

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ ТА ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ
«ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ЧЕРЕЗ ІЗОЛЯЦІЮ
ЕЛЕМЕНТІВ КОТЕЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ»
З КУРСУ «ТЕПЛОМАСООБМІН»**

**для студентів спеціальності 7.090505
з усіх форм навчання**

**Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету
Протокол № 1 від 27.02.2003**

Харків 2003

Методичні вказівки до практичних занять та лабораторної роботи:
«Визначення теплових втрат через ізоляцію елементів котельного
устаткування» за курсом «Тепломасообмін» для студентів спеціальності
7.090505 з усіх форм навчання / Укладачі: Кошельник В.М., Тютюнник Л.І. та
ін. - Харків : НТУ «ХП», 2003. - 16 с.

Укладачі: Кошельник В.М.
Тютюнник Л.І.
Іванова Л.А.
Касілов В.Й.

Рецензент Усачев І.Д.

Кафедра парогенераторобудування

ВСТУП

Для зниження теплових втрат у навколишнє середовище і підвищення стійкості елементів теплотехнологічних агрегатів і іншого устаткування широко застосовується теплова ізоляція. Як теплову ізоляцію застосовують матеріали, з низьким значенням коефіцієнта теплопровідності $\lambda < 0,2 \text{ Вт / (м К)}$ [1].

Ізоляція застосовується для зменшення теплових втрат трубопроводів у системах теплопостачання промислових підприємств. Теплова ізоляція являє собою шар спеціального матеріалу, який наноситься на поверхню, що ізолюється з метою збільшення його повного термічного опору. Теплоізоляційні покриття застосовуються:

- для захисту елементів конструкцій від впливу високих теплових навантажень;
- для зменшення розміру теплових втрат у навколишнє середовище.

Найбільш часто використовуються наступні ізоляційні матеріали: матеріали на основі керамічних волокон, скловата, мінеральна вата, жароміцний бетон, вогнетривкі матеріали і т.п. [2 -3].

У процесі експлуатації теплоенергетичного устаткування виникають задачі, пов'язані з визначенням теплових потоків або коефіцієнтів теплопровідності ізоляційних матеріалів. Практичний інтерес представляє оцінка впливу властивостей застосовуваних ізоляційних матеріалів і товщини шару ізоляції на термічний опір і теплові втрати котельного устаткування.

1. МЕТА РОБОТИ

Вивчення методики розрахунку й експериментального визначення розміру теплових втрат через шар ізоляції для елементів енергетичного устаткування, значень коефіцієнтів теплопровідності ізоляційного матеріалу, придбання практичних навиків у проведенні розрахункових і експериментальних робіт.

2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ

Розмір теплових втрат через теплопровідність з поверхні ізольованої ділянки при відомому коефіцієнті теплопровідності ізоляції в загальному

вигляді визначається відповідно до закону Фур'є у випадку одномірного теплового потоку для поверхні за формулою, Вт:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{R} \cdot F, \quad (1)$$

де t_1, t_2 – значення температур на внутрішній і зовнішній поверхнях ізоляції, °С;

R – розмір термічного опору; F – розмір розрахункової поверхні, м².

Розмір термічного опору визначається для плоскої поверхні як (рис.1):

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (2)$$

а для циліндричної поверхні (трубопровід, барабан котла, колектор пароперегрівача і т.д.) за формулою:

$$R = \frac{1}{2\lambda \cdot Ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (3)$$

Для теплотехнічних розрахунків часто застосовується розмір питомого теплового потоку, що для плоскої поверхні дорівнює, Вт/м²:

$$q = \frac{\Delta t}{R}, \quad (4)$$

а для циліндричної поверхні використовується щільність теплового потоку на погонний метр (рис.2), Вт / м:

$$q_L = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\lambda} Ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (5)$$

де $\Delta t = t_1 - t_2$ – різниця температур, °С;

λ – коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт / (м К);

d_1 і d_2 – внутрішній і зовнішній діаметри ізоляції, м;

t_1, t_2 – значення температури на внутрішній і зовнішній поверхнях ізоляції, °С.

