

В.В. Козирський<sup>1</sup>, С.М. Волошин<sup>1</sup>, Ц.А. Криськов<sup>2</sup>, М.М. Волошин<sup>3</sup><sup>1</sup>Національний авіаційний університет<sup>2</sup>Кам'янець-Подільський державний університет<sup>3</sup>Подільський державний аграрно-технічний університет**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОТЕПЛОФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СПЛАВУ  
З ЕФЕКТОМ ПАМ'ЯТІ ФОРМИ *CU-AL-MN***

Подано результати дослідження електротеплофізичних параметрів сплаву з ефектом пам'яті форми *Cu-Al-Mn*. Описано методику та обробку результатів дослідження.

**Ключові слова:** Сплав з ефектом пам'яті форми, питомий електричний опір, теплоємність, питома теплопровідність, густина.

Приводи виконані на основі сплавів з ефектом пам'яті форми (СЕРФ) широко поширені у багатьох галузях – від робототехніки до літальних апаратів. У сільському господарстві вони використовуються у системах мікроклімату та вентиляції. Зокрема у системах природної вентиляції споруд захищеного ґрунту можливе використання електротермомеханічного приводу, розробленого в Національному аграрному університеті [1, 2].

В основних засобах реалізації освітніх стандартів, на нашу думку, необхідно при ознайомленні студентів ВнаЗів III – IV рівня акредитації та учнів старшої школи із організацією проведення наукових досліджень в різних галузях науки, у фізичному практикумі робити посилання на результати реальних наукових експериментальних досліджень з різними матеріалами. Наприклад, при дослідженнях сплаву з ефектом пам'яті форми *Cu-Al-Mn* було проведено ряд дослідів з метою чисельного моделювання параметрів електротермомеханічного приводу, отримання залежності генерованого зусилля від теплового потоку, які ґрунтувались на електротеплофізичних параметрах СЕРФ. Нагадаємо про те, що до основних електротеплофізичних параметрів сплаву відносяться: питомий електричний опір, питома теплоємність та питома теплопровідність. Суть, результати і методику проведення дослідів для визначення цих параметрів представлено нижче.

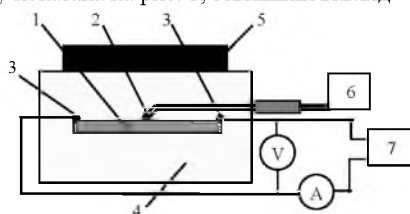
**Результати експериментальних досліджень.** Для досліджень була вирізана пластинка довжиною 50 мм ( $5,0 \cdot 10^{-2}$  м). Її маса, визначена за допомогою аналітичних терезів АДВ 200М, становила 1,401 г ( $1,401 \cdot 10^{-3}$  кг). Електричний опір пластинки дорівнює  $1,32 \cdot 10^{-3}$  Ом. Питомий електричний опір розраховуємо за формулою:

$$\rho_e = \frac{R \cdot S}{l}, \quad (1)$$

де  $R$  – електричний опір пластинки, Ом;  $S$  – площа поперечного перерізу,  $\text{мм}^2$ ;  $l$  – довжина пластинки, м.

Питомий електричний опір досліджуваного сплаву *Cu-Al-Mn* становить –  $\rho_e = 0,246$  Ом·мм<sup>2</sup>/м.

Відомо, що питома теплоємність речовини визначається кількістю теплоти, яку необхідно надати одиниці маси речовини, щоб змінити її температуру на 1 К [3]. Схема установки для визначення питомої теплоємності матеріалу показана на рис. 1, зовнішній вигляд – на рис. 2.



**Рис. 1.** Схема установки для визначення питомої теплоємності матеріалу: 1 – досліджувана пластинка, 2 – термопара, 3 – електричні контакти з провідниками, 4 – шар теплоізолятора, 5 – вантаж, 6 – цифровий мультиметр, 7 – блок живлення В-24.

Для визначення питомої теплоємності, крізь теплоізолювану пластинку пропускали електричний струм і фіксували зміну її температури. Коли, при заданих величинах струму і напруги, температура пластинки стабілізується, це означає, що настала теплова рівновага, і кількість виділеної

теплоти дорівнює кількості теплоти, поглинутої пластинкою та теплоти, розсіяної в оточуюче середовище. Враховуючи, що термопара має досить малу інерційність, можемо ресструвати зміну температури пластинки при зміні струму через неї. За фіксований час знаходимо кількість теплоти, виділену при проходженні струму, що спричиняє зміну температури пластинки.

Оцінки показали, що втрати теплоти, яка виділяється при проходженні струму, згідно закону Ленца-Джоуля, не перевищує  $\eta \approx 6\%$ . За одержаними результатами вимірювань обчислювали питому теплоємність матеріалу.



