



# ХАРКІВСЬКА ХІРУРГІЧНА ШКОЛА

№ 1(76) 2016

Національна академія медичних наук України

ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії імені В. Т. Зайцева НАМН України»

Харківський національний медичний університет

«Харківська хірургічна школа» — медичний науково-практичний журнал

Заснований у листопаді 2000 р. Виходить 6 разів на рік

**Засновник —**

ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії імені В. Т. Зайцева НАМН України»

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія КВ № 20183-9983ПР від 20.08.2013 р.

Журнал внесено до переліку фахових видань у галузі медичних наук (Постанова президії ВАК України № 1-05/06 від 16.12.2009 р.)

Рекомендовано вченою радою ДУ «ІЗНХ імені В. Т. Зайцева НАМН України» (Протокол № 20 від 21.12.2015 р.)

Редактор  
Н. В. Карпенко  
Коректор  
В. В. Теглинська  
Адміністратор  
К. В. Пономарьова  
Перекладач  
С. Ю. Басилайшвілі

Підписано до друку 05.01.2016 р.  
Формат 60×84 1/8.  
Папір офсетний. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 17,25.  
Обл.-вид. арк. 15,15. Тираж 1000 пр.

**Адреса редакції:**  
61018, м. Харків,  
в'їзд Балакірева, 1.  
Тел.: (057) 715-33-48  
349-41-99  
715-33-45

Видання віддруковане у ТОВ фірма «НТМТ» 61072, м. Харків, просп. Леніна, 58, к. 106 Тел. (057) 763-03-80

Розмножування в будь-який спосіб матеріалів, опублікованих у журналі, допускається лише з дозволу редакції

Відповідальність за зміст рекламних матеріалів несе рекламодавець

© «Харківська хірургічна школа», 2016

МЕДИЧНИЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ

Головний редактор **В. В. Бойко**

Заст. головного редактора  
І. А. Криворучко

Заст. головного редактора  
І. А. Тарабан

Відповідальний секретар  
К. В. Мішеніна

## РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

П. А. Бездетко  
М. М. Велігоцький  
М. К. Голобородько  
Т. Г. Григор'єва  
В. Б. Давиденко  
Б. М. Даценко  
В. Г. Дуденко  
О. О. Зайцев  
Ю. І. Караченцев  
В. В. Леонов  
В. М. Лісовий  
В. К. Логачов  
В. І. Лупальцов  
О. В. Малоштан  
О. О. Павлов  
М. В. Панченко  
Б. І. Пєєв  
В. І. Сипітий  
В. О. Сипливий  
В. І. Стариков  
С. В. Сушков  
А. К. Флорікян  
О. М. Тищенко  
Є. Д. Хворостов  
С. І. Шевченко

## РЕДАКЦІЙНА РАДА:

С. А. Андреевцев (Київ)  
М. М. Бондаренко (Дніпропетровськ)  
О. Ф. Возіанов (Київ)  
В. К. Гринь (Донецьк)  
М. Ф. Дрюк (Київ)  
Ю. П. Зозуля (Київ)  
І. В. Юффе (Луганськ)  
П. Г. Кондратенко (Донецьк)  
М. Г. Кононенко (Суми)  
Г. В. Книшов (Київ)  
А. М. Лизіков (Гомель, Білорусь)  
К. П. Павличенко (Донецьк)  
Г. П. Ричагов (Мінськ, Білорусь)  
Л. Г. Розенфельд (Київ)  
В. Ф. Саєнко (Київ)  
С. А. Сушков (Вітебськ, Білорусь)  
М. І. Тутченко (Київ)  
С. О. Шалімов (Київ) А. Т.  
А. Т. Щастний (Вітебськ, Білорусь)



## Зміст

## Contents

### ОРИГІНАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дифференцированный подход к лечению пациентов с флотирующими тромбозами глубоких вен нижних конечностей . . . . . 7

*С. А. Сушков, Ю. С. Небылицин, И. П. Климчук, С. С. Калинин*

Илеоцекальная гастропластика на реконструктивном этапе после комбинированной гастрэктомии . . . . . 15

*В. А. Лазирский*

Особенности миниинвазивных методик лечения больных спаечной болезнью брюшины. . . . . 20

