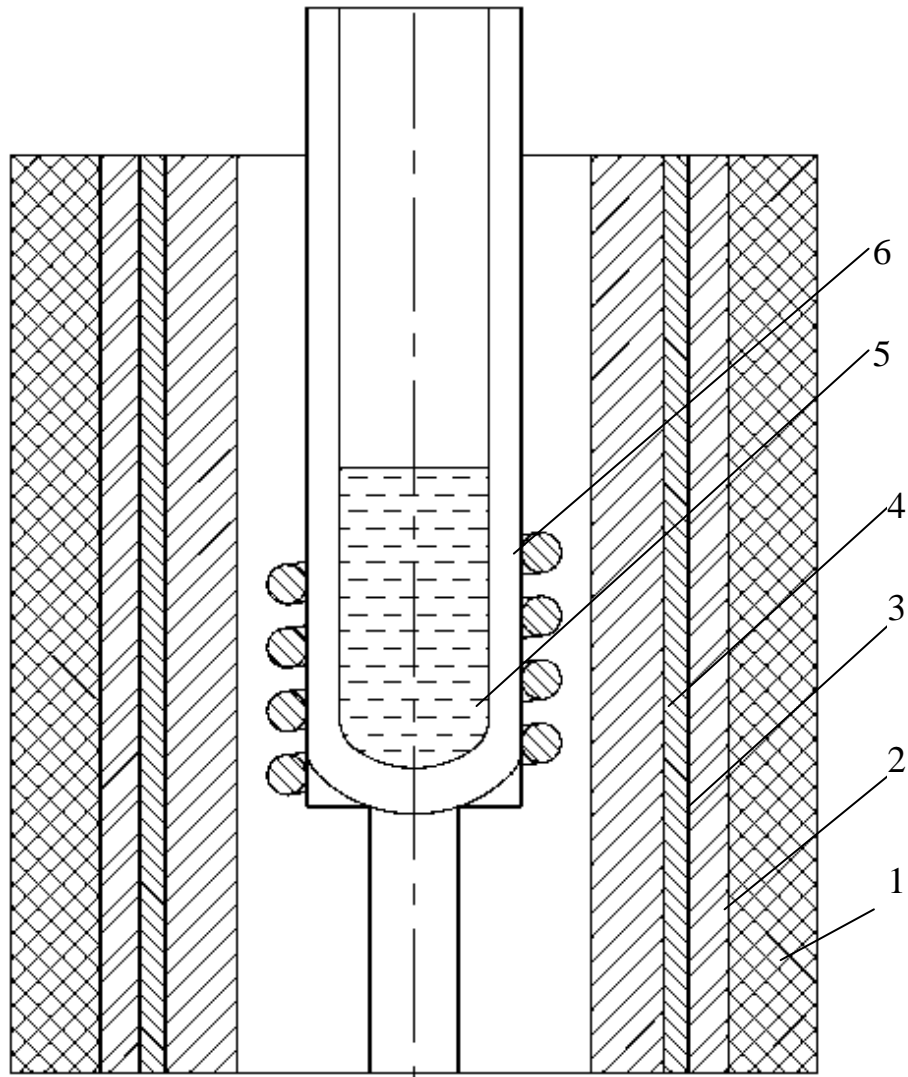
де  $a_i$  – коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го прошарку,  $r_i$  – значення радіусу  $i$ -го прошарку,  $T_i$  – температура  $i$ -го прошарку,  $i$  – номер прошарку ( $i = 1 - 4$ ).

До цих рівнянь необхідно додати температурні умови на межі розподілу прошарків у  $T_1(t) = T_c$  – задана температура на поверхні термостата (гранична умова першого роду)

$$\frac{\partial T_i}{\partial r_i} = \frac{\partial T_{i+1}}{\partial r_{i+1}}; T_i = T_{i+1} \quad (3)$$

умови температурного режиму на межі двох прошарків ( $r_i = r_{i+1}$ ,  $i = 1 - 3$ );

$\frac{\partial T_4}{\partial r_4} = 0$  при  $r_4 = 0$  – гранична умова другого роду.



**Рисунок 1.** Конструкція термостата.

З часом температура внутрішньої поверхні термостата підвищується і через прошарок повітря скляна ампула (5), в якій розташовано зразок (6), розігрівається. Через деякий час температура металічного циліндра термостата та досліджувальної речовини вирівнюється, після цього можна проводити вимірювання.

