

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фізико-математичний факультет

Лабораторна робота № ФПЕ-06

**ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНА
З МЕТАЛУ**

Виконана студ. групи _____

Київ-2019

Лабораторна робота № ФПЕ-06

Визначення роботи виходу електрона з металу

Мета роботи: експериментально дослідити вольт-амперну характеристику вакуумного діода; встановити залежність густини струму насичення термоелектронної емісії від температури катода і визначити роботу виходу електрону з вольфраму.

Прилади і обладнання (рис.6.1): ДЖ - джерело живлення; ФПЕ-06 - касета ФПЕ 06/05; РА – амперметр, PV - вольтметр. Електричну схему досліду зображено на рис.6.2.

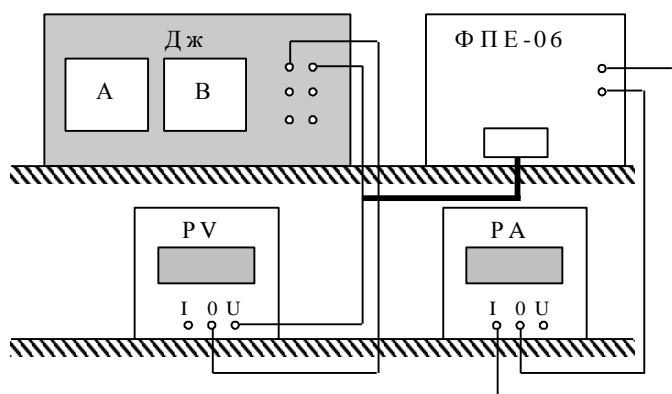


Рис. 6.1

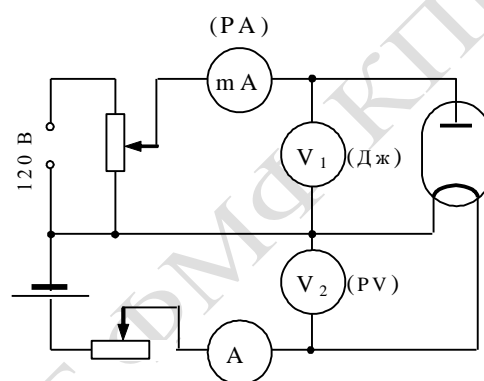


Рис. 6.2

У роботі використовується вакуумний діод з вольфрамовим катодом прямого розжарення. Катод розігрівається постійним струмом. Потужність, що витрачається на розігрів катода, визначається за амперметром і вольтметром кола розжарення.

Теоретичні відомості

Властивості металів значною мірою визначаються станом електронів провідності, тобто електронів, здатних переміщуватись у металі під дією незначних напруженостей електричного поля.

Розподіл енергії електрона для обмеженого металу зображено на енергетичній діаграмі (рис.6.3). За нульовий рівень прийнято енергію поза металом вільного електрона з нульовою кінетичною енергією.

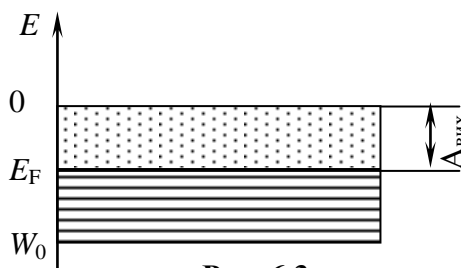


Рис. 6.3

Енергетичні рівні електронів позначені тонкими суцільними горизонтальними лініями, що заповнюють інтервал енергій від дна потенціальної ями W_0 до енергії E_F – це рівень енергії Фермі, максимальна кінетична енергія, яку може мати електрон при $T = 0$.

Для виходу за межі металу електронам, що знаходяться в потенціальній ямі на різних рівнях енергії, необхідно надати різну енергію. Мінімальна кінетична енергія, необхідна для видалення електрону з металу,

$$A_{\text{вих}} = W_0 - E_F$$

називається роботою виходу електрона з металу у вакуум при температурі 0 K .

При температурі T електрони знаходяться у тепловому русі, тому до їхньої енергії Фермі додається ще деяка теплова енергія.

Робота виходу в значній мірі залежить від стану поверхні металу. Енергія Фермі при нагріві металу аж до розплавлення практично не змінюється, але при цьому виникає деяке число (невеликий відсоток) швидких електронів, які здатні виконати роботу виходу і таким чином вийти з металу. Розглянемо природу сил, що протидіють виходу електронів з металу, тобто створюють на шляху виходу певний потенціальний бар'єр.

