

## ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТЕПЛООБМІН В ЗОНІ КОНТАКТУ ЗОНДА АТОМНО-СИЛОВОГО МІКРОСКОПА З ДОСЛІДЖУВАНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

*У статті вивчаються механізми енергетичного обміну і перетворення, які відбуваються в вимірювальному блоці атомно-силового мікроскопа («консоль → зонд → досліджуваний об'єкт ← п'єзосканер» і «лазерний позиціонер → зонд → фотодетектор») в процесі дослідження твердих поверхонь матеріалів. Складена енергетична схема роботи приладу та проведено математичне моделювання процесу нагрівання окремих елементів вимірювального блоку атомно-силового мікроскопа. Представлено розв'язок еквівалентної теплової схеми атомно-силового мікроскопа, що включає в себе механічне тертя зонда по досліджуваній поверхні, витрати на дію електромагнітних полів і електричного заряду в зоні дії зонду, витрати на вигин та кручення консолі в процесі сканування та витрати на кручення п'єзосканера внаслідок роботи приладу. Адекватність отриманих математичних моделей підтверджується розв'язком еквівалентної теплової схеми. Показано, що найбільше тепловиділення в зоні контакту виникає внаслідок тертя зонда об досліджувану поверхню і становить 67,8%, а максимальний тепловий внесок здійснює енергія, що подається на п'єзосканер.*

**Ключові слова:** атомно-силовий мікроскоп, енергетичний теплообмін, теплові витрати.

**Вступ.** Серед основних аналітичних методів дослідження стану поверхні і фізико-механічних властивостей матеріалів метод атомно-силової мікроскопії, безумовно, має суттєві переваги: високу просторову роздільну здатність, оперативність, точність і об'єктивність [1-3].

У той же час, не дивлячись на явні переваги методу, точність і адекватність результатів дослідження деяких наноструктурних покриттів та матеріалів методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) викликає сумніви. Це пов'язано, як з невірним вибором режимів дослідження, так і з зовнішніми силовими та енергетичними факторами взаємодії чутливого елемента АСМ з поверхнями цих матеріалів [4, 5].

Для вирішення проблеми мінімізації впливу дії паразитичних сил, вчені (С.А. Чижик, Т.А. Кузнецова, тощо) пропонували використання індивідуальних режимів і зондів при дослідженні окремих видів матеріалів [6, 7]. Ряд авторів (А.Л. Толстіхіна, Т.І. Муравьова та інші) пропонували шляхи мінімізації дії силових взаємодій шляхом використання кліматичних боксів, проте теплова взаємодія в роботах не розглядалася [8, 9].

При цьому, чинники силової взаємодії можуть бути експериментально підтверджені, проте експериментальне підтвердження механізмів енергетичного теплообміну, що проходять в вимірювальний інструмент (зонді) атомно-силового мікроскопа в процесі дослідження твердих поверхонь матеріалів, на сьогоднішній момент є неможливим.

Тому актуальним для вивчення цих явищ є математичне моделювання процесу нагрівання окремих елементів вимірювального блоку атомно-силового мікроскопа.

**Метою даної роботи** є вивчення механізмів енергетичного теплообміну в зоні контакту зонда атомно-силового мікроскопа з досліджуваною поверхнею шляхом застосування прийомів математичного моделювання з їх підтвердженням методом еквівалентної теплової схеми.

### Результати моделювання та їх обговорення

Як об'єкт для моделювання енергетичного теплообміну обрано вимірювальний блок атомно-силового мікроскопа «NT-206» (виробник ТДВ «Микротестмашины», Білорусь), а саме системи: «консоль → зонд → досліджуваний об'єкт ← п'єзосканер» і «лазерний позиціонер → зонд → фотодетектор».

Моделювання взаємодії цих систем полягало в складанні адекватної енергетичної схеми роботи пристрою. При цьому, основні енергетичні параметри схеми було поділено на дві групи: теплові витрати та енергетичний вплив.