Дана система рівнянь при відомих теплофізичних параметрах матеріалу термостату може бути розв'язана відомими числовими методами однак її розв'язання викликає певні труднощі. Крім того, при складанні рівнянь було зроблено припущення, що втрати тепла скрізь бокову стінку та торці термостату відсутні. Урахування цих умов призвело би до суттєвого ускладнення математичних залежностей.

Враховуючи, що об'єм речовини дослідження малий у порівнянні з об'ємом термостату за температуру зразка обрати температуру термостату у точці  $r = 0$ .

При такому припущенні загальний тепловий потік від внутрішньої поверхні термостату до речовини дослідження визначається виразом

$$Q = \frac{T_{BI} - T_4}{R}, \quad (4)$$

де  $T_{BI}$  – температура внутрішньої поверхні циліндру термостату,  $T_4$  – температура зовнішній поверхні речовини дослідження,  $R$  – загальний термічний опір від внутрішньої поверхні термостату до зразка дослідження.

Цей тепловий потік призводить до зміни температури зразка із швидкістю

$$\frac{dT_4}{dt} = \frac{Q}{C_0}, \quad (3)$$

де  $C_0$  – теплоємність зразку.

З урахуванням зроблених припущень зміну температури зразка можна знайти з наближеної формули:

$$\tau \frac{dT}{dt} + T = T_A, \quad (4)$$

де  $T$  – температура зразка,  $T_A$  – температура внутрішньої поверхні ампули,  $\tau$  – стала часу термостату.

Джерелом тепла у даній системі є нагрівач і тому процес зміни температури можна описати рівнянням:

$$\tau \frac{dT}{dt} + T = T_{BH} + RP, \quad (5)$$

де  $T_{BH}$  – зовнішня температура,  $R$  – загальний тепловий опір між нагрівачем та зразком дослідження  $P$  – потужність нагрівача.

Якщо ввести нову змінну  $\theta = T - T_{BH}$ , то (5) перетворюється до виду

$$\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = RP \text{ і його рішення має вигляд}$$

$$\theta(t) = RP(1 - \exp(-t/\tau)). \quad (6)$$

Невідомим величинами, які треба визначити є  $\tau$  і  $R$ . Для їх знаходження можна використати регресійні співвідношення щодо динамічних об'єктів [3].

У дискретній формі (6) можна записати у вигляді:

$$\theta_{k+1} = A\theta_k + BP, \quad (7)$$

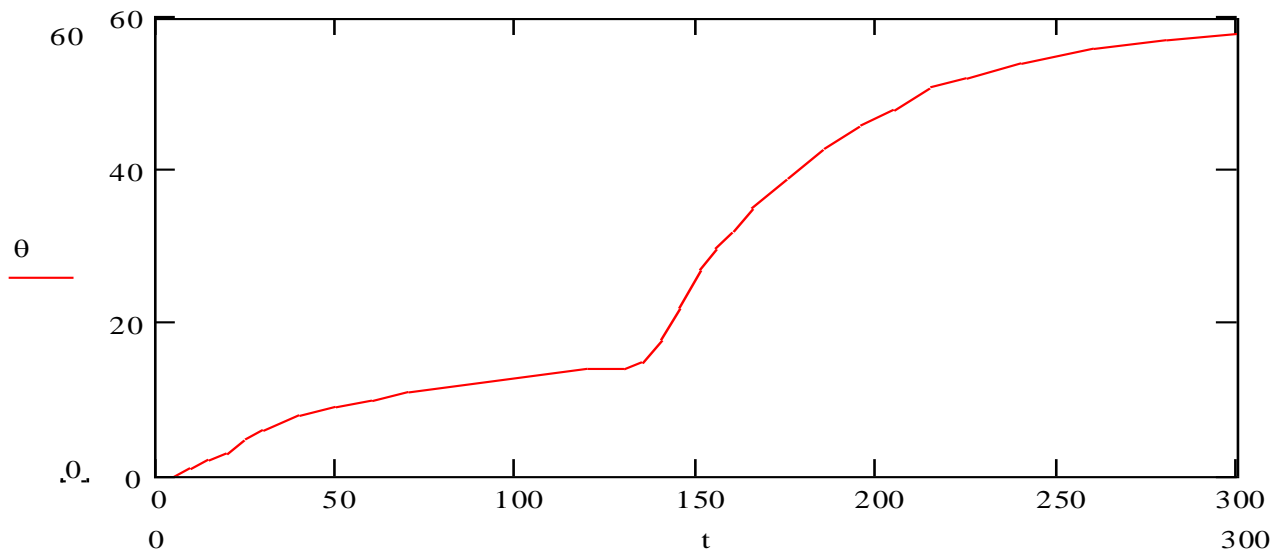
де  $\Delta t$  – дискретний інтервал часу,  $A = (1 - \Delta t / \tau)$ ,  $B = R \cdot \Delta t / \tau$ .