Окремі електрони провідності, які мають достатню енергію, перетинають поверхню металу і виходять за його межі. На місці таких електронів залишається некомпенсований позитивний заряд. Електрони, що вийшли з металу віддаляються від поверхні доти, поки кулонівська взаємодія з утвореними позитивними зарядами не змусить електрони повертатися назад до металу.

Процес вильоту електронів можна порівняти з випаровуванням молекул з поверхні рідини – постійно одні електрони "випаровуються" з поверхні металу, інші повертаються назад. Тому поблизу поверхні металу утворюється електронна хмара. Метал опиняється в електронній хмарі, яка утворює разом з поверхневим шаром додатних іонів подвійний електричний шар подібний до плаского конденсатора. Взаємодія електронів з іонами в середині провідника і в межах подвійного шару протидіє виходу електронів із металу.

При виході електрона з металу на поверхні металу наводиться позитивний заряд. Цей наведений заряд зумовлює виникнення кулонівської сили, яка протидіє виходу електронів з металу. Ця сила називається силою електричного зображення, оскільки дія розподіленого по поверхні провідника індукованого заряду еквівалентна дії рівного за величиною додатного заряду, що є дзеркальним відображенням електрона у площині металу PP (див. рис.6.4).

Усі перелічені фізичні процеси і визначають роботу виходу $A_{\text{вих}}$ електронів з металу.

При кімнатній температурі практично всі вільні електрони "зачинені" в межах провідника і з нього мають змогу вийти лише невелика кількість електронів, енергія яких виявляється достатньою, для подолання потенціального бар'єру. Але якщо електронам надати достатню енергію, то частина з них зможе покинути метал. Це явище носить назву електронної емісії.

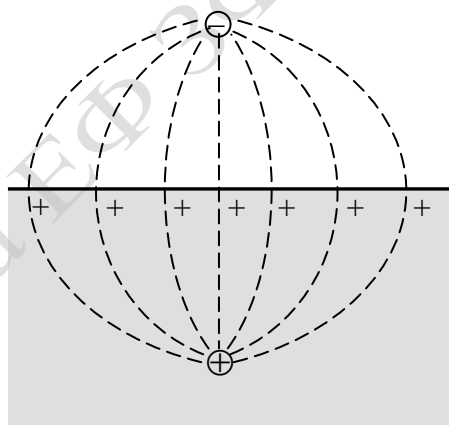


Рис. 6.4

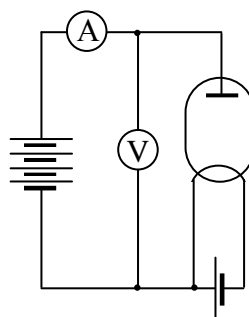


Рис. 6.5

В залежності від того, у який спосіб надавати електронам енергію розрізняють різні типи електронної емісії. Якщо електрони отримують енергію за рахунок теплової енергії тіла при підвищенні його температури, говорять про термоелектронну емісію. Якщо енергія підводиться світлом, має місце явище фотоемісії. Якщо енергія надається електронам при бомбардуванні ззовні якимись іншими частинками, кажуть про вторинну емісію.

Для вивчення термоелектронної емісії використовують вакуумну лампу, в якій є два електроди: катод, що розжарюється струмом, і холодний електрод, що збирає термоелектрони – анод. Такі лампи називаються вакуумними діодами.

На рис. 6.5 зображено електричну схему приєднання такого діода до джерела живлення. Сила термоелектронного струму у діоді залежить від потенціалу анода відносно катода. Крива, що зображає залежність сили струму у діоді від анодної напруги, називається вольт-амперною характеристикою (ВАХ). На рис.6.6 показані ВАХ діода при різних температурах катода.

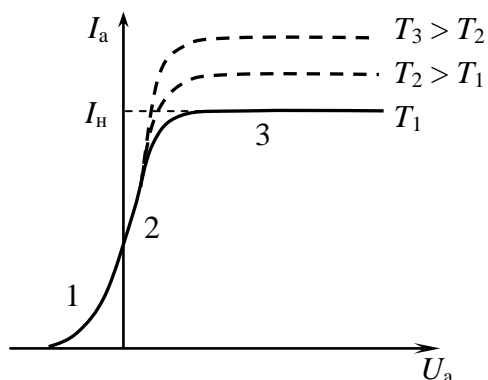


Рис. 6.6

Коли потенціал анода дорівнює нулю, сила струму мала, вона визначається лише найбільш швидкими електронами, які здатні досягти анода. При збільшенні позитивного потенціалу анода сила струму зростає досягає такої величини, при якій сила струму не залежить від напруги. Ця ділянка ВАХ називається насиченням.

