

напруги живлення, решту частину пускового режиму можна вважати квазіперіодичною. На підставі розрахунку сукупності періодичних режимів можна визначити для кожного значення ковзання величину ємності конденсаторів, яка необхідна для компенсації реактивної потужності. Запропонований у статті метод розрахунку дає змогу визначати закон зміни ємності компенсуючих пристроїв, необхідних для зменшення струмів у мережі, яка живить ШНВУ, у пускових режимах, що істотно зменшує втрати електроенергії.

1. Бак С.И., Читыховян С.П. *Электрификация блочно-комплектных установок нефтяной промышленности*. – М.: Недра, 1989. – 183 с. 2. Блантер С.Г., Суд И.И. *Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности: Учебник*. – М.: Недра, 1980. – 478 с. 3. Бойко В.С. *Розробка та експлуатація нафтових родовищ*. – К.: Реал Прінт, 2004. – 695 с. 4. Железко Ю.С. *Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии*. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с. 5. Лысенко В.Д. *Разработка нефтяных месторождений. Теория и практика*. – М.: Недра, 1996. – 366 с. 6. *Справочник по проектированию автоматизированного электропривода и систем управления технологическими процессами* / Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1982. – 416 с. 7. Фильц Р.В. *Математические основы теории электромеханических преобразователей*. – К.: Наук. думка, 1979. – 208 с. 8. Фильц Р.В., Онышко Е.А., Плахтына Е.Г. *Алгоритм расчета переходных процессов в асинхронной машине с учетом насыщения и вытеснения тока // Преобразователи частоты для электропривода*. – Кишинев: Штиинца, 1979. – С. 11–22.

УДК 621.77

Т.Б. Нікітіна

Українська інженерно-педагогічна академія,
кафедра систем управління

ЦИФРОВЕ РОБАСТНЕ УПРАВЛІННЯ ДВОМАСОВОЮ ОБМОТУВАЛЬНОЮ МАШИНОЮ

© Нікітіна Т.Б., 2007

Розроблено метод цифрового робастного управління двоканальним електроприводом обмотувальної машини з урахуванням пружних елементів як двомасової системи для стабілізації динамічних характеристик системи управління обмотувальною машиною. Наведено приклад динамічних характеристик такої системи.

This article deals with the questions of dynamic characteristics stabilization for winding machine control system with the help of robust control for winding machine with elastic elements as three– masses system. The example of dynamic characteristics for such system is given.

Вступ. Якість процесу нанесення обмотувальних стрічок значною мірою залежить від точності підтримки технологічних параметрів на заданому рівні. Для підтримки швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальної стрічки сучасні обмотувальні машини обладнують електромеханічними системами автоматичної підтримки цих технологічних параметрів на заданому рівні. Обмотувальна машина як об'єкт управління натягом обмотувальної стрічки і швидкістю обертання приводного механізму є нестационарним об'єктом, параметри якого змінюються в широких межах під час роботи. Найістотніша зміна параметрів обмотувальної машини відбувається в міру вироблення обмотувальної стрічки з кружка в процесі обмотки кабелів. При цьому змінюється момент інерції диска з обмотувальною стрічкою і радіус сходу обмотувальної стрічки з диска. У [1–3] виконаний синтез оптимальних регуляторів, спостерігачів і компенсаторів для трьох

радіусів розмотування диска з обмотувальною стрічкою – початкового, середнього і кінцевого. Природно, що ці регулятори, спостерігачі і компенсатори мають різні коефіцієнти підсилення для різних радіусів розмотування. Спроба використання компенсаторів, розрахованих для одного будь-якого радіуса диска стрічки, наприклад, середнього, початкового або кінцевого, для роботи системи керування у всьому діапазоні зміни радіусів розмотування призводить на визначених радіусах розмотування або до зайвого затягування часу перехідних процесів, або до підвищення коливальності аж до втрати стійкості [3]. Методи синтезу систем керування, засновані на мінімізації квадратичного критерію, чутливі до наявності неврахованих перешкод, збурювань як з боку зовнішніх сигналів, так і параметричних збурювань самих об'єктів. Тому в останнє десятиліття набули розвитку методи мінімізації H^∞ – норми, що слугує ефективним методом синтезу систем, нечутливих до різного типу впливам, а також за наявності невизначеностей в описі об'єкта управління [1–2]. Розглянемо побудову робастної системи управління для роботи у всьому діапазоні зміни радіусів розмотування диска зі стрічкою.

Мета роботи. Основною метою статті є синтез і дослідження динамічних характеристик робастної цифрової системи двоканального керування обмотувальною машиною по каналах регулювання швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальної стрічки.