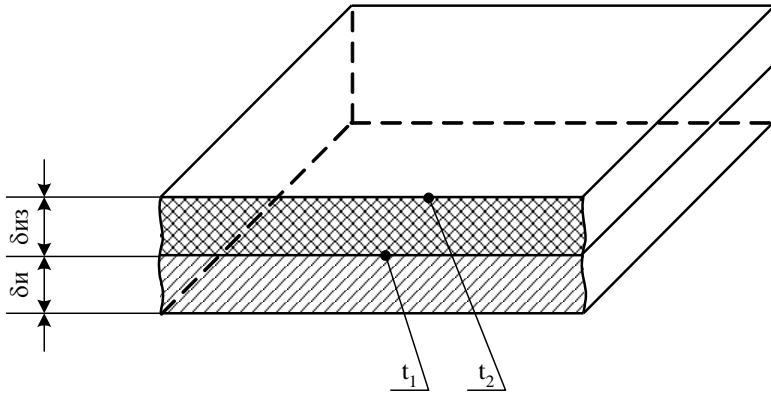


Рисунок 1 – Визначення теплового потоку через плоску ізоляцію

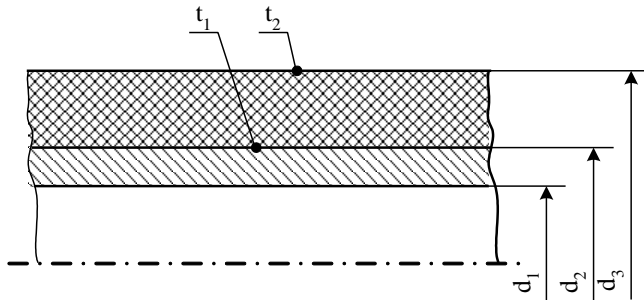


Рисунок 2 – Визначення теплового потоку через шар циліндричної ізоляції

Слід відзначити, що нанесення шару ізоляції на циліндричні поверхні може призвести до зростання теплових витрат (рис. 3). Зовнішній діаметр труби, який відповідає мінімальному повному термічному опору теплопередачі, називається критичним діаметром. Розраховується критичний діаметр за формулою, м:

$$d_{кр} = \frac{2\lambda_{із}}{\alpha_2} \quad (6)$$

При необхідності вибирають матеріал ізоляції: $\lambda_{із} \leq \frac{d_{кр}\alpha_2}{2}$.

У деяких випадках для експериментального визначення розміру теплових потоків використовуються тепломіри, що працюють за принципом

додаткової стінки . У роботі [1] описана суть цього методу. У цьому випадку до поверхні, тепловий потік через який підлягає визначенню, щільно притискається додаткова стінка з відомим тепловим опором $R = \delta/\lambda$. Тоді шляхом виміру перепаду температур у додатковій стінці Δt_{cm} можна знайти щільність теплового потоку, що проходить через неї, таким чином:

$$q = \frac{\Delta t}{R} \quad (7)$$

За умови, що тепловий опір додаткової стінки малий у порівнянні з тепловим опором досліджуваного матеріалу, в стаціонарному режимі теплові потоки через додаткову й основну стінки будуть однакові.

Для точного виміру перепаду температур за товщиною тепломіра закладається досить велика кількість термопар, підключених послідовно. При цьому парні спаї термопар розташовують на одній, а непарні - на іншій стороні тепломіра. Таким чином, навіть при невеликому перепаді температур виникає значна термо Е.Р.С.,

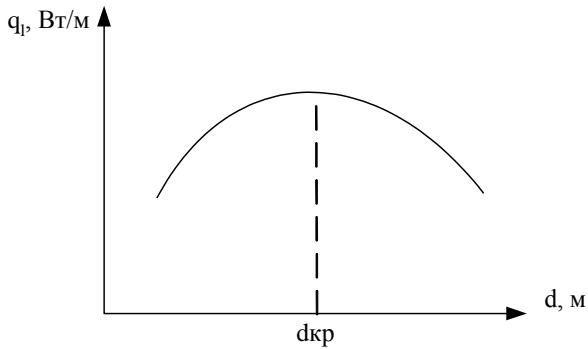


Рисунок 3 – До визначення критичного діаметру ізоляції

що може бути виміряна з достатньою точністю. Тоді відповідно до рівняння (6) щільність теплового потоку буде пропорційна перепаду температур Δt_{cm} .