*Д. А. Евтушенко*

Использование футлярной анестезии при проведении пенного склерозирования варикозно измененных вен нижних конечностей. . . . . 24

*Р. Р. Османов*

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Изменения ультраструктуры клеток слизистой оболочки толстой кишки крыс с моделированной венозной ишемией . . . . . 29

*В. В. Бойко, В. П. Невзоров, В. Ф. Омельченко, И. В. Криворотко, Е. С. Протченко*

Розрахунок трипружинної схеми протезу стопи . . . . . 34

*О. М. Семків*

### ПИТАННЯ ХІРУРГІЧНОЇ ІНФЕКЦІЇ

Эффективность антибиотикопрофилактики послеоперационных осложнений в ургентной абдоминальной хирургии . . . . . 38

*М. П. Захараш*

Характер микрофлоры раневого содержимого у больных с нагноением послеоперационной раны после холецистэктомии осложненного холецистита. . . . . 45

*Р. В. Бондарев, В. М. Иванцок, С. А. Кондратенко*

Способ лікування гнійної рани в умовах керованого підвищеного тиску аеродисперсною сумішшю. . . . . 48

*В. О. Шапринський, С. С. Скальський*

### ORIGINAL RESEARCHES

Differentiated approach to the treatment of patients with floating deep venous thrombosis of the lower limbs. . . . . 7

*S. A. Sushkov, Yu. S. Nebylitsin, I. P. Klimchuk, S. S. Kalinin*

The cecum ileocolic segment for the upper gastrointestinal tract reconstruction after combined gastrectomy . . . . . 15

*V. A. Lasirskiy*

Features of minimally invasive treatments of patients with adhesive disease of the peritoneum . . . . . 20

*D. A. Yevtushenko*

Using case anesthesia during foam sclerotherapy varicose veins of the lower limbs modified . . . . . 24

*R. R. Osmanov*

### EXPERIMENTAL RESEARCHES

Alterations in the ultrastructure of cells of the colonic mucosa of rats by means of simulated venous ischemia . . . . . 29

*V. V. Boyko, V. P. Nevzorov, V. F. Omelchenko, I. V. Krivorotko, E. S. Protsenko*

Calculation of three-spring diagrams to the foot artificial limb . . . . . 34

*O. M. Semkiv*

### QUESTIONS OF SURGICAL INFECTION

The effectiveness of antibiotic prophylaxis of postoperative complications in emergency abdominal surgery . . . . . 38

*M. P. Zakharash*

The nature of wound microflora in patients with postoperative wound suppuration after cholecystectomy for complicated cholecystitis . . . . . 45

*R. V. Bondarev, V. M. Ivantsok, S. A. Kondratenko*

A method for treating purulent wounds in the conditions of controlled increased pressure by aerodisperse mixture. . . . . 48

*V. A. Shaprinsky, S. S. Skalsky*



Морфологічна характеристика ран  
у хворих цукровим діабетом  
на фоні вакуум-терапії ..... 51  
*О. М. Бессєдін, К. В. Циганков, П. О. Гриценко*

Morphological characteristics  
of wounds in patients with diabetes  
mellitus during vacuum therapy..... 51  
*A. M. Besedin, K. V. Tsygankov, P. A. Gritsenko*

**ПИТАННЯ ХІРУРГІЇ  
ПАНКРЕАТОБІЛІАРНОЇ СИСТЕМИ**

**QUESTIONS OF SURGERY  
OF PANCREATOBILIARY SYSTEM**

Популяційний рівень мікрофлори жовчі  
за неінфікованого та інфікованого  
жовчного перитоніту ..... 58  
*О. В. Білоокій, Ю. Є. Роговий, В. В. Білоокій*

The population level  
of bile microflora in non-infected  
and infected bile peritonitis ..... 58  
*O. V. Bilo'okiy, Yu. Ye. Rohovyy, V. V. Bilo'okiy*

Сравнительная характеристика  
перекисного окисления липидов  
у больных с желчнокаменной болезнью,  
оперированных лапароскопическим  
путем с использованием различных  
методов гемостаза ..... 62  
*Н. В. Черкова*