Матеріал і результати дослідження. Розглянемо безперервну математичну модель обмотувальної машини як двомасової електромеханічної системи [3]. Введемо вектор стану $\vec{X}(t)$, компонентами якого є швидкість приводного механізму $V_n(t)$, швидкість приводного двигуна $V_d(t)$, сила пружності $F_y(t)$, швидкість зміни сили гальмового механізму $V_r(t)$, сила гальмового механізму $F_r(t)$, швидкість сходу стрічки з диска $V(t)$ і натяг $S(t)$

$$\vec{X}(t) = \{V_d(t), F_y(t), V_n(t), V_r(t), F_r(t), V(t), S(t)\}^T.$$

Введемо вектор керування $\vec{U}(t)$, компонентами якого є сила приводного двигуна $F_d(t)$ і напруга на гальмовому двигуні $U_T(t)$

$$\vec{U}(t) = \{F_d(t), U_T(t)\}^T.$$

Тоді рівняння стану системи набуде такого вигляду:

$$\begin{pmatrix} \dot{V}_d \\ \dot{F}_y \\ \dot{V}_n \\ \dot{V}_r \\ \dot{F}_r \\ \dot{V} \\ \dot{S} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{\beta_m}{m_d} & -\frac{1}{m_d} & \frac{\beta_m}{m_d} \\ C_m & & -C_m \\ \frac{\beta_m R_n^2}{J_n} & \frac{R_n^2}{J_n} & -\left(\frac{\beta_m R_n^2}{J_n} + \frac{\beta_n^*}{J_n}\right) \\ -K_5 & -K_6 & \\ 1 & & \\ \left(\frac{R^2}{J}\right) & -\frac{\beta^*}{J} & \frac{r^2}{J} \\ C_5 & & -C_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_d \\ F_y \\ V_n \\ V_r \\ F_r \\ V \\ S \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{m_d} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_g \\ U_T \end{pmatrix}$$

де m_d – маса рухомої частини двигуна; J_n та J – моменти інерції привідного механізму та диска з обмотувальною стрічкою; C_m та C_5 – коефіцієнти жорсткості вала привідного механізму та обмотувальної стрічки; β_m , β_n^* та β^* – коефіцієнти внутрішнього в'язкого тертя вала привідного механізму, самого привідного механізму та обмотувальної стрічки; R_n , R , r – радіуси привідного та гальмового механізмів та сходу стрічки із диска; λ – радіус, на який прикладається сила натягу стрічки; K_4 , K_5 , K_6 – коефіцієнти прямої та зворотних зв'язків гальмового механізму.

За цією безперервною системою можна побудувати дискретну модель, придатну для синтезу цифрової робастної системи управління. На підставі цієї математичної моделі розглянемо побудову цифрового робастного регулятора обмотувальної машини. Робастний регулятор являє собою зворотні зв'язки по повному вектору стану. Істотним недоліком керування по повному вектору стану є втрата астатизму регулювання, навіть якщо спочатку в об'єкті керування малися інтегруючі ланки. Розглянемо побудову цифрового робастного астатичного регулятора для обмотувальної машини. Основне призначення системи управління обмотувальною машиною полягає в підтримці швидкості обертання приводного механізму $\omega_{\Pi}(k)$ і натягу обмотувальної стрічки $S(k)$ на заданих рівнях V_3 і S_3 . Для побудови астатичного робастного регулятора введемо два інтегратори з перемінними стану $z_1(k)$ і $z_2(k)$, на входи яких подамо різницю між заданими значеннями швидкості обертання приводного механізму $V_3(k)$ і натягом обмотувальної стрічки $S_3(k)$ і фактичних значень швидкості приводного механізму $V_{\Pi}(k)$ і натягу обмотувальної стрічки

$$\begin{aligned} z_1(k+1) &= V_3(k) - V_{\Pi}(k), \\ z_2(k+1) &= S_3(k) - S(k), \end{aligned}$$

Введемо вектор регульованих координат:

$$\bar{y}(k) = \{V(k), S(k)\}^T,$$

вектор впливів, що задають

$$\bar{y}_3(k) = \{V_3(k), S_3(k)\}^T,$$

і вектор стану інтеграторів $\bar{z}(k) = \{z_1(k), z_2(k)\}^T$.