Серед теплових витрат слід виділити витрати на механічне тертя зонда по досліджуваній поверхні, витрати на дію електромагнітних полів і електричного заряду в зоні дії зонду, витрати на вигин та кручення консолі в процесі сканування та витрати на кручення п'єзосканера внаслідок роботи приладу.

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

В той же час енергетичний вплив в зоні сканування АСМ поділяється на: енергію випромінювання, що генерується лазерним позиціонером і спрямовується на консоль АСМ, енергію лазерного випромінювання, що відбивається від консолі і спрямовується на фотодетектор, енергію, що приводить в рух п'єзосканер, а також корисну роботу п'єзосканера. Слід зазначити, що різниця між енергією випромінювання, що генерується лазерним позиціонером і енергією, що спрямовується на фотодетектор майже повністю перетворюється у тепло, яке нагріває консоль.

Для моделювання теплових витрат в зоні контакту зонду АСМ з досліджуваною поверхнею та енергетичного впливу в процесі роботи вимірювального блоку атомно-силового мікроскопу запропонована енергетична схема роботи вимірювального блоку АСМ, в якій враховані наступні теплові та енергетичні параметри:  $A_1$  – теплові витрати при механічному терті зонда об досліджувану поверхню;  $A_2$  – теплові витрати від дії електромагнітних полів і електричного заряду;  $A_3, A_4$  – відповідно, теплові витрати при вигині та крученні консолі;  $A_5$  – теплові витрати при крученні п'єзосканера;  $E_1$  – енергія випромінювання лазерного позиціонера;  $E_2$  – енергія лазерного випромінювання, що потрапляє на фотодетектор;  $E_3$  – енергія, що приводить в рух п'єзосканер;  $A$  – корисна робота п'єзосканера.

Енергетична схема дозволила визначити механізм теплового обміну між окремими елементами вимірювального блоку приладу, а також встановити зовнішній тепловий вплив на окремі елементи конструкції цього блоку (рис. 1).

У процесі теплових розрахунків складені і аналітично вирішені із залученням методу зворотного перетворення Фур'є ряд математичних моделей процесу нагріву окремих елементів АСМ. При цьому враховували тільки теплообмін теплопередач (ні конвективні, ні променеві види теплообміну не розглядалися в силу їх неістотності).

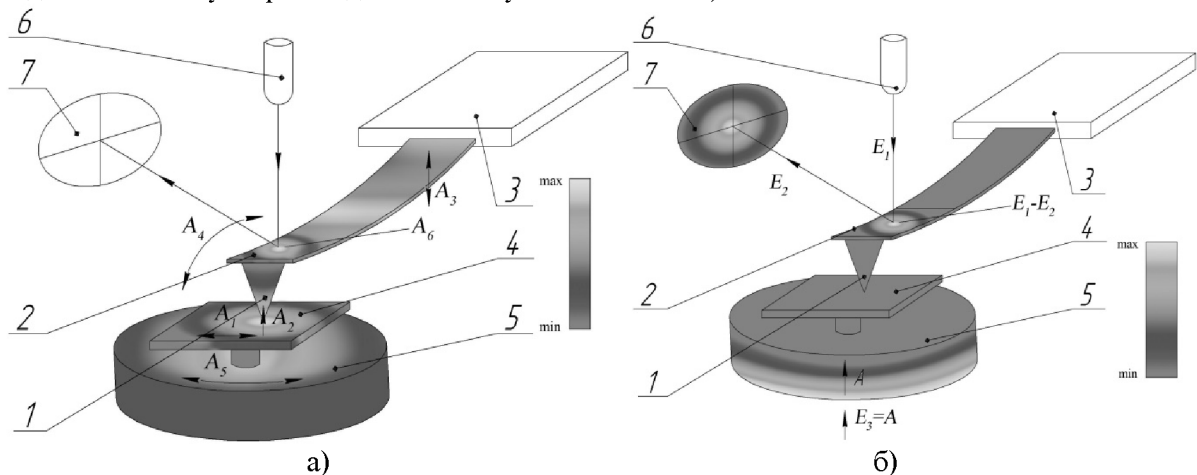


Рис. 1. Схема теплових витрат (а) та енергетичного впливу (б) при роботі вимірювального блоку атомно-силового мікроскопу:

1 – зонд; 2 – консоль чутливого елемента АСМ; 3 – п'єзочип; 4 – досліджуваний виріб; 5 – п'єзосканер; 6 – лазерний опозиціонер; 7 – фотодетектор

В основі теплових розрахунків лежить система рівнянь теплового балансу між окремими елементами АСМ [10].