Comparative characteristics  
of lipid peroxidation  
in patients with cholelithiasis  
after laparoscopic surgery  
using different methods  
of hemostasis ..... 62  
*N. V. Cherkova*

**ПИТАННЯ ТОРАКАЛЬНОЇ ХІРУРГІЇ**

**QUESTIONS OF THORACAL SURGERY**

Застосування мініінвазивних технологій  
в діагностиці та лікуванні новоутворень  
середостіння ..... 66  
*В. В. Бойко, А. Г. Краснояружський,  
В. В. Ткаченко*

Application of minimally invasive  
technologies in diagnostics and treatment  
of mediastinal neoplasms ..... 66  
*V. V. Boyko, A. G. Krasnojaruzhsky,  
V. V. Tkachenko*

До питання ранньої діагностики  
та лікування осумкованої емпієми плеври... 70  
*І. Д. Дужий, І. Я. Гресько, Ю. О. Міщенко,  
О. В. Кравець, Г. І. П'ятикоп*

Towards early diagnostics and treatment  
of encapsulated pleural empyema ..... 70  
*I. D. Duzhiy, I. Ya. Gresko, Yu. A. Mishchenko,  
O. V. Kravec, G. I. Pyatykop*

**ПИТАННЯ ОНКОЛОГІЇ**

**QUESTIONS OF ONCOLOGY**

Эндоваскулярные технологии  
в диагностике и лечении рака прямой кишки,  
осложненного кровотечением..... 74  
*Ю. В. Авдосьев, В. В. Бойко, Д. А. Пилюгин*

Endovascular technologies  
in diagnostics and treatment of rectal cancer  
complicated by bleeding..... 74  
*Yu. V. Avdosyev, V. V. Boyko, D. A. Pilyugin*

Стан системи антирадикального захисту  
у хворих на рак молочної залози ..... 79  
*А. Ю. Біла, М. В. Красносельський,  
С. М. Граматюк*

The state of antiradical protection  
in patients with breast cancer ..... 79  
*A. Ju. Bila, N. V. Krasnoselsky,  
S. N. Gramatiuk*

**ПИТАННЯ ТРАВМАТОЛОГІЇ**

**QUESTIONS OF TRAUMATOLOGY**

Интрамедуллярный блокирующий  
остеосинтез при лечении ложных  
суставов костей предплечья..... 84  
*Д. Д. Битчук*

Intramedullary blocking  
osteosynthesis in the treatment  
of pseudoarthrosis of the forearm bones..... 84  
*D. D. Bitchuk*



Профілактики і лічення ускладнень  
поясничної мікродискотомії  
в віддаленому післяопераційному періоді  
при потрузіях і грижах поясничних  
міжпозвонокових дисків. . . . . 89  
*О. В. Рябов*

Prevention and treatment of complications  
of lumbar microdiscectomy  
in the late postoperative  
period in protrusions and hernias  
of lumbar intervertebral disc . . . . . 89  
*O. V. Ryabov*

**ПИТАННЯ ПОЛІТРАВМИ**

**QUESTIONS OF POLYTRAUMA**

Профілактика і лічення посттравматических  
ускладнень у постраждалих з тяжелою  
торакальною травмою . . . . . 97  
*В. І. Щербаков, М. В. Ісаєв*

Prevention and treatment of post-traumatic  
complications in patients with severe  
thoracic trauma . . . . . 97  
*V. I. Shcherbakov, M. V. Isaev*

Променева діагностика гемотораксу  
у пацієнтів із закритою травмою  
органів грудної клітки . . . . . 103  
*І. Б. Халтурник, В. В. Макаров,  
М. В. Секела, Ю. В. Іванова*

The radiological diagnostics  
of hemothorax in patients with closed  
injury of the chest . . . . . 103  
*I. B. Halturnik, V. V. Makarov,  
M. V. Sekela, Yu. V. Ivanova*

**ПИТАННЯ АКУШЕРСТВА  
ТА ГІНЕКОЛОГІЇ**

**QUESTIONS OF OBSTETRICS AND  
GYNECOLOGY**

Алгоритм діагностики внематочної  
беременності (Часть первая) . . . . . 108  
*М. В. Макаренко, Д. А. Говсєєв,  
Л. І. Мартынова, Т. В. Тян*