У промислових умовах з метою перевірки стану теплової ізоляції необхідно експериментально визначити коефіцієнт теплопровідності матеріалу, для чого використовується тепломір (рис. 4). Вимірюючи перепад температур на додатковій стінці $\Delta t = t_2' - t_3$, можна знайти величину теплового потоку, що проходить через неї.

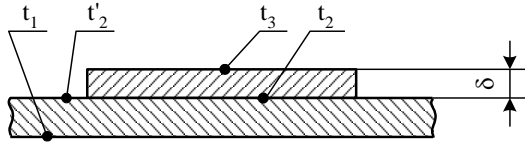


Рисунок 4 – Принципова схема тепломіру

У зв'язку з тим, що додаткова циліндрична стінка має малу товщину, лінійний тепловий потік, що проходить через тепломір, може бути обчислений за формулою з урахуванням термічного опору для плоскої стінки:

$$q_l' = \frac{\lambda_0}{\delta_0} \pi d_2 \Delta t. \quad (8)$$

Відомо, що при співвідношенні $d_2/d_3 < 2$ похибка розрахунку за формулою (8) не перевищує 4 %.

З урахуванням викладеного вище, можна припустити, що при сталому тепловому стані тепловий потік, який проходить через основну ізоляцію в зоні розташування тепломіра, дорівнює потоку, що проходить через тепломір q_l' .

Отже, підставивши у рівняння (1) значення q_l' із рівняння (2), можна визначити значення коефіцієнта теплопровідності основного шару термоізоляції:

$$\lambda_{is} = \frac{q_l' \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi(t_1 - t_2')}. \quad (9)$$

У зв'язку з тим, що тепловий потік через шар основної ізоляції - поза зоною розташування тепломіра, тобто без додаткової стінки - q_l , буде дещо більше потоку через тепломір - q_l' . Тому для визначення теплових втрат з погонного метра ізольованого трубопроводу необхідно у рівняння (1) підставити значення температури зовнішньої поверхні ізоляції t_2 , замірюваної на деякій відстані від тепломіра. Нагадаємо, що в цьому випадку значення $t_2 < t_2'$.

3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ І МЕТОДИКИ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУР

Для визначення величини q або λ_{iz} часто використовують експериментальні методи. В нашому випадку в якості робочого елемента для лабораторної установки використана ділянка ізольованого трубопроводу, показаного на рис. 5.

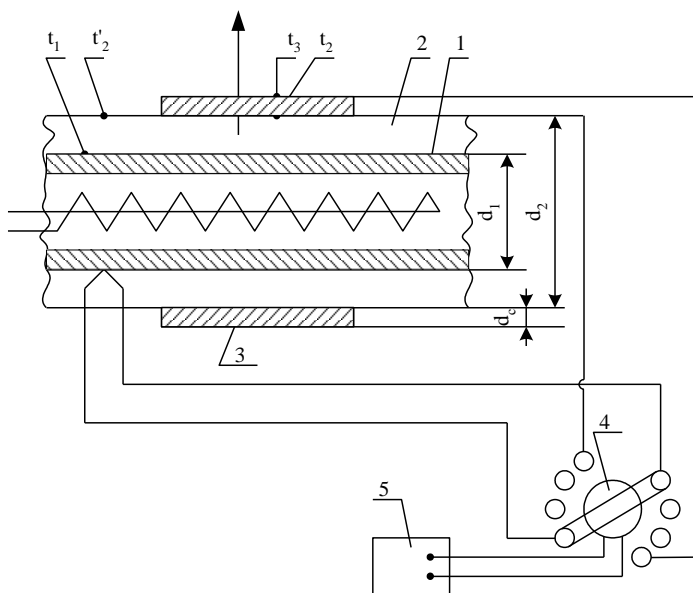


Рисунок 5 – Схема лабораторної установки

1 – труба; 2 – ізоляція; 3 – тепломір; 4 – перемикач термопар; 5 – мілівольтметр

Прогрів ізольованої ділянки трубопроводу здійснювався за допомогою електричного нагрівача. Встановлений на зовнішній поверхні ізоляції трубопроводу тепломір виготовлений із гумової стрічки певної товщини.