В системі рівнянь теплового балансу:  $T_0$  – початкова температура досліджуваного об'єкта;  $a_0, \lambda_0$  – відповідно коефіцієнти температуропровідності і теплопровідності досліджуваного об'єкта;  $r, R$  – відповідно радіуси вістря і основи зонда;  $R_1, R_2$  – радіуси циліндричної оболонки;  $\xi$  – змінна товщина шару, що нагрівається;  $p_0$  – вихідний полюс підінтегральної функції;  $z$  – глибина проникнення зонда в досліджуваний об'єкт;  $t$  – час взаємодії;  $\mu_n = p_n R_w$  – коефіцієнт динамічної в'язкості;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона;  $q_{n0}$  – поверхнева густина теплового потоку;  $H$  – товщина елемента;  $n = 0, 1, 2 \dots$

Кожне з рівнянь системи (1)-(4) є рівнянням нагріву певних елементів вимірювального блоку атомно-силового мікроскопу, геометричні моделі яких наведені на рис. 2.

Так, до кожної з наведеної геометричної моделі відноситься відповідне рівняння системи (1)-(4).

Наприклад, для зрізаного конусного елемента (модель зонда, рис. 2 а) – це рівняння (1) системи; для пластини невеликої товщини модель досліджуваного зразка, рис. 2 б) – це рівняння (2) системи; для пластини малої товщини (модель консолі, рис. 2 в) – це рівняння (3)

системи, а для торцевої поверхні циліндра (модель п'єзосканера, рис. 2 – г) – це рівняння (4) системи.

$$T(r,t) = \left\{ T_0^{v+1} + \frac{(v+1)q_{n0}R}{\lambda_0} \times \left[ \frac{3a_0^2 t}{10R^2} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2R \sin\left(\mu_n \frac{r}{R}\right)}{\mu_n^3 \cos(\mu_n R)} e^{-\left(\frac{\mu_n a_0}{R}\right)^2 t} \right] \right\} \quad (1)$$

$$T(z,t) = \left\{ T_0^{v+1} + \frac{(v+1)q_{n0}a_0}{\sqrt{\pi\lambda_0}} \int_0^t \frac{e^{-\frac{z^2}{4a_0^2(t-\tau)}}}{\sqrt{t-\tau}} d\tau \right\}^{\frac{1}{v+1}} \quad (2)$$

$$T(z,t) = \left\{ T_0^{v+1} + \frac{(v+1)q_{n0}}{\lambda_0} \times \left[ \frac{a_0^2 t}{H} + \frac{3z^2 - H^2}{6H} + \frac{2H}{\pi^2} \times \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{\cos\left(\frac{\pi n z}{H}\right)}{n^2} e^{-\left(\frac{\pi a_0 n}{H}\right)^2 t} \right] \right\}^{\frac{1}{v+1}} \quad (3)$$

$$T(r,z,t) = \left\{ T_0^{v+1} + \frac{(v+1)}{4\pi\lambda_0} \int_0^{\infty} \left( 1 - \frac{r^2 \xi^2}{4} + \frac{r^4 \xi^4}{64} - \frac{r^6 \xi^6}{2304} \right) \times \right. \\ \times \left[ p_{01} \left( 1 - \frac{R_1^2 \xi^2}{8} + \frac{R_1^4 \xi^4}{192} - \frac{R_1^6 \xi^6}{9216} \right) + p_{02} \left( 1 - \frac{\xi^2}{8} (R_2^2 - R_1^2) + \frac{\xi^4}{192} (R_2^2 - R_1^2) - \frac{\xi^6}{9216} (R_2^2 - R_1^2) \right) \right] \times \\ \left. \times \left[ e^{-z\xi} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z}{2a_0 \sqrt{t}} - \xi a_0 \sqrt{t} \right) \right) - e^{-z\xi} \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{z}{2a_0 \sqrt{t}} + \xi a_0 \sqrt{t} \right) \right) \right] d\xi \right\}^{\frac{1}{v+1}} \quad (4)$$