Diagnostic algorithm of ectopic pregnancy  
(Part one). . . . . 108  
*M. V. Makarenko, D. A. Govseev,  
L. I. Martynova, T. V. Tyan*

**ПИТАННЯ ШЕЛІПНО-ЛИЦЬОВОЇ  
ХІРУРГІЇ**

**QUESTIONS OF ORAL  
AND MAXILLOFACIAL SURGERY**

Епідеміологія травматичних переломів  
нижньої щелепи в період з 2005 по 2014 р.  
за матеріалами клініки кафедри. . . . . 112  
*А. В. Рибачук, Р. О. Мамонов, В. О. Маланчук*

Epidemiology of traumatic mandibular fractures  
in the period from 2005 to 2014 by the clinic  
department materials . . . . . 112  
*A. V. Rybachuk, R. O. Mamonov, V. O. Malanchuk*

**ПИТАННЯ ОФТАЛЬМОЛОГІЇ**

**QUESTIONS OF OPHTHALMOLOGY**

Результати впливу прогностичних факторів  
на рівень внутрішньоочного тиску через  
12 місяців після операції імплантації  
мікродренуючого пристрою EX-PRESS  
в комбінації з факоемульсифікацією  
катаракти. . . . . 118  
*С. П. Медведчук, П. А. Бездетко,  
Г. Я. Пархоменко*

The results of the influence  
of prognostic factors on the level  
of intraocular pressure at 12 months  
after implantation device EX-PRESS  
in combination with cataract  
phacoemulsification . . . . . 118  
*S. P. Medvedchuk, P. A. Bezdetko,  
G. Ya. Parkhomenko*

**ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ**

Ендосонографія в діагностиці  
солідних та кістозних неоплазм  
підшлункової залози . . . . . 122  
*О. М. Криворук, Є. А. Крючина*

**LITERATURE REVIEW**

Endoscopic ultrasonography  
in diagnosis of solid  
and cystic pancreatic neoplasms . . . . . 122  
*O. M. Kryvoruk, Ye. A. Kryuchyna*

**ЗАПИСКИ ПРАКТИЧНОГО ЛІКАРЯ**

Эффективность применения  
рентгенэндоваскулярного гемостаза  
бронхиальных артерий при лечении  
легочного кровотечения. . . . . 128  
*В. В. Бойко, А. Г. Краснояружский,  
Ю. В. Авдосьев, Е. В. Пономарева,  
Д. В. Минухин*

**NOTES OF MEDICAL PRACTITIONER**

The effectiveness of endovascular  
hemostasis of bronchial arteries  
in the treatment  
of pulmonary hemorrhage . . . . . 128  
*V. V. Boyko, A. G. Krasnojaryuzhsky,  
Yu. V. Avdosev, E. V. Ponomarova,  
D. V. Minuhin*

Досвід застосування мінілапаротомій  
у хворих на холедохолітіаз  
з використанням холедохоскопії. . . . . 131  
*В. В. Бойко, О. М. Пісоцький, І. А. Кулик,  
В. В. Штогрін, М. В. Супличенко,  
Д. Ю. Захарченко, В. В. Терентьев,  
Б. В. Борзенко*

Experience of application of minilaparotomies for  
patients choledocholithiasis with the use  
of choledochoscopy. . . . . 131  
*V. V. Boyko, O. M. Pesotsky, I. A. Kulyk,  
V. V. Shtogrin, M. V. Suplichenko,  
D. Yu. Zakharchenko, V. V. Terentjev,  
B. V. Borzenko*

Комплексное лечение стенозов выходного  
отдела желудка . . . . . 135  
*Ю. В. Иванова, В. В. Макаров, И. А. Тарабан*

Integrated treatment of stenosis  
of the initial output of the stomach . . . . . 135  
*Yu. V. Ivanova, V. V. Makarov, I. A. Taraban*

Рідкісні причини гострої  
непрохідності тонкої кишки.  
Особливості клінічного перебігу . . . . . 138  
*В. В. Бенедикт*

A rare cause of acute obstruction  
of the small intestine.  
The clinical course. . . . . 138  
*V. V. Benedykt*