Коефіцієнти  $A$  та  $B$  можна знайти за методом найменших квадратів з співвідношення

$$|A, B| = |F^T F|^{-1} \cdot F^T \cdot Y, \quad (8)$$

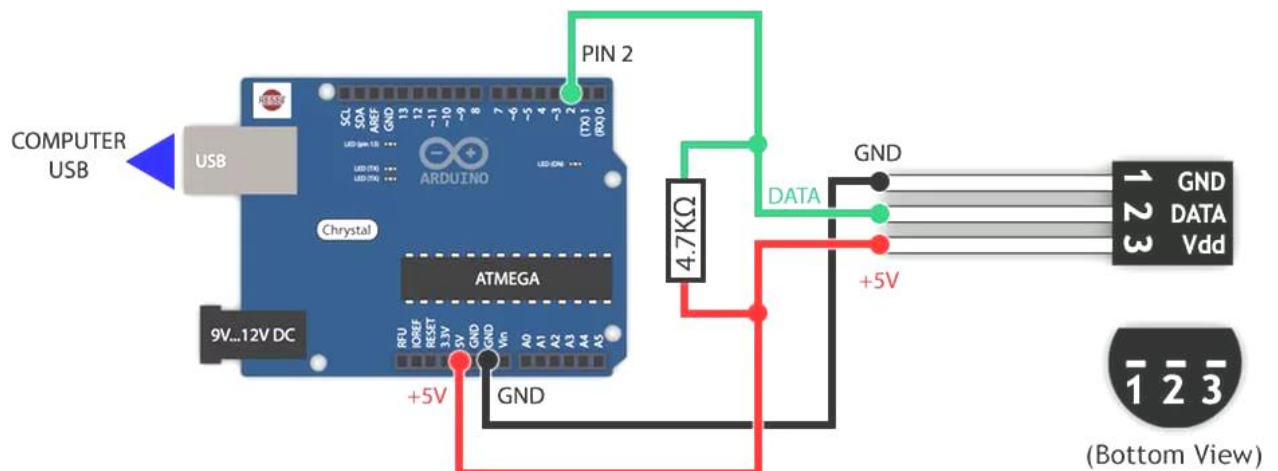
$$\text{де } F = \begin{vmatrix} \theta_1 & , & P_1 \\ \vdots & & \vdots \\ \theta_N & , & P_N \end{vmatrix}, \quad Y = \begin{vmatrix} \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_{N+1} \end{vmatrix}.$$

В цих співвідношеннях  $\theta_i$  і  $P_i$  значення вихідної температури та потужності нагрівача в  $i$ -й момент часу. Для знаходження  $\theta_i$  було використано графік температур знятий при різних значеннях потужності нагрівача  $P$ . Датчик температури при проведенні експериментів був тимчасово розташований у ампулі із зразком дослідження. Інтервал реєстрації температури дорівнював 5 хвилин. На рис. 2. наведено графік температури знайдений експериментально.



**Рисунок 2.** Графік змін температури у термостаті

При контролі та збереженні значень датчика температури використовується цифрові датчики температури DS18B20 з автоматичною обробкою та збереженням у файл за допомогою сучасного контролера Arduino UNO чи інших контролерів лінійки Arduino, з використанням SD flash накопичувача чи інтерфейсу COM порту.



**Рисунок 3.** Схема підключення датчика температури DS18B20 до контролера

Завдяки використанню цифрового датчика температури DS18B20 декілька датчиків температури можна підключати одразу до одного цифрового входу контролера та за адресою відповідного датчика проводити його опитування.