При збільшенні температури катода зростає і значення струму, при якому досягається насичення. Одночасно збільшується і та анодна напруга, при якій струм досягає насичення.

Таким чином ВАХ діода виявляється нелінійною, тобто для неї закон Ома не виконується. Це пояснюється тим, що при термоелектронній емісії біля поверхні катода утворюється достатньо велика густина електронів. Вони утворюють об'ємний негативний заряд, і електрони, що вилітають з малими швидкостями, не можуть його подолати. Із збільшенням анодної напруги концентрація електронів у хмарі просторового заряду зменшується. Тому і гальмівна дія просторового заряду зменшується, відтак анодний струм зростає зі збільшенням анодної напруги надлінійно.

Теоретично залежність анодного струму від анодної напруги на ділянці 1-2 була отримана Ленгмюром і Богуславським, вона називається ще "законом трьох других":

$$I_A = A \cdot U_a^{3/2}. \quad (6.1)$$

Зростання анодної напруги призводить до того, що все більша частина електронів, що вилітають з катода, "відтягуються" до анода. При певному значенні U_a усі електрони, що вилетіли з катода за одиницю часу, досягають анода. Подальше зростання анодної напруги не може збільшити силу анодного струму, отже досягається насичення. *Максимальний термоелектронний струм, можливий при даній температурі катода, називається струмом насичення.*

При підвищенні температури збільшується швидкість хаотичного руху електрону в у металі. При цьому число електронів, здатних покинути метал, стрімко зростає. Густина струму насичення $j_{нас}$ – сила струму на одиницю поверхні катода – визначається за формулою Річардсона-Дешмана

$$j_{нас} = B \cdot T^2 e^{-A_{анк}/kT}, \quad (6.2)$$

де B – емісійна стала, дещо відмінна для різних металів. Для вольфраму $B = 60,2 \cdot 10^4 \text{ А}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$ – стала Боцмана. Густина струму насичення характеризує емісійну здатність катода, яка залежить від його природи і температури.

Методика експерименту

Вимірюючи у досліді залежність струму насичення від температури, можна визначити роботу виходу для даного металу.

У даному випадку для визначення роботи виходу використовується метод прямих Річардсона. Якщо прологарифмувати вираз (6.2), то одержимо

$$\ln \frac{j_{\text{нас}}}{T^2} = \ln B - \frac{A_{\text{вих}}}{kT}. \quad (6.3)$$

У десяткових логарифмах матимемо:

$$\lg \frac{j_{\text{нас}}}{T^2} = \lg B - \frac{A_{\text{вих}}}{k} \cdot \frac{1}{T} \lg e. \quad (6.4)$$

Оскільки $\lg e = 0,43$, маємо:

$$\lg \frac{j_{\text{нас}}}{T^2} = \lg B - 0,43 \frac{A_{\text{вих}}}{k} \cdot \frac{1}{T}. \quad (6.5)$$

Графік залежності $\lg \frac{j_{\text{нас}}}{T^2}$ від $\frac{1}{T}$ являє собою пряму лінію з кутовим коефіцієнтом $0,43 A_{\text{вих}}/k$. Ця обставина дозволяє за експериментальними даними обчислити роботу виходу електронів з металу за тангенсом кута нахилу графіка $\lg \frac{j_{\text{нас}}}{T^2} \left(\frac{1}{T} \right)$:

$$A_{\text{вих}} = \frac{k \cdot \text{tg } \alpha}{0,43}, \quad (6.6)$$

де $\text{tg } \alpha = \Delta \left(\lg \left(j_{\text{нас}}/T^2 \right) \right) / \Delta (1/T)$.