Типы ультразвуковых образов  
острого панкреатита  
и их прогностическое значение . . . . . 144  
*Ю. П. Гниденко, О. С. Цыганенко*

Types of ultrasonic images  
of acute pancreatitis and their  
prognostic value. . . . . 144  
*Yu. P. Gnidenko, O. S. Tsyganenko*

Клініко-лабораторні особливості та причини  
виникнення гіпокоагуляційного синдрому  
в невідкладній хірургії органів черевної  
порожнини . . . . . 149  
*Р. М. Козубович*

The clinical and laboratory features  
and causes of hypocoagulative  
syndrome in urgent surgery  
of abdominal organs. . . . . 149  
*R. M. Kozubovych*

Опыт ультразвуковой диагностики  
абсцессов печени в условиях  
больницы скорой помощи . . . . . 152  
*Д. С. Ефимов*

The experience of ultrasound  
diagnosis of liver abscesses  
in at emergency hospital . . . . . 152  
*D. S. Efimov*



|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| Прогнозування післяопераційних ускладнень та летальності на підставі мікробіологічного пейзажу перитонеального ексудату у хворих з розповсюдженим перитонітом при використанні інтраабдомінального сорбційно-трансмембранного діалізу . . . . . | 158 | Prediction of postoperative complications and mortality grounding on microbiological landscape of peritoneal exudate in patients with generalised peritonitis using prolonged intraabdominal sorption-transmembrane dialysis . . . . . | 158 |
| <i>С. О. Мунтян, В. П. Кришень, П. В. Лященко, Л. О. Чекан, В. І. Діденко, В. М. Грабчук, А. І. Недоступ</i>  |     | <i>S. O. Muntyan, V. P. Kryshen, P. V. Lyaschenko, L. O. Chekan, V. I. Didenko, V. M. Hrabchuk, A. I. Nedostup</i>   |     |
| Особенности послеоперационного периода после спленэктомии у гематологических пациентов . . . . .  | 162 | Features of the postoperative period after splenectomy in hematology patients . . . . .  | 162 |
| <i>Л. Н. Душик</i>  |     | <i>L. N. Dushik</i>  |     |
| Гелікобактерна інфекція у хворих на гострі шлунково-кишкові кровотечі . . . . .   | 165 | Helicobacter infection in patients with acute gastrointestinal bleedings . . . . .   | 165 |
| <i>І. Д. Дужий, В. О. Братушка, І. М. Медведєва, С. В. Харченко, І. М. Лохоня</i>   |     | <i>I. D. Duzhyi, V. O. Bratushka, I. M. Medvedeva, S. V. Kharchenko, I. M. Lokhonya</i>  |     |
| Особенности проведения неотложных оперативных вмешательств при осложненных формах геморроя . . . . .  | 169 | Features of the emergency surgical interventions in complicated forms of hemorrhoids . . . . .   | 169 |
| <i>К. Г. Нурлиев, Д. А. Кадыров, Б. Р. Маметкулиев</i>  |     | <i>K. G. Nurgaliev, D. A. Kadyrov, B. R. Mametkuliev</i>   |     |
| Застосування мініінвазивних методів хірургічного лікування хворих на ускладнені гострі псевдокісти підшлункової залози . . . . .  | 173 | The using methods minimally invasive surgical treatment of complications of acute pseudocyst of pancreas . . . . .   | 173 |
| <i>Н. М. Гончарова</i>  |     | <i>N. M. Goncharova</i>  |     |

О. М. Семків

 Національний університет  
 цивільного захисту України,  
 м. Харків

© О. М. Семків

## РОЗРАХУНОК ТРИПРУЖИННОЇ СХЕМИ ПРОТЕЗУ СТОПИ

**Резюме.** Запропоновано схему конструкції протеза стопи з пружинами та метод обчислення значень їх коефіцієнтів жорсткості залежно від кутів та довжин елементів конструкції, а також величин мас, зосереджених в вузлах конструкції.

**Ключові слова:** протез стопи з пружинами, лагранжіван, рівняння Лагранжа другого роду, програма Maple, метод Рунге-Кутти.