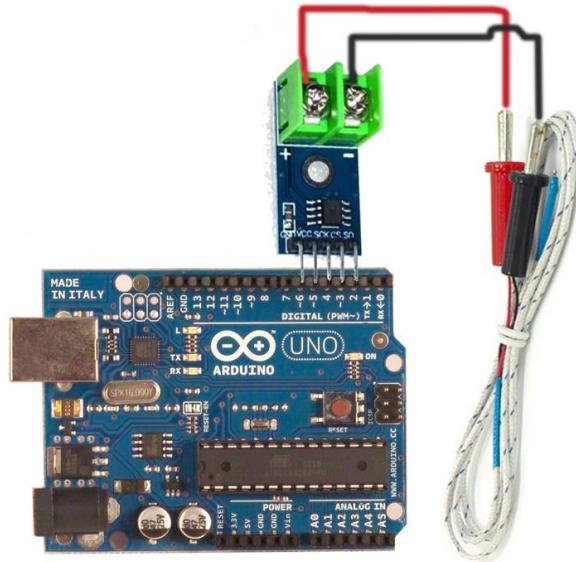


Рисунок 4. Схема підключення цифрового датчика температури DS18B20 до контролера Arduino UNO

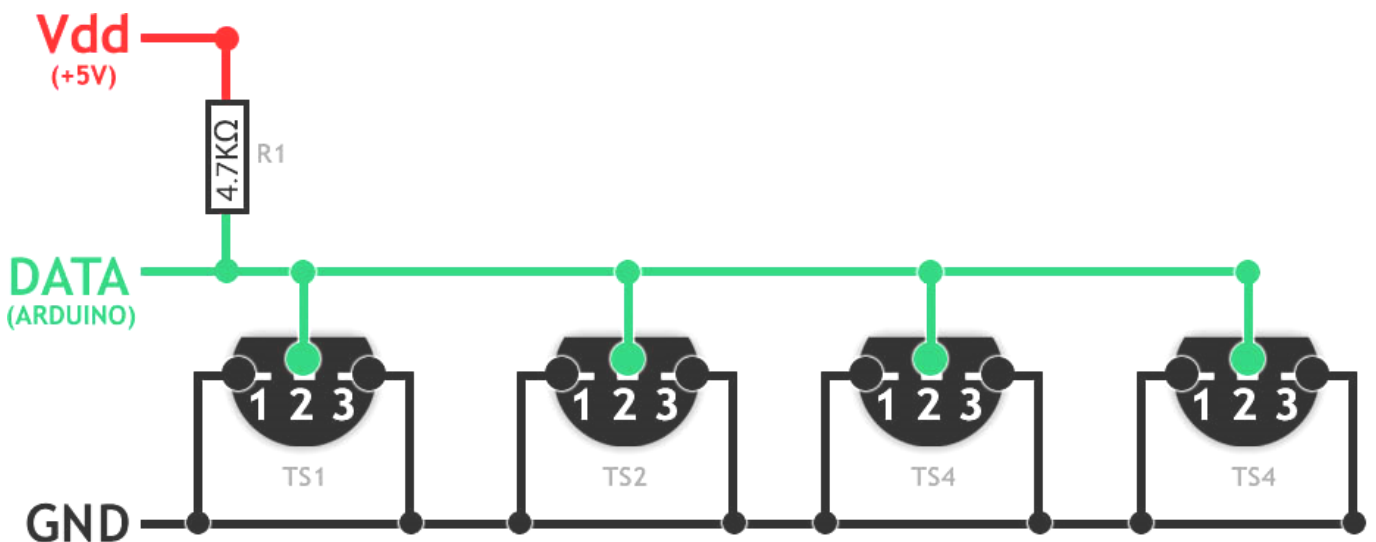


Рисунок 5. Схема підключення цифрових датчиків температури DS18B20 до одного входу контролера Arduino UNO

Звертаємо увагу на полярність підключення датчику слід слідкувати за маркуванням «+» (VCC), «-» (GND) та DATA, який підключається до цифрового входу на ардуіно.



## Порядок виконання роботи

1. Перевірити цілісність з'єднань електричної схеми. З дозволу викладача підключити ЛАТР до мережі 220 В.

2. Встановити за допомогою ЛАТРа і ватметра потужність нагріву  $Q_1$ ; перемикач термопар встановити в положення I.