Узгодження результатів розв'язку системи рівнянь (1)-(4) проводилося за схемою теплового балансу, в якій загальний тепловий внесок рівномірно ділився між усіма елементами, які брали участь в теплообміні (при цьому не враховувалися теплофізичні властивості матеріалів (теплоємність, теплопровідність), з яких виготовлялися ці елементи.

Для підтвердження адекватності розглянутих моделей теплообміну запропонована і досліджена еквівалентна теплова схема ACM [11, 12].

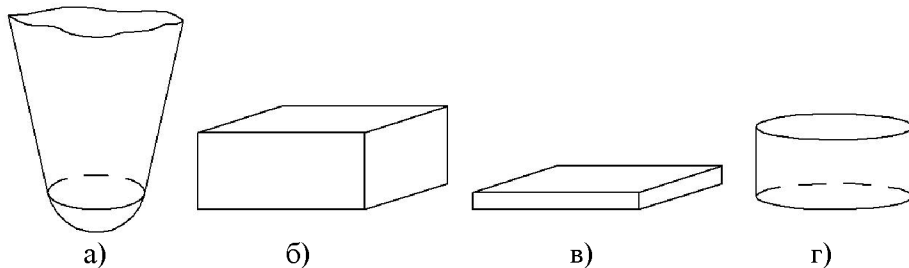


Рис. 2. Геометричні моделі основних елементів вимірювального блоку атомно-силового мікроскопу: а – зрізаного конусного елемента (зонда); б – пластини невеликої товщини (зразка); в – пластини малої товщини (консолі); г – торцевої поверхні циліндра (п'єзосканера).

Метод еквівалентних теплових схем набув найбільшого поширення через простоту і достатню точність розрахунку.

Недолік методу полягає в тому, що він дає не повну картину температурного поля, а тільки деякі усереднені значення температури для окремих елементів приладу.

Даний метод заснований на використанні теплових опорів, які з'єднуються в теплову мережу, що імітує реальні шляхи передачі теплових потоків в приладі, і передбачає аналогію теплового потоку з електричним струмом, основу на однаковій формі основного закону теплопровідності (закону Фур'є):

$$\Delta P = \frac{\Delta \theta}{R_T}$$

і електричного струму (закон Ома):

$$I = \frac{\Delta U}{R_{\dot{V}}},$$

де  $\Delta\theta$  – падіння температури;  $R_T$  – тепловий опір даного проміжку на шляху теплового потоку;  $\Delta U$  – різниця потенціалів на кінцях провідника;  $R_\Sigma$  – електричний опір.

Система рівнянь для даної схеми в режимі, що встановився наведена нижче.

[illegible]

У цій системі рівнянь  $m$  – кількість вузлів еквівалентної теплової схеми;  $\theta_B$  – температура зовні розглянутого елемента;  $A_{ki}=l/R_{ki}$  – теплова провідність відповідної ділянки схеми;  $P_i$  – теплові втрати в  $i$ -му вузлі.

