

розряді в безводневих середовищах сталі 38ХМЮА показали, що їх можна змінювати в широких межах з допомогою технологічних параметрів процесу азотування.

Література

1. Арзамасов Б. Н. Ионная химико-термическая обработка сплавов / Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. З. Баумана, 1999. – 400 с.
2. Лахтин Ю.М. Азотирование стали / Ю.М. Лахтин, Я.Д. Коган. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.
3. Пастух И.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / Пастух И.М. – Харьков : НЕЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
4. Каплун В.Г. Ионное азотирование в безводородных средах / В.Г. Каплун П.В. Каплун. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 344 с.
5. Береговенко А.Ю. Влияние азотирования на демпфирующие свойства некоторых металлических материалов / А.Ю. Береговенко, В.Г. Каплун, А.П. Яковлев, И.М. Пастух // Проблемы прочности. – 1993. – № 8. – С. 73–77.
6. Матвіїшин П.В. Дослідження зносостійкості пар тертя в середовищі скло наповнених пластмас / П.В. Матвіїшин, В.Г. Каплун // Проблеми трибології (Promblems of Tribology). – 2009. – № 4. – С. 80–85.
7. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента / Владислав Борисович Тихомиров – М. : Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

Рецензія/Peer review : 27.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 4.12.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Каплун В.Г.

УДК 004.4:621.894

В.О. СЛАЩУК, О.О. СЛАЩУК
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ ПЛЯМ ФРЕТИНГ-КОНТАКТУ ДВОХ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ НА ОСНОВІ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В даній роботі представлений опис спеціалізованого програмного забезпечення, за допомогою якого можна проводити аналіз зображень плям фретинг-контакту будь-якої конфігурації. Програмне забезпечення дозволяє отримувати числові характеристики площі контакту без застосування додаткових вимірювальних пристроїв.

Ключові слова: програмне забезпечення, контакт, фретинг, контактна площа.

V. O. SLASHCHUK, O.O. SLASHCHUK
Khmelnytsky National University

ANALYSIS SPOTS OF FRETTING WEAR OF TWO CONTACT SURFACES BY USING SPECIALIZED SOFTWARE

Abstract – The aim of the research – to develop a convenient way to analyze the results of wear of contact surfaces. This paper presented a description of specialized software what help to analyze spots of fretting wear of two contact surfaces of any configuration. Software enables get numerical characteristics of contact area without using of additional measuring devices. Main difficulty of analyze is heterogeneity of destruction contact spot. The authors propose to conduct image segmentation of contact surface and separately calculate areas of destruction. Segmentation is dependent on the brightness of pixels. Thus, developed software makes it possible to analyze areas of damaged surfaces regardless of the type of contact and method of load.

Keywords: software, contact, fretting, contact plane.

Вступ

Актуальною проблемою для дослідників, що працюють над вирішенням задачі протидії фретинг-зношуванню та підвищенню зносостійкості контактуючих поверхонь є аналіз результатів руйнування в зонах контакту. Це питання піднімається в галузях машинобудування, авіа- і космічної техніки, трибології, геофізики, будівельної індустрії, біомеханіки, тощо.

Протидія руйнування поверхні конструкційних матеріалів під дією знакозмінних тангенційних навантажень лишається актуальним в області забезпечення цілісності конструкцій та вузлів деталей машин [1].

Однією з головних задач, яку ставлять перед собою науковці, визначення та аналіз ділянок контактної взаємодії. Найбільшою проблемою, яка присутня в процесі аналізу зруйнованих поверхонь – нерівномірне зношування окремих ділянок контактних площин. Це зумовлено хвилястістю та шорсткістю поверхонь, що призводить до руйнувань ділянок в окремих точках.

Розрізняють фактичну, контурну та номінальну площу контакту.

Номінальна контактна площа (НКП) – це площа по якій відбувається реальний дотик поверхонь.

Контурна контактна площа (ККП) – площа, на якій реалізується контакт мікронерівностей,

причому відстань між плямами контакту не перевершують базову довжину, відповідну даній поверхні.

Фактична контактна площа (ФКП) – площа, по якій відбувається контакт мікронерівностей, які утворюють шорсткість.