3. Після досягнення стаціонарного режиму (коли температурне поле труби стане незмінне за часом) показання вольтметрів автоматично заносяться до файлу. Після цього встановити за допомогою ЛАТРа і ватметра нове значення потужності нагріву  $Q_2$  і повернути перемикач термопар в положення I.

4. За час 30...50 хв, який необхідний для встановлення стаціонарного теплового режиму за нового значення  $Q$ , виконати наступні розрахунки:

- визначити відповідні значення температури  $t$  на поверхні труби ( $t = t_0 + \Delta t$ ) і записати їх у таблицю вимірювань (табл. 3.1);

- обчислити середні значення  $t = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n t_i$  і  $T = t + 273$  і записати в таблицю розрахунків (табл.3.2) та звірити з відповідними значеннями від DS18B20;

- обчислити  $\alpha_{експ}$  за формулою (3.4) і  $\alpha_{теор}$  за формулою (3.7). Записати отримані результати в таблицю розрахунків.

5. Після досягнення стаціонарного теплового режиму при  $Q_2$  послідовно зняти показання мілівольметра при положеннях перемикача I – III і записати їх в таблицю вимірювань та порівняти з результати, отриманими автоматичною фіксацією.

6. Провести розрахунки за п. 4 для потужності  $Q = Q_2$  і записати їх результати в таблиці вимірювань і розрахунків.

7. Після закінчення вимірів показати результати викладачу. За необхідністю перевірити результати вимірювань.

8. Вивести ЛАТР в нульове положення і відключити його від живлення.

9. Порівняти результати обчислення  $\alpha_{експ}$  і  $\alpha_{теор}$ . Зробити висновок про характер залежності  $\alpha$  від  $Q$ , тобто від середньої температури поверхні труби  $t$ .

10. Оформити звіт і підготуватися до співбесіди.

Таблиця 3.1

### Таблиця вимірювань

Потужність нагріву	Номер термопари											
	I			II			III			середнє		
	' mV	$t, ^\circ\text{C}$	, $^\circ\text{C}$	' mV	$t, ^\circ\text{C}$	, $^\circ\text{C}$	' mV	$t, ^\circ\text{C}$	, $^\circ\text{C}$	' mV	$t, ^\circ\text{C}$	, $^\circ\text{C}$
$Q_1 =$												
$Q_2 =$												

## Таблиця розрахунків

$$\varepsilon = 0,95, C_o = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4), d = 0,035 \text{ м}, l = 0,75 \text{ м}$$

№ з/п	Вимірювана величина	Потужність нагрівача $Q$ , Вт	
		$Q_1 =$	$Q_2 =$
1	Середня температура поверхні труби $\bar{t}$ , °С		
2	Середня температура поверхні труби $\bar{T}$ , К		
3	Середній температурний напір $\Delta t = t - t_0$ , °С		
4	Середня температура пристінного шару $t_{cp} = 0,5 (t + t_0)$ , °С		
5	Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{експ.}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)		
6	Критерій Прандтля $Pr$		
7	Критерій Грасгофа $Gr$		
8	Добуток (Критерій Релея) $Pr Gr$		
9	Показник критеріального рівняння $n$		
10	Коефіцієнт $C$		
11	Критерій Нусельта $Nu$		
12	Коефіцієнт тепловіддачі $\alpha_{теор.}$ , Вт/(м <sup>2</sup> К)		

Наукове електронне видання  
комбінованого використання  
Можна використовувати в локальному та мережному режимах

## **ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІКА**

### **Частина 2**

#### **(доповнення)**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 181 «Харчові технології»

Укладачі:

Дьяков Олександр Георгійович,  
Малафаєв Микола Тимофійович,  
Іштван Єгор Олексійович

Відповідальний за випуск зав. кафедри М.І. Погожих  
Техн. Редактор А.О. Гончарова

План 2017 р., поз. 35 / \_\_\_\_\_

---

Підп. до друку 15.05.2017р. Один електронний оптичний диск (CD-ROM);  
супровідна документація. Об'єм даних 2 Мб. Тираж 100 прим.

---

Видавець і виготівник

Харківський державний університет харчування та торгівлі  
вул. Клочківська, 333, Харків, 61051.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4417 від 10.10.2012 р.