Тоді рівняння стану цифрового інтегратора набуде такого вигляду:

$$\bar{z}(k+1) = \bar{z}(k) + \bar{y}_3(k) - \bar{y}_0(k)$$

Розглянемо розширену систему, що включає вихідну систему і допоміжну змінну

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_0(k+1) \\ \bar{z}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_0 & 0 \\ -C & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_0(k) \\ \bar{z}(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_0 \\ 0 \end{bmatrix} \bar{u}(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \bar{y}_3(k)$$

Приймемо спочатку $\bar{y}_3(k) = \bar{0}$ і під час синтезу робастного регулятора враховувати не будемо. Розв'язавши для цієї системи задачу синтезу робастного регулятора, знайдемо робастне управління $\bar{u}(k) = -\tilde{F}\tilde{x}(k)$.

Запишемо для цієї системи рівняння стану, вектор контрольованих параметрів $\bar{z}(k)$ і вектор вимірюваних перемінних $\bar{y}(k)$ у стандартній формі, прийнятої в H^∞ теорії [3].

$$\begin{aligned} \bar{x}(k+1) &= A\bar{x}(k) + B_1\bar{w}_1(k) + B_2\bar{u}(k) \\ \bar{z}(k) &= C_1\bar{x}(k) + D_{11}\bar{w}_1(k) + D_{12}\bar{u}(k) \\ \bar{y}(k) &= C_2\bar{x}(k) + D_{21}\bar{w}_1(k) + D_{22}\bar{u}(k) \end{aligned}$$

Введемо компоненти вектора зовнішніх впливів $\bar{w}_1(k)$ у такому вигляді: задані значення швидкості обертання приводного механізму $V_3(k)$ і натягу обмотувальної стрічки $S_3(k)$, а також перешкоди $f_1(k), f_2(k)$ вимірювання помилок $\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму:

$$\varepsilon_1(k) = V_3(k) - V_{\Pi}(k),$$

і натягу обмотувальної стрічки

$$\varepsilon_2(k) = S_3(k) - S(k),$$

а також перешкоди $f_3(k), f_4(k)$ вимірювання змінних стану інтеграторів $z_1(k)$ і $z_2(k)$. При цьому вектор зовнішніх впливів прийме такий вигляд:

$$\bar{w}(k) = \{V_3(k), S_3(k), f_1(k), f_2(k), f_3(k), f_4(k)\}^T.$$

Компонентами вектора управління $\bar{u}(k)$ є сила приводного механізму $F(k)$ і напруга на вході гальмового механізму $u(k)$ так, що $\bar{u}(k) = \{F(k), u(k)\}^T$.

Компонентами вектора контрольованих змінних $\bar{z}(k)$ приймемо помилки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму і натягу обмотувальної стрічки, змінні стану $z_1(k)$ і $z_2(k)$ інтеграторів, а також керуючі впливи $F(t)$ і $u(k)$. При цьому вектор контрольованих змінних має такий вигляд:

$$\bar{z}(k) = \{\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k), z_1(k), z_2(k), F(k), u(k)\}^T.$$

Компонентами вектора вимірюваних змінних $\bar{y}(k)$ приймемо помилки $\varepsilon_1(k)$, $\varepsilon_2(k)$ регулювання швидкості обертання приводного механізму $V_{II}(k)$ і натягу обмотувальної стрічки $S(k)$, які вимірюються з перешкодами $f_1(k)$, $f_2(k)$,

$$\varepsilon_{1u}(k) = \varepsilon_1(k) + f_1(k),$$

$$\varepsilon_{2u}(k) = \varepsilon_2(k) + f_2(k),$$

а також змінні стану інтеграторів $z_{1u}(k)$ і $z_{2u}(k)$, які вимірюються з перешкодами $f_3(k)$, $f_4(k)$

$$z_{1u}(k) = z_1(k) + f_3(k),$$

$$z_{2u}(k) = z_2(k) + f_4(k).$$

Тоді вектор $\bar{y}(k)$ вимірюваних змінних прийме такий вигляд:

$$\bar{y}(k) = \{\varepsilon_{1u}(k), \varepsilon_{2u}(k), z_{1u}(k), z_{2u}(k)\}^T.$$

Зауважимо, що фактично за допомогою матриць C , D_{11} D_{12} формуються “ваги” у критерії якості функціонування системи, по якому синтезується робастний регулятор. Причому, за допомогою матриці D_{12} в критерій вводиться вектор управління, а за допомогою матриць C і D_{11} формується помилка системи й обмежують змінні стану системи [4]. За допомогою матриці D_{21} формуються перешкоди вимірювання і, отже, ця матриця впливає на синтез робастного спостерігача. Для одержання прийнятних показників якості синтезованої системи у вектор контрольованих змінних $\bar{z}(k)$ необхідно включати помилку системи, змінні стану системи, який потрібно обмежувати, а також компоненти вектора управління $\bar{u}(k)$. Причому значення вагових матриць у критерії якості виконують матриці C_1 , D_{11} і D_{12} , за допомогою яких формується вектор контрольованих змінних $\bar{z}(k)$. Підбираючи значення цих матриць, можна забезпечити виконання заданих вимог з якості регулювання.