Методика досліджень

Для вирішення прикладних задач, де руйнування поверхневих шарів відбувається за рахунок знакозмінних тангенціальних навантажень, об'єктивно аналізується дві ділянки площини контакту – НКП та ККП.

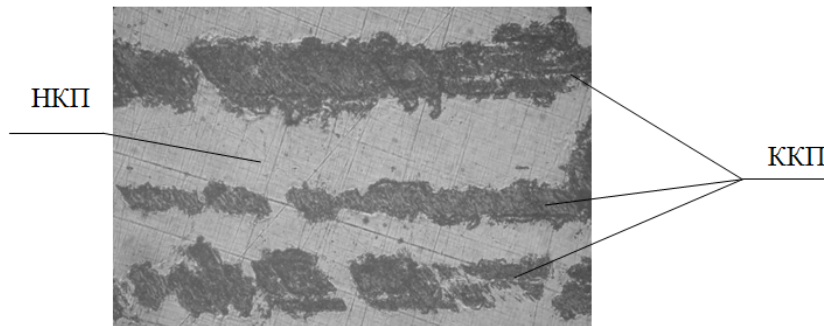


Рис. 1. Номінальна (НКП), контурна (ККП) контактна площа

ФКП завжди в багато разів менше НКП і змінюється від тиску, в той же час номінальна площа залишається постійною. З узагальненого закону тертя випливає, що збільшення фактичної площі контакту при тому ж нормальному тиску призводить до збільшення сили тертя, а отже, і коефіцієнта тертя [2].

Існує декілька методів визначення площини контакту – адгезійний, електричний, геометричний, оптичний, фізико-хімічний. З них найпоширенішими є адгезійний та оптичний.

В основі адгезійного методу лежить принцип нанесення тонких вугільних плівок шляхом розпилення вугільного порошку на поверхню у вакуумі [3]. Перевагою цього методу можна зазначити нанесення дуже тонкої плівки товщиною 0,03...0,04 мкм, що при збільшенні може реєструватися візуально за кольором. До негативних аспектів цього методу відноситься загальна складність створення плівки, що вимагає спеціалізованого устаткування [4], а також цей метод не дає точних значень при переміщенні однієї або обох поверхонь контакту при проковзуванні.

Оптичні методи дозволяють безпосередньо спостерігати формування та розширення зони контакту при зношуванні. Недоліком таких методів є необхідність використання одного (або двох) зразка з прозорого оптичного матеріалу для аналізу площин контакту в реальному часі [5].

Перевагами оптичного методу є можливість аналізувати зони контакту як при статичних режимах, коли діють лише нормальні навантаження, так і при взаємних переміщеннях поверхонь контакту (процеси фретинг-зношування в номінально-нерухомих з'єднаннях), коли взаємодія двох поверхонь, у наслідок шорсткості, завжди дискретна, тобто відбувається окремими плямами, що формують ККП [6].

Рисунок 2 наочно демонструє пляму фретинг-контакту кульки з площиною після $30 \cdot 10^5$ циклів. З рисунку видно, що руйнування контактної поверхні не рівномірне. Це ускладнює процес аналізу контактної поверхні.

Особливу задачею контактної взаємодії виступають випадки, коли необхідно врахувати локальне проковзування з тертям на поверхнях налягання, оскільки при цьому ні область локалізації просвітів, ні ділянок проковзування і зчеплення заздалегідь невідомі і залежать від прикладених навантажень.

Збільшення тангенційного навантаження приводить до зменшення зони зчеплення і при деякому значенні зсувного зусилля відбувається відносно зміщення всієї контактної поверхні. Оскільки фретинг спостерігається при амплітудах менших за елементарну площадку контакту, це призводить до структурної пристосовуваності поверхонь, тобто їх фрикційне руйнування буде відбуватись з перших циклів відносного руху [7].