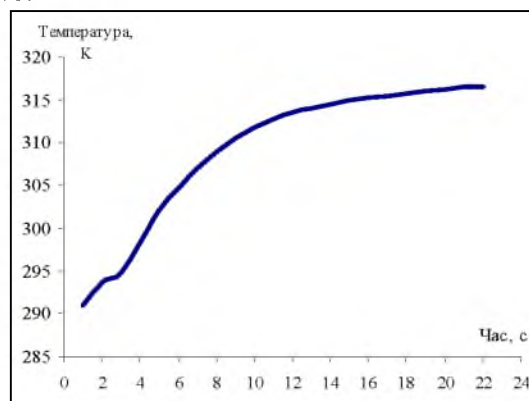
а



б

**Рис. 2.** Визначення питомої теплоємності матеріалу: а – дослідний зразок з присіднаними контактами та термопарою; б – зовнішній вигляд дослідницької установки.

Динаміку зміни температури пластинки наведено на рис. 3.



**Рис. 3.** Зміна температури зразка з часом

Кількість теплоти  $\Delta Q$ , яка виділяється струмом за час  $\tau$  і витрачається на зміну температури пластинки дорівнює:

$$\Delta Q = \Delta U \cdot \Delta I \cdot \tau \cdot (1 - \eta), \quad (2)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт втрати тепла ( $\eta = 0,06$ ),  $\Delta U$  – зміна напруги живлення, В;  $\Delta I$  – зміна струму через пластинку, А.

Теплота виділена при проходженні струму витрачається на нагрівання пластинки:

$$\Delta Q = cm\Delta T, \quad (3)$$

де  $c$  – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·К);  $m$  – маса пластинки, кг;  $\Delta T$  – зміна температури пластинки, К.

Тоді,

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{\Delta U \cdot \Delta I \cdot \tau \cdot (1 - \eta)}{m \cdot \Delta T}. \quad (4)$$

Результати вимірювання та обрахунку наведено в табл. 1.

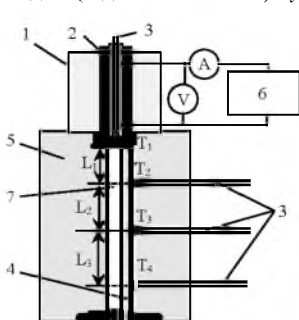
Таблиця 1

**Визначення питомої теплоємності**

Номер виміру	$\Delta U, В$	$\Delta I, А$	$\tau, с$	$\eta$	$m, кг$	$\Delta T, К$	$c, Дж/(кг·К)$
1	0,268	0,510	24	0,06	0,001401	4,5	489,1
2	0,261	0,520	26	0,06	0,001401	4,8	493,2
3	0,270	0,500	27	0,06	0,001401	5,0	489,1
4	0,272	0,510	25	0,06	0,001401	4,8	484,8
5	0,281	0,515	24	0,06	0,001401	4,7	495,8
Середнє	0,270	0,511	25	0,06	0,001401	4,8	490,8

Середнє значення питомої теплоємності  $c = 490,8 \pm 6,04$  Дж/(кг·К).

Точність визначення питомої теплоємності таким методом (відносна похибка) буде  $\Delta c/c = 1,23\%$ .



Для визначення коефіцієнта теплопровідності, досліджували поширення теплового потоку вздовж пластинки. Схема пристрою показана на рис. 4, а його зовнішній вигляд на рис. 5.

Край пластинки за допомогою кварцової трубки притискали до поверхні нагрівача (верхній край) і до теплоізолятора (нижній край).

Тепло від нагрівача поширювалось вздовж пластинки. У чотирьох точках пластинки, за допомогою термопар "хромель-алюмель", вимірювалась температура її поверхні ( $T_1, T_2, T_3, T_4$ ). Відстані між термопарами фіксовані.



Рис. 5. Установа для визначення коефіцієнту теплопровідності: а – до теплоізолювання; б – після теплоізолювання.

Для зменшення розсіювання тепла весь пристрій був теплоізолюваний шаром фетру МКРВЦТ-130. Оцінки показали, що розсіювання тепла у тій частині пристрою, де розміщена пластинка, складає близько 9% ( $\eta_1 = 0,09$ ).

Завдяки доброму механічному контакту пластинки з нижнім краєм нагрівача можемо вважати їх температури ( $T_1$ ) однаковими. Таким чином можна визначити градієнт температури  $gradT$ .

Коефіцієнт теплопровідності матеріалу визначаємо за рівнянням теплового потоку [3]:

$$q = -\lambda \cdot gradT, \quad (5)$$

де  $q$  – тепловий потік, Вт/м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

Враховуючи, що

$$q = \frac{Q}{S \cdot \tau}, \quad (6)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що підводиться до верхнього краю пластинки, Вт;  $S$  – площа поперечного перерізу пластинки, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – час, с.