Синтез регулятора, який мінімізує H^∞ -норму, зводиться до розв’язання двох рівнянь Ріккати [3] з управління

$$A^T X_\infty + X_\infty A - X_\infty (B_2 B_2^T - \gamma^2 B_1 B_1^T) X_\infty + C_1^T C_1 = 0$$

і з фільтрації

$$A Y_\infty + Y_\infty A^T - Y_\infty (C_2^T C_2 - \gamma^2 C_1^T C_1) Y_\infty + B_1 B_1^T = 0.$$

Як приклад на рис. 1 показані перехідні процеси швидкості обертання приводного двигуна (а), сили пружності (б) і натягу обмотувальної стрічки (в) системи управління паперообмотувальником ІЖ-32 з робастним регулятором за завданням на регулятор швидкості для трьох розглянутих радіусів розмотування. Сталі значення швидкостей приводного механізму і приводного двигуна дорівнюють заданому значенню швидкості. На рис. 2 показані перехідні процеси тих самих змінних стану за завданням на регулятор натягу обмотувальної стрічки. Стале значення натягу дорівнює заданому значенню, а сталі значення швидкостей обертання приводного двигуна і приводного механізму дорівнюють нулю.

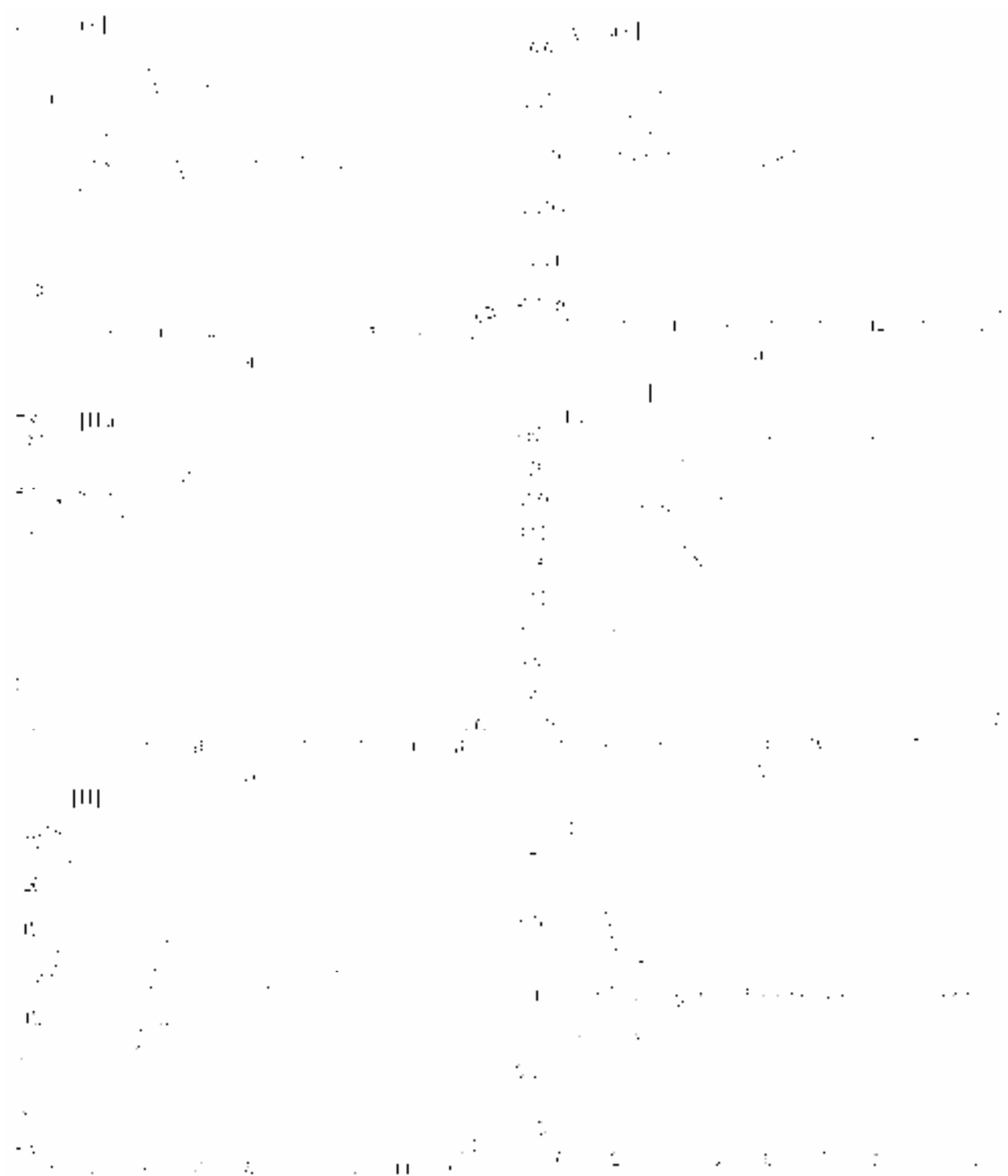


Рис. 1. Перехідні процеси швидкості обертання приводного двигуна (а); сили пружності (б) і натягу обмотувальної стрічки (в) системи управління паперообмотувальником ІЖ-32 з робастним регулятором для трьох радіусів розмотування за завданням на регулятор швидкості

Рис. 2. Перехідні процеси швидкості обертання приводного двигуна (а), сили пружності (б) і натягу обмотувальної стрічки (в) системи управління паперообмотувальником ІЖ-32 з робастним регулятором для трьох радіусів розмотування за завданням на регулятор натягу

Висновки. Отже, за рахунок введення двох підсумовуючих ланок у цифровій робастній системі управління забезпечується астатизм як по каналу регулювання швидкостей обертання

приводного двигуна і приводного механізму, так і по каналу регулювання натягу обмотувальної стрічки. Причому вплив каналів регулювання один на одного виявляється в перехідних режимах, а в сталих режимах регулювані змінні дорівнюють задаючим впливам. Застосування робастних регуляторів, розрахованих для середнього радіуса розмотування, дозволило одержати прийнятні показники якості для всього діапазону зміни радіусів розмотування обмотувальної машини у міру вироблення диска з обмотувальною стрічкою.