Оптичний метод дуже зручно використовувати для переведення отриманих значень по площинах

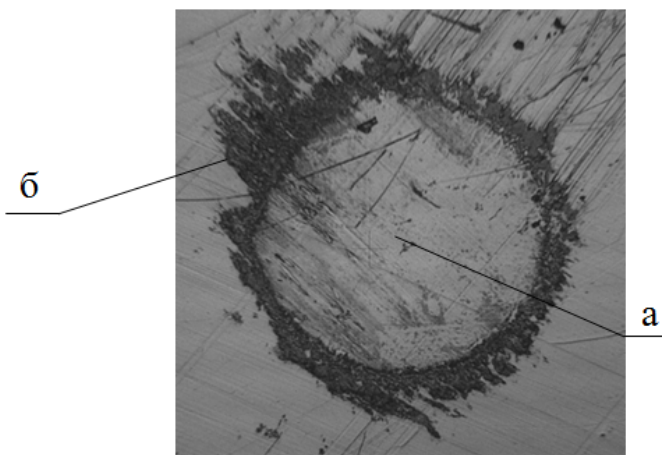


Рис. 2. Пляма контакту кулька-площина (ШХ-15 – СТАЛЬ 45) після $30 \cdot 10^5$ циклів:

а – центральна зона зчеплення; б – периферійна зона проковзування

контакту в звичні величини ($\mu\text{км}^2$). Для цього на об'єктив мікроскопа встановлюють лінзу, що розбита на області з визначеною стороною. Далі підраховують кількість областей в які потрапляє ділянка зразка, яка перебувала в контакті. Процес підрахунку областей досить складний і потребує вдосконалення.

Авторами пропонується сучасний метод, який дає можливість оптимізувати оптичний метод і полегшити аналіз окремих ділянок контакту.

В основі методу, для аналізу плям контакту, використовується цифрове зображення площини з видимими ділянками руйнування [8].

За своєю структурою оксиди металів, які виступають у якості елементів зношування мають темно-коричневе та чорне забарвлення і осідають по краях зони контакту, утворюючи контури плями. В середині цього контуру знаходиться ділянка зчеплення, що має світле забарвлення [9]. Разом ці ділянки формують НКП.

Виходячи з цього, для аналізу плями контакту на зображенні необхідно відокремити світлі частини від темних – провести сегментацію зображення на окремі ділянки, які утворюються набором пікселів, спільних за певним ознаками. Сегментацію зазвичай використовують для виділення на зображеннях меж об'єктів будь-якої складності.

Для моделей документа – RGB зображення представляється у вигляді накладання червоного, зеленого та синього каналу один на одного, утворюючи кольорове зображення. При цьому кольори змішуються адитивно наче промені світла. Це означає, що при накладанні наступного шару результат буде освітлюється. Чим світліший канал тим більше базового кольору міститься на зображенні.

Для визначення яскравості пікселя, при переводі кольорового зображення в монохромне, можна скористатися ваговими коефіцієнтами його кольору, провівши розрахунки за наступною формулою:

$$\text{Яскравість} = R \cdot 0,3 + G \cdot 0,59 + B \cdot 0,11$$

де R – значення червоного каналу, G – значення зеленого каналу, B – значення синього каналу.

Відтінки на цифровому зображенні характеризуються яскравістю пікселів. Цей показник знаходиться в діапазоні від 0 до 255. Найтемнішому відтінку відповідає показник зі значенням 0, найяскравішому – 255.

Програмний продукт реалізований об'єктно-орієнтовано мовою програмування C Sharp(C#) під платформу Microsoft .NET Framework.

Програма аналізує кожен піксель зображення і виокремлює його як частину контактної плями або як фон, використовуючи яскравість кожного пікселя.

Для того щоб виокремити фон від плями задається критерій сегментації, тобто значення яскравості до якої піксель визначається як темний, що є частиною плями контакту, та після якої він є світлим – фоном зображення. Також аналізуються світлі пікселі, що знаходяться між двома темними, які утворюють ділянку схоплення.