Вимір температур проводиться за допомогою термопар. Розмір виникаючої термо Е.Р.С. обумовлений різницею температур гарячого та холодного спайв термопар. Гарячі спаї термопар встановлені для виміру відповідно до схеми вимірів (див. рис.5) у відповідних точках: на внутрішній t_1 , зовнішній t_2 поверхнях ізоляції, під тепломіром t_2' . Холодні спаї кожного з

контурів розташовані в термостаті з температурою $t_{x.d}$, що реєструється термометром (див. рис. 5).

У табл. 1 наведені значення Е.Р.С. термопар хромель-копель при різних температурах гарячого спаю, тобто подано розмір $E(t, \theta^0)$.

При температурі холодного спаю, відмінній від нуля, тобто при $t_{x.c} \neq 0$ значення Е.Р.С. дорівнює $E(t, t_{x.c})$. Щоб скористатися градуйованою таблицею, необхідно ввести поправку на температуру холодного спаю, тобто визначити значення Е.Р.С., залежність $E(t, \theta^0)$, що виникла у контурі термопар при $t_{x.c} = 0^\circ\text{C}$:

$$E(t, \theta^0) = E(t, t_{x.c}) + E(t_{x.c}, \theta^0). \quad (11)$$

Значення $E(t_{x.c}, \theta^0)$ визначається за допомогою градуйованої табл. 1. Таким чином, визначаються зведені щодо 0° значення Е.Р.С. термопар, що встановлені на внутрішній поверхні ізоляції – $E(t_1, \theta^0)$; на внутрішній поверхні тепломіру – $E(t_2', \theta^0)$; на зовнішній поверхні ізоляції – $E(t_2', \theta^0)$. Е.Р.С. диференціальної термопарі тепломіра:

$$E = 20 E(t_2', t_3), \quad (12)$$

звідки

$$E(t_2', t_3) = \frac{Et}{20}. \quad (13)$$

У цьому випадку значення Е.Р.С. на зовнішній поверхні тепломіра $E(t_3, \theta^0)$ приведені до $t_{x.c} = 0^\circ$, визначається формулою:

$$E(t_3, \theta^0) = E(t_2', \theta^0) + E(t_2', t_3). \quad (14)$$

Потім за наведеними значеннями Е.Р.С. за допомогою градуйованої табл. I знаходять значення температур t_1, t_2, t_2', t_3 .

Таблица 1 – Градуирована таблица терморпарі хромель-копель при температурі холодного спаю 0 °С (переведення мВ у градуси) [4]