Для побудови графіка необхідно знати густину анодного струму насичення і температуру катода. Температура катода визначається за потужністю струму, що зумовлює нагрівання катода. Для вольфраму ця залежність представлена графіком на рис. 6.7. Підводимо до катода потужність, що витрачається у вакуумній лампі в основному на теплове випромінювання. Для вольфраму була експериментальне визначена залежність температури катода від джоулевої потужності, що витрачається на його розігрів. На графіку (рис.6.7) показана залежність температури катода від потужності розігріву. За цим графіком, знаючи потужність, що підводиться до катода, можна визначити його температуру.

Порядок виконання роботи

Обладнання лабораторної роботи показано на рис. 6.8.



Рис. 6.8

1. Підключити касету ФПЕ-06 з'єднувальним кабелем до джерела живлення.

Амперметр на панелі джерела служить для контролю струму розжарення катоду I_p , максимальне значення якого не повинне перевищувати 2,2 А. Плавне регулювання напруги розжарення здійснюється лівою ручкою, розташованою під амперметром. Напруга розжарення U_p вимірюється окремо розташованим вольтметром, який підключається до клем джерела живлення з напругою 2,5..4,5 В. Вольтметр на панелі джерела живлення показує анодну напругу U_a , яка регулюється правою ручкою на панелі джерела, розташованій безпосередньо під вольтметром. Для вимірювання анодного струму I_a використовується прилад В7-27, що працює в режимі міліамперметра, вимірюючи струм до 20 мА.

2. Встановити напругу розжарення 3,5 В і, збільшуючи анодну напругу U_a з кроком 10 В в інтервалі 10-120 В, записувати в таблицю 1 відповідні значення анодного струму I_a .
3. Виконати вимірювання згідно з п.2 для чотирьох значень напруги розжарення U_p в інтервалі 3,5-4,5 В (3,5; 3,8; 4,2; 4,5).
4. Для кожного значення U_p побудувати вольтамперную характеристику і визначити струм насичення $I_{нас}$. (Дані, отримані в пунктах 4-8 заносити в таблицю 2).
5. Для кожного значення U_p розрахувати потужність, що виділяється на катоді $P_p = I_p U_p$, а також потужність що доводиться на одиницю площі катода $P_p / l d = P_p / S$.
6. За графіком залежності температури катода T від P_p / S , показаному на рис. 6.7, визначити температуру катода T для кожного U_p .
7. Обчислити густину анодного струму насичення $j_{нас} = I_{нас} / S$.
8. Обчислити $\lg(j_{нас} / T^2)$.
9. Побудувати графік залежності $\lg(j_{нас} / T^2)$ залежно від $1/T$.
10. За формулою (6.6) обчислити лити роботу виходу вольфраму ($A_{вих} = k \operatorname{tg} \alpha$, де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – стала Больцмана, $\operatorname{tg} \alpha$ – кутовий коефіцієнт нахилу прямої).
11. Визначити емісійну постійну B , логарифм якої дорівнює ординаті точки перетину графіка з віссю ординат.
12. Розрахувати похибки вимірювання за вказівкою викладача.

Параметри експериментальної установки: $S = 11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $d = 0,11 \text{ мм} = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}$; $l = 32 \text{ мм} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Табл. 1

№	$U_p, \text{ В}$	$I_p, \text{ А}$	$U_a, \text{ В}$													
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120		
			$I_a, \text{ мА}$													
1																
2																
3																
4																

Табл.2

№	$U_p,$ В	$I_p,$ А	$P_p,$ Вт	$P_p / ld,$ Вт/м ²	$T,$ К	$1/T,$ К ⁻¹	$I_{нас},$ мА	$j_{нас},$ А/м ²	$j_{нас}/T^2,$ А/(м ² ·К ²)	$\lg(j_{нас}/T^2)$
1										
2										
3										
4										

Контрольні запитання

1. У чому суть явища електронної і термоелектронної емісії?
2. Що називається роботою виходу електрона?
3. Якою є природа сил, що утримують електрон у металі.
4. Який вигляд має ВАХ діода? Чому на ВАХ діода спостерігається ділянка насичення?
5. Що таке струм насичення і як він залежить від температури?
6. Поясніть фізичну природу "закона трьох других", у
7. Що таке енергія Фермі?
8. Які фізичні параметри визначаються експериментально у даній роботі?
9. Що впливає на похибку вимірювань у даній роботі і як її можна зменшити?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. В 3 т. Т.2. Електрика і магнетизм. К.:Техніка, 2001 р.
2. Савельєв І.В. Курс общей физики.-Т.3, гл.9.-М.:Наука,1979.
3. Виноградов Ю.К., Жукова Н.В., Котельников В.А. Электродинамика.-М.: МАИ, 1979.
4. Бушманов Б.Н., Хромов Ю.А. Физика твердого тела.- М.: Вьісш. шк., 1971.- Гл.35.
5. Лучина А.А. Основы физики твердого тела. -М.:МАИ, 1971.