Для розрахунку нестационарного режиму використовується та ж теплова схема, але кожен вузол з'єднується через ємність. В цьому випадку електрична ємність еквівалентна теплоємності тіла. Система рівнянь для нестационарного режиму виглядає наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} = \left( -\sum_{k=1}^m \Lambda_{k1} \right) \cdot (\theta_1 - \theta_B) + \sum_{k=1}^m (\Lambda_{k1} \cdot (\theta_k - \theta_B)) + P_1 \\ C_2 \cdot \frac{d\theta_2}{dt} = \left( -\sum_{k=1}^m \Lambda_{k2} \right) \cdot (\theta_2 - \theta_B) + \sum_{k=1}^m (\Lambda_{k2} \cdot (\theta_k - \theta_B)) + P_2 \\ \dots\dots\dots \\ C_m \cdot \frac{d\theta_m}{dt} = \left( -\sum_{k=1}^m \Lambda_{km} \right) \cdot (\theta_m - \theta_B) + \sum_{k=1}^m (\Lambda_{km} \cdot (\theta_k - \theta_B)) + P_m \end{array} \right.$$

де  $C_i$  – теплоємність відповідного вузла схеми.

Системи диференціальних рівнянь, наведені вище, по суті, є тепловими моделями нагріву окремих елементів вимірювального блоку атомно-силового мікроскопу.

Основні фактори, що визначають точність розрахунку за цими рівняннями наступні:

- точність завдання джерел теплоти, тобто втрат;
- точність визначення теплових провідностей, які в свою чергу залежать від:

а) коефіцієнтів теплопровідності  $\lambda$ , які схильні до значного розкиду з технологічних причин, під впливом появи повітряних проміжків і т.п.;

б) коефіцієнтів тепловіддачі  $\alpha$ , оскільки наявні для їх визначення емпіричні формули і графіки не можуть врахувати всіх факторів і умов, що впливають.

В результаті проведених розрахунків, як із застосуванням математичних моделей з залученням методу зворотного перетворення Фур'є, так і методом еквівалентних теплових схем [13, 14], оцінено енергетичний теплообмін і визначені основні теплові втрати в зоні контакту зонда атомно-силового мікроскопа з досліджуваною поверхнею.

На рисунку 3 показана діаграма енергетичного теплообміну, яка дозволяє якісно оцінити тепловідлення та енергетичні теплові вкладення, які наводяться в зоні контакту зонда з досліджуваною поверхнею.

Тут,  $A_1$  – тепловиділення при механічному терті зонда об досліджувану поверхню;  $A_2$  – тепловиділення від дії електромагнітних полів і електричного заряду;  $A_3$ ,  $A_4$  – відповідно, тепловиділення при вигині та крученні консолі;  $A_5$  – тепловиділення при крученні п'єзосканера;  $E_1$  – енергія, яка приводить в рух п'єзосканер;  $P_1$  – корисна робота п'єзосканера;  $E_2$  – енергія, що подається на консоль з зондом;  $P_2$  – корисна робота чутливого елементу;  $E_3$  – енергія випромінювання лазерного позиціонера;  $P_3$  – енергія лазерного випромінювання, що потрапляє на фотодетектор.

Як видно з наведених вище діаграм, найбільше тепловиділення в зоні контакту виникає внаслідок тертя зонда об досліджувану поверхню і становить 67,8% (рис.3, а), в той же час максимальний тепловий внесок здійснює енергія, що подається на п'єзосканер (рис.3, б).

Дослідження твердого зразка зондом АСМ можливо при їх безпосередньому фізичному контакті, внаслідок чого виділяється теплова енергія через тертя ( $A_1$ ).

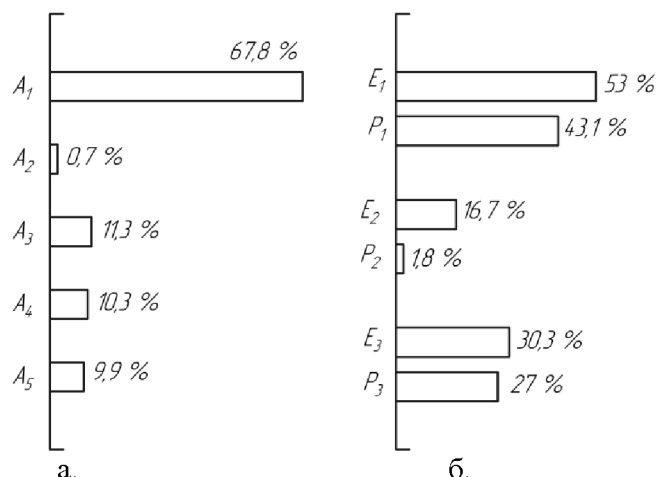


Рис. 3. Діаграми оціночного тепловиділення (а) і енергетичного теплового вкладення (б) в зоні контакту зонда з досліджуваною поверхнею