Кількість теплоти  $Q$  може бути визначена з таких міркувань. Теплопровід, виготовлений з інструментальної сталі, нагрівається обмоткою, через яку проходить електричний струм. Якщо при напрузі  $U$  через обмотку проходить струм  $I$ , то кількість виділеного тепла за час  $\tau$  буде:

$$Q_1 = U \cdot I \cdot \tau, \quad (7)$$

Частина цього тепла розсіється у простір через шар теплоізолятора нагрівача і через верхню частину теплопроводу. Оцінки показали, що такі втрати складають приблизно 6% ( $\eta_2 = 0,06$ ). Решта теплоти витрачається на нагрівання теплопроводу, до нижнього краю якого дотикається верхня частина досліджуваної пластинки. Таким чином:

$$Q = U \cdot I \cdot \tau \cdot (1 - \eta_2). \quad (8)$$

Тоді маємо:

$$\frac{U \cdot I \cdot \tau \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_1)}{S \cdot \tau} = -\lambda \cdot gradT. \quad (9)$$

Звідси:

$$\lambda = -\frac{U \cdot I \cdot (1 - \eta_2) \cdot (1 - \eta_1)}{S \cdot gradT}. \quad (10)$$

Результати вимірювання та обрахунку  $gradT$  наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Визначення градієнта температури ( $gradT$ )**

Номер виміру	$L_1, м$	$L_2, м$	$L_3, м$	$T_1, К$	$T_2, К$	$T_3, К$	$T_4, К$	$gradT, К/м$
1	0,01	0,015	0,021	401	331	313	303	-2130,43
2	0,01	0,015	0,021	402	329	310	300	-2217,39
3	0,01	0,015	0,021	404	334	312	305	-2152,17
4	0,01	0,015	0,021	402	330	314	301	-2195,65
5	0,01	0,015	0,021	403	335	311	303	-2173,91

При нагріванні досліджуваний зразок прогрівався нерівномірно. Значення температури вздовж зразка наведено на рис. 6.

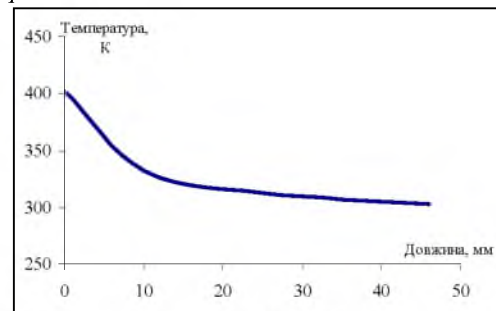


Рис. 6. Зміна температури по довжині досліджуваного зразка

Результати вимірювань та розрахунок коефіцієнта теплопровідності наведено в табл. 3.

Середнє значення питомої теплопровідності  $\lambda = 264,6 \pm 6,5$  Дж/(кг·К).

Точність визначення питомої теплопровідності таким методом (відносна похибка) буде  $\Delta \lambda/\lambda = 2,4\%$ .

Таблиця 3

## Визначення питомої теплопровідності

Номер виміру	$U, В$	$I, А$	$\eta_1$	$\eta_2$	$S, м^2$	$grad T, К/м$	$\lambda_s, Вт/мК$
1	4,08	1,52	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2130,43	267,7
2	4,10	1,53	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2217,39	260,2
3	4,12	1,54	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2152,17	271,2
4	4,10	1,52	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2195,65	261,1
5	4,09	1,52	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2173,91	263,0
Середнє	4,10	1,53	0,09	0,06	$9,30 \cdot 10^{-6}$	-2173,91	264,6

**Висновки.** В процесі проведення експериментального дослідження електротеплофізичних параметрів сплаву з ефектом пам'яті форми *Cu-Al-Mn* було визначено його питомий електричний опір, питома теплоємність та теплопровідність. Крім того, визначено густину та температуру плавлення сплаву (відповідно густина  $\rho = 7671,82 \text{ кг/м}^3$ , температура плавлення  $\theta = 1020^\circ\text{C}$ ). Отримані дані стали основою числового моделювання параметрів електротермомеханічного приводу із СЕПФ і можуть бути прикладом організації експериментальних наукових досліджень в різних галузях науки для студентів та учнів.

УДК 53(075.8)

В.В. Кудрявцев, В.А. Ильин

Московский педагогический государственный университет

## МУЛЬТИМЕДИЙНИЙ КУРС "ИСТОРИЯ РАДИОФИЗИКИ" ДЛЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ

В статье рассказано о разработке и создании мультимедийного курса по истории радиофизики. Обсуждаются актуальность исследования, новизна курса, его теоретическая и практическая ценность. Предлагается и обосновывается возможный способ изложения материала курса с помощью мультимедийных лекций.