°С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.07	0.13	0.20	0.26	0.33	0.39	0.46	0.52	0.59
10	0.65	0.72	0.78	0.85	0.91	0.98	1.05	1.11	1.18	1.24
20	1.31	1.38	1.44	1.51	1.57	1.64	1.71	1.77	1.84	1.90
30	1.07	2.04	2.11	2.17	2.84	2.31	2.38	2.45	2.51	2.58
40	2.65	2.72	2.79	2.86	2.93	3.00	3.06	3.13	3.20	3.27
50	3.34	3.41	3.48	3.55	3.62	3.69	3.75	3.85	3.89	3.96
60	4.03	4.10	4.17	4.24	4.31	4.38	4.45	4.52	4.59	4.66
70	4.73	4.80	4.87	4.95	5.02	5.09	5.16	5.23	5.31	5.38
80	5.45	5.52	5.59	5.67	5.74	5.81	5.88	5.95	6.03	6.10
90	6.17	6.24	6.32	6.39	6.46	6.54	6.61	6.68	6.75	6.83
100	6.90	6.97	7.05	7.12	7.20	7.27	7.34	7.42	7.49	7.57
110	7.64	7.72	7.79	7.87	7.94	8.02	8.09	8.17	8.24	8.32
120	8.39	8.47	8.54	8.62	8.69	8.77	8.84	8.92	8.99	9.07
130	9.14	9.22	9.29	9.37	9.45	9.53	9.60	9.68	9.76	9.83
140	9.91	9.99	10.06	10.14	10.22	10.39	10.37	10.45	10.53	10.60
150	10.68	10.76	10.84	10.91	10.99	11.07	11.15	11.23	11.30	11.38
160	11.46	11.54	11.62	11.70	11.78	11.86	11.93	12.01	12.09	12.17
170	12.25	12.33	12.41	12.49	12.57	12.65	12.72	12.80	12.88	12.96
180	13.04	13.12	13.20	13.28	13.36	13.44	13.51	13.59	13.67	13.75
190	13.83	13.91	13.99	14.08	14.16	14.24	14.32	14.40	14.49	14.57
200	14.65	14.73	14.82	14.90	14.99	15.07	15.15	15.24	15.33	15.41
210	15.50	15.58	15.66	15.75	15.83	15.92	16.00	16.09	16.17	16.27
220	16.34	16.42	16.51	16.59	16.68	16.76	16.85	16.93	17.02	17.10
230	17.19	17.27	17.35	17.44	17.52	17.61	17.69	17.78	17.86	17.95
240	18.03	18.11	18.20	18.28	18.37	18.45	18.54	18.62	18.71	18.79
250	18.88	18.96	19.04	19.13	19.21	19.30	19.32	19.47	19.55	19.64
260	19.72	19.80	19.89	19.97	20.08	20.14	20.23	20.31	20.40	20.48
270	20.57	20.65	20.73	20.82	20.90	20.99	21.07	21.16	21.24	21.33
280	21.41	21.49	21.58	21.66	21.75	21.83	21.92	22.00	22.09	22.17

4. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДУ

Вимір температур необхідно проводити при сталому тепловому стані ізоляції. Для виходу установки на стаціонарний режим нагрівач повинен бути включений за 30 - 40 хв. до початку вимірів.

Виміри Е.Р.С. термопар здійснюються послідовно шляхом установки перемикача термопар у відповідне положення з фіксацією показань мілівольметра.

Результати вимірів, а також вихідні дані для конкретної лабораторної установки повинні бути занесені до протоколу іспитів за формою, наведеною в табл. 2.

Таблиця 2 – Дослідні дані

№ п/п	Найменування виміру	Позначення	Розмірність	Значення
1	Е.Р.С. термопари на внутрішній поверхні ізоляції	$E(t_1, t_{x.c})$	мВ	
2	Е.Р.С. термопари на внутрішній поверхні тепломіра	$E(t_2', t_{x.c})$	мВ	
3	Е.Р.С. термопари на зовнішній поверхні ізоляції	$E(t_2, t_{x.c})$	мВ	
4	Е.Р.С. батареї термопар на тепломірі	E_t	мВ	
5	Температура холодного спаю	$t_{x.c}$	°С	
6	Внутрішній діаметр ізоляції	d_1	м	
7	Зовнішній діаметр ізоляції	d_2	м	
8	Товщина додаткової стінки (тепломіру)	δ_0	м	
9	Коефіцієнт теплопровідності матеріалу тепломіра	λ_0	Вт/(м К)	

5. ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

На першому етапі необхідно визначити значення Е.Р.С., м, зведені до $t_{xc} = 0^0\text{C}$ відповідно до рівнянь (11)-(14). Значення $E(t_{xc}, 0^0)$ необхідно взяти з градуйованої таблиці 1:

$$E(t_{1l}, 0^0) = E(t_{1l}, t_{xc}) + E(t_{xc}, 0^0);$$

$$E(t_{2'}, 0^0) = E(t_{2'}, t_{xc}) + E(t_{xc}, 0^0);$$

$$E(t_{2}, 0^0) = E(t_{2}, t_{xc}) + E(t_{xc}, 0^0);$$

$$E(t_{3}, 0^0) = E(t_{2'}, 0^0) + E(t_{2'}, t_{3}),$$

$$\text{де } E(t_{2'}, t_{3}) = \frac{E_t}{20}.$$

Потім за допомогою даних градуйованої табл. 1 перевести значення Е.Р.С. $E(t_{1l}, 00)$, $E(t_{2'}, 00)$, $E(t_{2}, 00)$, $E(t_{3}, 00)$ у відповідні їм значення температур $t_1, t_{2'}, t_2, t_3$.