Провівши підрахунок кількості світлих та темних пікселів, програма перетворює їхню кількість в мікрометри,

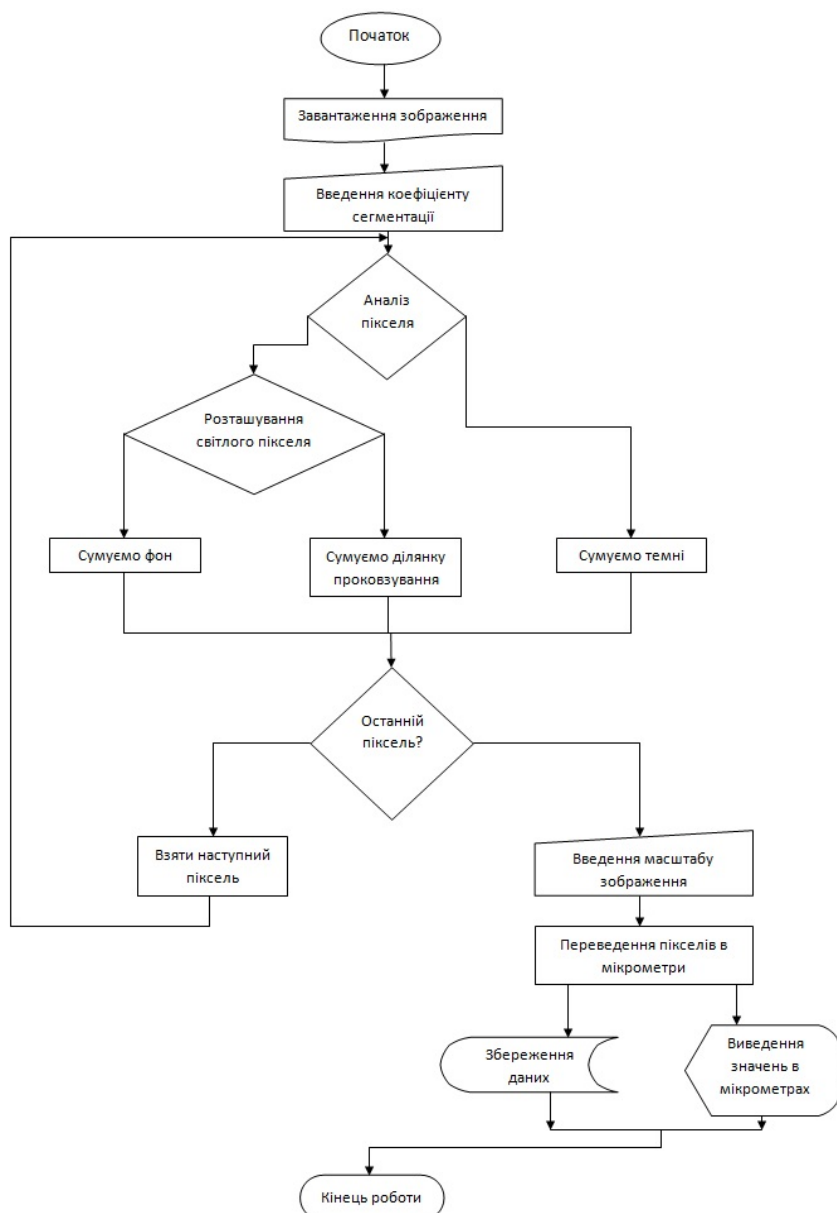


Рис. 3. Алгоритм роботи

використавши масштабування зображення, тобто визначає площу контакту (НКП), площу ділянки проковзування (ККП) та ділянку зчеплення.

Алгоритм роботи програми показаний на рисунку 3.

Провівши аналіз зображення програма дозволяє перевести значення пікселів в мікрметри. Для цього необхідно задати масштаб зображення (кількість пікселів в відповідній кількості мікрметрів), Після обрахунків з'являються значення зон контакту в мікрметрах квадратних (мкм^2). Також програма дозволяє зберегти отримані значення в файл з розширенням .txt.

На рисунку 4 показаний інтерфейс програми.