Додатковим джерелом теплового випромінювання являється рухома консоль ( $A_3$ ), на вільному кінці якої розміщений зонд, а також деформація п'єзосканера ( $A_4$ ).

При терті зонда із зразком діелектричного характеру, відбувається накопичення електричного заряду на їх поверхнях, що також є причиною виникнення теплових полів ( $A_2$ ).

Крім того, частина роботи, що виконується для приведення елементів АСМ в рух (корисна робота: рух п'єзосканера  $P_1$ ; робота чутливого елемента  $P_2$ ; лазерне випромінювання, що подається на фотодетектор  $P_3$ ) втрачається і перетворюється в теплову ( $E_1, E_2, E_3$ ).

**Висновки.** Математичне моделювання процесу нагрівання окремих елементів вимірювального блоку АСМ, підтверджене рішенням системи диференціальних рівнянь (для нагріву: зрізаного конусного елемента (зонда); пластини невеликої товщини (зразка); пластини малої товщини (консолю); торцевої поверхні циліндра (п'єзосканера); сегменту сферичного елемента (вістря зонда)) з еквівалентною тепловою схемою, що дозволило зробити висновок про основні теплові втрати і енергетичний вплив в зоні контакту зонда з досліджуваною поверхнею.

Так, найбільше тепловиділення в зоні контакту виникає внаслідок тертя зонда об досліджувану поверхню і становить 67,8%, а максимальний тепловий внесок здійснює енергія, що подається на п'єзосканер.

#### Інформаційні джерела

1. Мікроскопія в нанотехнологіях: монографія / В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, О.В. Верцанова та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 260 с.
2. Поплавко Ю.М. Нанofізика, наноматеріали, нанoeлектроніка: навч. посіб. / Ю.М. Поплавко, О.В. Борисов, Ю.І. Якименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 300 с.
3. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.П. Гусев. – М.: Физматлит, 2007. – 415 с.
4. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури / Д.М. Заячук. – Л.: Львівська політехніка, 2009. – 580 с.
5. Лозовский В.Н. Нанотехнология в электронике / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. – М.: Лань, 2008. – 327 с.
6. Чижик С.А. Контроль качества субмикронных элементов интегральных микросхем, выполненных на кремниевых пластинах // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: сб. докл. X Междунар. конф., Минск, / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова – Минск: Беларус. навука, 2012. – С.363-373.
7. Кузнецова Т.А. Исследование методом атомно-силовой микроскопии износа поверхностей микроэлектромеханических систем // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: сб. докл. X Междунар. конф., Минск, / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова ;– Минск: Беларус. навука, 2012. – С.164-170.
8. Толстихина А.Л. Артефакты при АСМ-измерениях в воздушной среде: их источники и способы устранения // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: сб. докл. IX Междунар. конф., Минск, / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова ; – Минск : Беларус. навука, 2010. – С.46-49.