Виконати розрахунок щільності лінійного теплового потоку, Вт/м через тепломір за формулою (8):

$$q_l' = \frac{\lambda_0}{\delta_0} \pi d_2 (t_{2'} - t_3).$$

Знайти значення коефіцієнта теплопровідності ізоляції, Вт/мК за формулою (9):

$$\lambda_{iz} = \frac{q_l' \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi(t_1 - t_2')}$$

Розрахувати теплові втрати через ізоляцію з 1 м трубопроводу, Вт/м:

$$q_l' = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{2} \pi \lambda_{iz} \ln \frac{d_2}{d_1}}.$$

6. ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ

Звіт про виконану роботу повинен відображувати основні етапи виконаних розрахункових і експериментальних досліджень, у тому числі:

- основні положення методики визначення теплових втрат;

- опис принципової схеми установки;
- протокол дослідних даних (табл.2);
- результати розрахунків і опрацювання дослідних даних.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення явища теплопровідності.
2. Записати закон Фур'є для плоскої і циліндричної поверхонь.
3. Дати визначення коефіцієнта теплопровідності, привести його значення для ізоляційних матеріалів.
4. Написати вираз для лінійної щільності теплового потоку для циліндричної поверхні.
5. Назвіть у чому полягає особливість визначення теплового потоку за допомогою тепломіра? Пояснити принцип дії тепломіра.
6. Назвати основні види ізоляційних матеріалів та дати їх характеристику.
7. Пояснити методику виміру температур за допомогою термопар.
8. Як здійснюється переведення розміру сили термоЕ.Р.С., мВ у температуру, °С, за допомогою градуйованої таблиці?
9. Як вплине на розмір теплового потоку збільшення шару ізоляції? За яких умов для циліндричної поверхні застосування ізоляції призводить до зростання теплових втрат?
10. Як необхідно змінити товщину ізоляції ($\lambda_z = \text{const}$), якщо діаметр труби d_1 з технічних причин збільшений у 2 рази, але розмір теплових втрат необхідно зберегти на попередньому рівні?
11. У чому полягає зміст терміна "критичний діаметр ізоляції"?
12. За яких умов вибирається ізоляційний матеріал для циліндричних поверхонь?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Исаченко В.П. , Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1981. - 416 с.
2. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена.- М.: Энергия, 1979. - 319 с.
3. Лабай В.Й. Тепломасообмін : Підручник для ВНЗ. - Львів: Тріада Плюс, 1998. - 260 с.
4. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. - М.: Энергия, 1978. - 704 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. МЕТА РОБОТИ.....	3
2. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ.....	3
3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ І МЕТОДИКИ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУР	8
4. ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДУ	11
5. ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ.....	12
6. ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО РОБОТУ	12
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ	13
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	14

Навчальне видання

Методичні вказівки до практичних занять та лабораторної роботи: «Визначення теплових втрат через ізоляцію елементів котельного устаткування» за курсом «Тепломасообмін» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли та реактори», з усіх форм навчання.

Укладачі: КОШЕЛЬНИК Вадим Михайлович
ТЮТЮНИК Лариса Іванівна
ІВАНОВА Лідія Анатоліївна
КАСІЛОВ Віктор Йосипович

Відповідальний за випуск Єфімов О.В.
Роботу до друку рекомендував Зайченко Є.Т.

В авторській редакції.
Зав. Редакційно-видавничим відділом
Єфремова М.П.

План 2003р., поз. 121/

Підп. до друку ХХ.ХХ.ХХ. 2003 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.
Друк - ризографія. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,4.
Облік. - вид. арк. 0,6. Тираж 50 прим. Зам. № ХХ/ХХ. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП»
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.