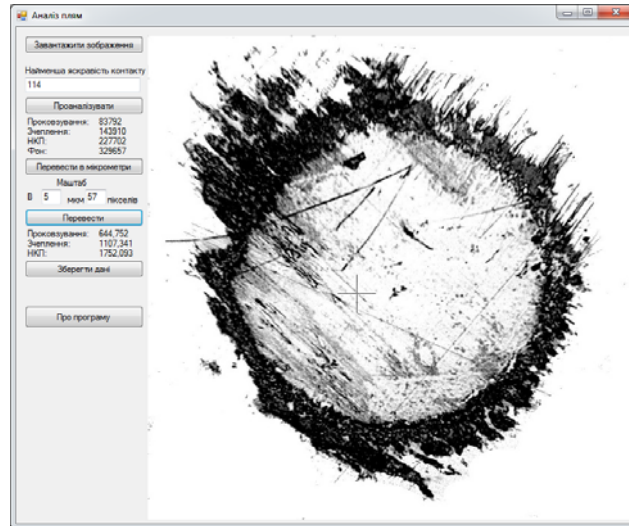


Рис. 4. Інтерфейс програми

Проаналізувавши наступні плями контакту, рисунок 5, були отримані результати:

- 1) для першого зображення площа проковзування склала $1728,550 \text{ мм}^2$, площа ділянки зчеплення $4889,576 \text{ мм}^2$, номінальна контактна площа $6618,126 \text{ мм}^2$;
- 2) для другого зображення площа проковзування склала $4699,702 \text{ мм}^2$, площа ділянки зчеплення $3986,124 \text{ мм}^2$, номінальна контактна площа $8685,826 \text{ мм}^2$;
- 3) для третього зображення площа проковзування склала $2189,432 \text{ мм}^2$, площа ділянки зчеплення $4593,859 \text{ мм}^2$, номінальна контактна площа $6783,292 \text{ мм}^2$.

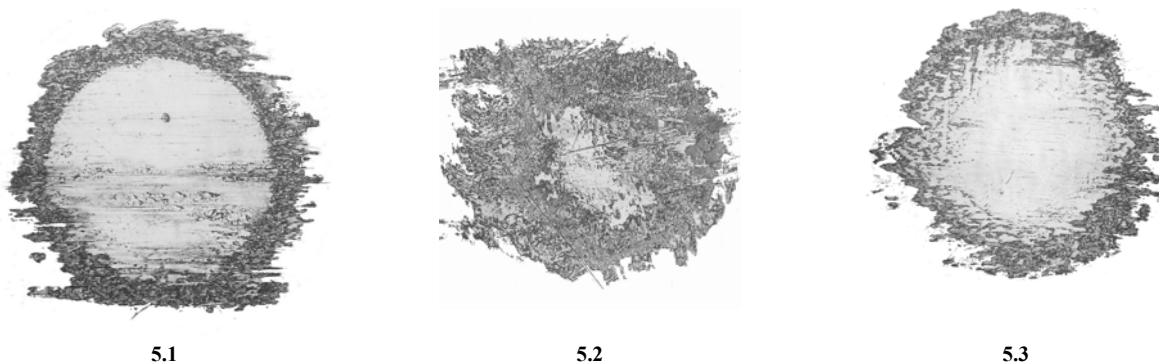


Рис. 5. Плями контакту, що були проаналізовані

Таким чином отримують точне значення площі контакту будь-якої форми, що не потребує використання додаткових засобів та пристроїв. Проведені дослідження доводять, що програмний продукт здатен аналізувати і проводити підрахунки площ ділянок проковзування, зчеплення та площі номінального контакту складних форм та різних за розміром.

Висновки

Програмний продукт реалізує аналіз плям контакту будь якої конфігурації та дозволяє отримувати числові характеристики площі контакту без застосування додаткових вимірних пристроїв або спеціалізованого обладнання. Це дає можливість аналізувати руйнування поверхонь незалежно від роботи вузла та способу навантаження.

Література

1. Ткачук М. М. Аналіз контактної взаємодії складнопрофільних елементів машинобудівних

конструкцій з кінематично спряженими поверхнями / М. М. Ткачук // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків : НТУ "ХПІ", 2011. – № 22. – С. 123–140.

2. Большая Энциклопедия Нефти Газа. Фактическая площадь – контакт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ngpedia.ru/id264327p1.html>.

3. Дёмкин Н.Б. Приближённый расчёт характеристик контакта деталей машин : дис. ... к.т.н. : 01.02.06 / Дёмкин Н.Б. – К., 1974. – С. 3–11.