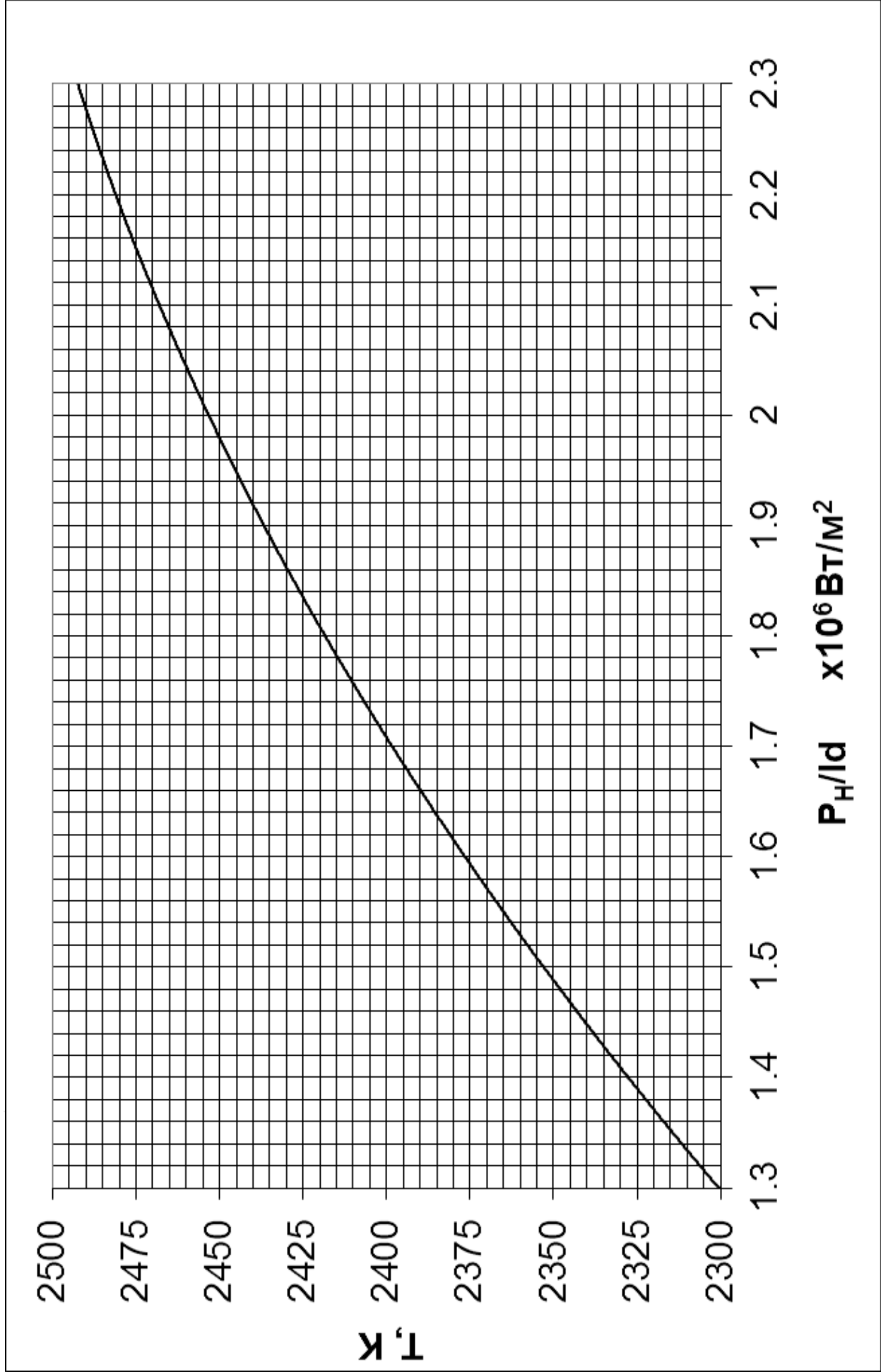


Рис. 5.7