1. Никитина Т.Б. Синтез приближенно – оптимальных нелинейных систем цифрового управления технологическими процессами с аналитическими нелинейностями // Автоматизация производных процессов. – К., 2003. – № 2(17). – С. 62–65. 2. Никитина Т.Б. Синтез цифровых нелинейных многоканальных систем управления // Автоматизация производных процессов. – К., 2005. – № 2 (21). – С. 115–121. 3. Кузнецов Б.И., Никитина Т.Б., Коломиец В.В. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. – Харьков: УИПА, 2005. – 511 с. 4. Никитина Т.Б. Ограничение нагрузок в нелинейных многоканальных системах с оптимальным управлением // Технічна електродинаміка: Темат. вип. Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 4. – К., 2006. – С. 90–92.

УДК 621.382

Р.А. Пеленський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ТЗЕ

СИМЕТРИЧНА СИСТЕМА РІВНЯНЬ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

© Пеленський Р.А., 2007

Симетрична система рівнянь електродинаміки слугує фундаментом, на якому розбудовуються математичні моделі усереднених полів наноструктур. Вона враховує подвійні шари електричних та магнітних зарядів приповерхових шарів наноплівки.

A symmetrical system of the equation of electrodynamics serves as a basis for developing mathematical models of the averaged fields of nanostructures. This system takes into account the double layers of electrical and magnetic charges of the resurface regions of the film

Постановка проблеми. Під час математичного моделювання процесів струмоперенесення та хвилеутворення в мезарозмірних структурах виникла проблема необхідності врахування явищ захоплення носіїв заряду на поверхневі електронні стани і поверхневі магнітні рівні.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями у цій царині займалась велика група видатних українських вчених (В.Г. Барьяхтар, І.О. Вакарчук, Ю.К. Рудавський) і дуже багато провідних зарубіжних фахівців (Р. Керл, Х. Крото, Р. Смоли, Ч. Лібер, ...). Кращі результати удостоєні Нобелівських премій. Вперше в історії науки на наукові дослідження в царині нанонауки і нанотехнологій запропоновано виділити з держбюджету лише однієї країни – США на період 2007–2017 рр. трильйон американських доларів. У галузі нанонауки в США вже працює сто тисяч учених. На термін 7 років розроблена європейська програма розвитку нанонауки. Отже, для розвитку нанонауки і нанотехнологій створені надзвичайно сприятливі умови.

Задача наших досліджень полягає у врахуванні в рівняннях електродинаміки механізмів утворення подвійних шарів магнітних та електричних зарядів у приповерхневих областях тонких плівок, які впливають на характеристики мезарозмірних приладів.