9. Муравьева Т.И. Исследование морфологии поверхности контакта методом СЗМ после трибологических испытаний различных материалов // Методологические аспекты сканирующей зондовой микроскопии: сб. докл. IX Междунар. конф., Минск, г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова ; редкол.: – Минск : Беларус. навука, 2010. – С.237-242.
10. Основы теплоперенесения в элементах оптического приладобудування [Текст] : навч. посіб. // В.А. Ващенко, В.С. Антонюк, Г.С. Тимчик, та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 412 с.
11. Воронов С.А. Физическое материаловедение / С.А.Воронов, Л.П.Переверзева, Ю.М.Поплавко. – К.: НТУУ «КПІ», 2004. – 194 с.
12. Поплавко Ю.М. Фізичне матеріалознавство. Ч.2. Діелектрики / Ю.М.Поплавко, Л.П. Переверзева, С.О. Воронов, Ю.І. Якименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 390 с.
13. Бондаренко, М.О. Автоматизований комплекс для нанометричних досліджень / М.О. Бондаренко, Ю.Ю. Бондаренко // Фізика, електроніка, електротехніка: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, / Відп. за вип. С.І. Проценко. - Суми: СумДУ, 2016. - С. 200.
14. Патент № 91425, Україна МПК (2014.01) H05F 3/06 Білокінь С.А., Антонюк В.С., Бондаренко М.А., Бондаренко Ю.Ю. Спосіб видалення залишкового трибоелектричного заряду // Заявка у 2013 12656 від 29 .10.2013, Опубл. 10. 07. 2014 р. – Бюл. № 13.

<sup>1</sup>Тележинский Д.В., <sup>1</sup>Билокин С.О., <sup>1</sup>Андриенко В.О., <sup>2</sup>Антонюк В.С.

<sup>1</sup>Черкасский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

### **ЕНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ТЕПЛООБМЕН В ЗОНЕ КОНТАКТА ЗОНДА АТОМНО-СИЛОВОГО МИКРОСКОПА С ИССЛЕДУЕМОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*В статье изучаются механизмы энергетического обмена и преобразования, которые происходят в измерительном блоке атомно-силового микроскопа («консоль → зонд → исследуемый объект ← пьезосканер» и «лазерный позиционер → зонд → фотодетектор») в процессе исследования твердых поверхностей материалов. Составлена энергетическая схема работы прибора и проведено математическое моделирование процесса нагрева отдельных элементов измерительного блока атомно-силового микроскопа. Представлено решение эквивалентной тепловой схемы атомно-силового микроскопа, которая включает в себя механическое трение зонда об исследуемую поверхность, расходы на действие электромагнитных полей и электрического заряда в зоне действия датчика, расходы на изгиб и кручение консоли в процессе сканирования и расходы на кручение пьезосканера в результате работы прибора. Адекватность полученных математических моделей подтверждается решением эквивалентной тепловой схемы. Показано, что наибольшее тепловыделение в зоне контакта возникает вследствие трения зонда об исследуемую поверхность и составляет 67,8%, а максимальный тепловой вклад осуществляет энергия, которая подается на пьезосканер.*

**Ключевые слова:** атомно-силовой микроскоп, энергетический теплообмен, тепловые потери.

<sup>1</sup>D. Telezhynskyy, <sup>1</sup>S Bilokin, <sup>1</sup>V Andrienko, <sup>2</sup>V. Antonyuk

<sup>1</sup>Cherkassy State Technological University

<sup>2</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

### **ENERGY THERMAL EXCHANGE IN THE CONTACT ZONE OF AN ATOMIC-FORCE MICROSCOPE PROBE AND THE INVESTIGATED SURFACE**

*In the article the mechanisms of energy exchange and transformation, which occur in the measuring cell of atomic-force microscope («console → probe → researched object ← pyezoskaner» and «laser positioned → probe → photodetector») in the course of investigation of materials firm surfaces, are studied. The energy scheme of instrument performance was drawn out and mathematical modeling of heating process of separate elements of atomic-force microscope was conducted. Solution of equivalent heat balance diagram of atomic-force microscope, that includes mechanical friction of the probe over the investigated surface, expenses of electromagnetic field and electric charge action on the probe, expenses on the bend and torsion of the console in the scanning process and expenses on the piezoscanner torsion as a result of instrument performance have been presented. The adequacy of obtained mathematical models is confirmed by solution of equivalent heat balance diagram. It is shown that the most heat generation in the contact zone arises from probe friction against the investigated surface and is 67,8% and the maximum heat input provides energy supplied to piezoscanner.*

**Keywords:** atomic-force microscope, power heat exchange, thermal losses.