**Ключевые слова:** история, радиофизика, мультимедийный курс, Нобелевская премия, мультимедийная лекция.

Область физики, изучающая процессы, связанные с электромагнитными колебаниями и волнами (в диапазоне  $\lambda = 10^{-5} - 10^{10} \text{ м}$ ), называется *радиофизикой*. Радиофизика как наука сформировалась в 30-40-е годы XX века, объединив разделы физики, связанные с изучением проблем радиотехники и электроники. По мере развития радиофизики ее методы начали проникать в другие области физики. В настоящее время, радиофизика имеет сложную и сильно разветвленную структуру и ясно выраженную тенденцию дальнейшего проникновения как в другие области частот, мощностей и других параметров, расширяющих сферы ее влияния, так и в другие естественнонаучные дисциплины (астрономия, химия, биология и др.).

Все вышесказанное позволяет говорить о радиофизике как об одном из наиболее бурно развивающихся направлений в физической науке. Однако, история этой дисциплины исследована явно недостаточно, несмотря на то, что именно в этой области физики сделаны выдающиеся открытия, в частности, отмеченные Нобелевскими премиями. В связи с этим, на наш взгляд, возникла необходимость систематизировать весь накопленный материал по истории развития радиофизики и создать на основе этого исследования мультимедийный курс "История радиофизики" для физических специальностей вузов. Подобное исследование истории радиофизики имеет двоякую ценность: изучение истории радиофизики и ее методологии дает возможность не только выделить основные этапы изучаемого процесса, но и предсказать новые направления дальнейших исследований, определить их научную и прикладную ценность, возможность использования полученных материалов в обучении студентов и школьников старших классов для формирования у них естественнонаучной картины мира.

Как уже говорилось, методы современной радиофизики находят широкое применение в различных областях науки и техники. Из-за невозможности в одной работе отразить деятельность всех ученых, внесших решающий вклад в становление радиофизики, а также рассказать обо всех открытиях в этой области, в мультимедийном курсе мы ограничимся исследованием истории радиофизики в

## Список використаних джерел:

1. *Волошин С.М.* Привод для відкриття фрамуг теплицы що містить елементи зі сплаву з ефектом пам'яті форми // Науковий вісник Національного аграрного університету. – 2004. – Вип. 73, Ч. 2. – С.259-264.
2. *Пат.* 68239А Україна, МКІ<sup>4</sup> А 01 G 9/24, 9/14 Система регулювання температури повітря в теплиці / *В.В.Козирський, С.М.Волошин, В.А.Марчиський.* – Опубл. 15.07.2004, бюл. №7.
3. *Тепло- и массообмен.* Теплотехнический эксперимент: Справочник / *Е.В.Аметистов, В.А.Григорьев, Б.Т.Емцев и др.;* Под общ. ред. *В.А.Григорьева и В.М.Зорина.* – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

The results of research electrothermophysical properties of a shape memory alloy Cu-Al-Mn are submitted. Is circumscribed a technique and handling of results of a research.

**Key words:** shape memory alloy, specific resistance, heat conduction, specific heat capacity, density.

Отримано: 14.11.2007

контексте самой престижной научной награды – Нобелевской премии. Это особенно важно, так как в Нобелевской премии, как в зеркале, отражается поступь науки (в частности, радиофизики) в XX-XXI веках.

В настоящей статье обсуждаются вопросы разработки, создания и реализации мультимедийного курса по истории радиофизики. Преподавание истории радиофизики как части общего курса "История физики" в педагогическом вузе должно проводиться с помощью современных средств. В связи с этим, исследование предполагает использование ряда методов, часть которых стандартна для любой исторической науки [1], другая – предполагает использование специфических приемов, таких как педагогический эксперимент, создание мультимедийных продуктов, использование сети ИНТЕРНЕТ и др. В этом, на наш взгляд, заключается новизна настоящего исследования. Остановимся подробнее на вопросе об использовании мультимедийных технологий в курсе истории радиофизики.

На современном этапе развития образования, характеризующемся широким использованием информационных технологий, необходимо широко использовать их преимущества. Мультимедийные технологии предоставляют значительные возможности для реализации творческого потенциала преподавателя и учащихся и обеспечивают:

- более активное усвоение информации учащимися;
- компенсацию недостатка учебного времени;
- индивидуализацию учебного процесса;
- снижение информационной нагрузки, связанной с восприятием материала на слух.

В контексте обсуждаемой проблемы следует разработать программно-педагогические средства для изучения истории радиофизики. Предлагаемый курс реализуется в виде мультимедийных лекций [2, 3], выполненных таким образом, что они могут использоваться для чтений лекций в вузе, для проведения уроков в школе, а также при дистанционном обучении.

Мультимедийный курс "История радиофизики" знакомит обучаемых с биографиями и научными работами