4. Грязев В.М. Выбор метода определения фактической площади контакта поверхностей взаимодействующих деталей / В.М. Грязев // Известия. ТулГУ. Технические науки. 2013. – Вып. 10. – С. 26–27.

5. Методы исследования состояния поверхностного слоя [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://lib.chdu.edu.ua/pdf/monograf/4/4.pdf>.

6. Физика и механика полимеров. Основные положения теории трения твердых тел [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://proizvodim.com/osnovnye-polozeniya-teorii-treniya-tverdyx-tel.html>.

7. Шалапко Ю. І. Процеси фретинг-зношування та фретинг-втоми в номінально-нерухомих з'єднаннях деталей машин / Ю. І. Шалапко // Трибофатика : пр. симп., 23–27 верес. 2002 р., Тернопіль. – Т., 2002. – Т. 1. – С. 279–283.

8. Дацюк Ю.Р. Система мікрофотографування з використанням цифрової камери [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.lnu.edu.ua/faculty/geology/phis_geo/Datsyuk/sci.html.

9. Тіт В.А. Фретинг-корозія як один з основних видів зношування в гідромашинах, та її наслідки / В. А. Тіт // Проблеми тертя та зношування. – 2011. – № 56. – С. 142–146.

Рецензія/Peer review : 11.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 4.12.2015 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Ковтун В.В.

УДК 534.1(075.8)

Ю.С. КРУТІЙ

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ТОЧНИЙ РОЗВ'ЯЗОК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ВИМУШЕНИХ ПОЗДОВЖНИХ КОЛИВАНЬ СТЕРЖНЯ З ДОВІЛЬНИМИ НЕПЕРЕРВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Розглядаються вимушені поздовжні коливання стержня з довільною неперервною поздовжньою жорсткістю і довільною неперервною інтенсивністю розподіленої маси при гармонічному навантаженні, з урахуванням сил опору. Знайдено точний розв'язок відповідного диференціального рівняння коливань в частинних похідних. Як наслідок, в аналітичному вигляді отримано формули для динамічного переміщення та динамічної поздовжньої сили в довільному перерізі стержня.

Ключові слова: стрижень, безперервні параметри, поздовжні коливання, безперервна маса, безперервна жорсткість, точне рішення.

Y. S. KRUTII

Odessa State Academy of construction and architecture

THE EXACT SOLUTION OF THE DIFFERENTIAL EQUATION OF FORCED LONGITUDINAL VIBRATIONS OF A ROD WITH ARBITRARY CONTINUOUS PARAMETERS

We consider forced longitudinal vibrations of a core with any continuous longitudinal rigidity and any continuous intensity of distributed mass with a harmonic load, taking into account the forces of resistance. The exact solution of the corresponding differential equation of the vibrations in partial derivatives was found. As a result, an analytical look of formulas for the dynamic displacement and dynamic longitudinal force in any section of the core were derived.

Keywords: rod, continuous parameters, longitudinal oscillations, continuous mass, continuous rigidity, the exact solution.

Вступ. Серед коливальних систем особливої уваги заслуговують стержні зі змінними параметрами. Такі стержні часто застосовуються в літакобудуванні, суднобудуванні, містобудуванні, при будівництві телевізійних веж, димових труб, опор ліній електропередач і т.п. Тому дослідження коливань таких об'єктів є важливою науковою та практичною проблемою.

Однак в процесі досліджень часто виникають проблеми, зумовлені складністю побудови точних розв'язків відповідних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. З одного боку, зрозуміло, що саме точні розв'язки таких рівнянь несуть в собі інформацію якісного характеру і формують найбільш повну картину даного явища. З іншого боку, точні розв'язки в теорії коливань являють собою рідкісний виняток.

Отже тут ми стикаємось із відомою математичною проблемою – відсутністю універсального методу прямого інтегрування звичайних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. Але відсутність методу не означає, що такі рівняння взагалі не мають аналітичного розв'язку, як це стверджується в роботі [4]. Прикладом наявності аналітичного розв'язку може слугувати публікація [3]. В якості ще одного прикладу виступає дана робота.