### Вступ

Для створення антропометричних протезів кінцівок необхідні наукові розрахунки, у тому числі і геометричне моделювання у часі дії протезних виробів. У даній роботі розглянуто схему геометричної моделі протезу стопи. Існує значна кількість розробок таких протезів [1, 2, 4, 5, 8], які відрізняються механічними схемами та видами електротехніки. Найбільш зручними виявляються протези у вигляді механічних конструкцій, де можливо врахувати індивідуальні антропологічні дані користувача.

Найбільш поширеними є механічні протези стопи з убудованим титановим адаптером, пружні властивості якого забезпечуються S-подібним елементом. Для посилення ефекту в форму «черевики» вводять спеціальний спінений матеріал. Для користувача налаштування такого протезу зводиться [1] до підбору S-подібних титанових елементів (вартість яких для пересічного користувача є високою).

Більш технологічними будуть протези стопи з пружинами. Для індивідуального налаштування антропометричних параметрів цього різновиду протезів необхідно мати комплект пружин. У роботах [2, 5] без розрахунків наведено ідею схеми протеза стопи з пружинними елементами (рис. 1). У роботах [4, 8] розглянуто

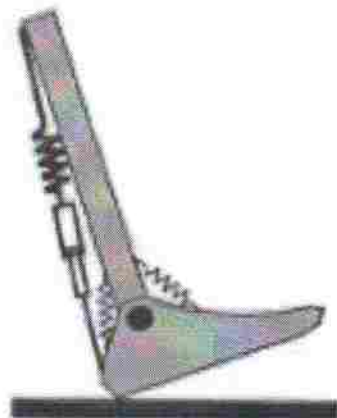


Рис. 1. Схема протеза з пружинами [2, 3]

складніші схеми механічних протезів стопи з пружинами. Наводяться розрахунки пропорцій елементів конструкції протеза з урахуванням сталих коефіцієнтів жорсткості пружин. З результатів робіт [1, 2, 4, 5, 8] слідує, що для реаліза-

ції антропометричних параметрів механічних протезів необхідно вміти розраховувати коефіцієнти жорсткості взаємопов'язаних пружин залежно від параметрів схеми конструкції. Це є невирішеним питанням розрахунку механічної моделі протеза стопи з пружинними елементами.

### Мета

Розробити схему конструкції протеза стопи з пружинами та метод обчислення значень їх коефіцієнтів жорсткості залежно від кутів та довжин елементів конструкції, а також величин мас, зосереджених в вузлах конструкції

### Матеріали та методи досліджень

Ми запропоували схему протеза стопи з пружинними елементами (рис. 2,а). Тут прийнято позначення:  $B_1D_1$ ,  $OD_1$ ,  $OE_1$  – пружини з коефіцієнтами жорсткості, відповідно,  $k_1$ ,  $k_2$  і  $k_3$ . Довжини лінійних елементів:  $OA_1 = d_1$ ;  $OB_1 = d_1/2$ ;  $OC_1 = d_1/4$ ;  $C_1D_1 = d_2$ ;  $C_1E_1 = d_3$ . Два кутівих параметри  $u$  і  $v$  вважаються узагальненими координатами. У точці  $C_1$  зосереджена маса  $m_1$ , а в точці  $A_1$  – маса  $m_2$ .

### Результати дослідження та їх обговорення

Для визначення динаміки руху протеза стопи необхідно визначити кінетичну і потенціальну енергію системи.

Формула для опису кінетичної енергії має вигляд:

$$K = \frac{m_1(0.5 \cdot OA)^2 \dot{u}^2}{2} + \frac{m_1 OA^2 \dot{u}^2}{6} + \frac{m_2(0.5 \cdot CE)^2 \dot{v}^2}{2} + \frac{m_2 CE^2 \dot{v}^2}{6}. \quad (1)$$

Для опису потенціальної енергії використаємо рис. 2, б, на якому, порівняно з рис. 2, а, виконано доповнення до «сталого» положення системи. Завдяки цьому не складно розрахувати вплив коефіцієнтів жорсткості пружин на деформування системи в цілому з урахуванням кутів  $u$  і  $v$  як узагальнених параметрів.

Формула для опису потенціальної енергії має вигляд:

$$P = P_1 + P_2 + P_{12}, \quad (2)$$

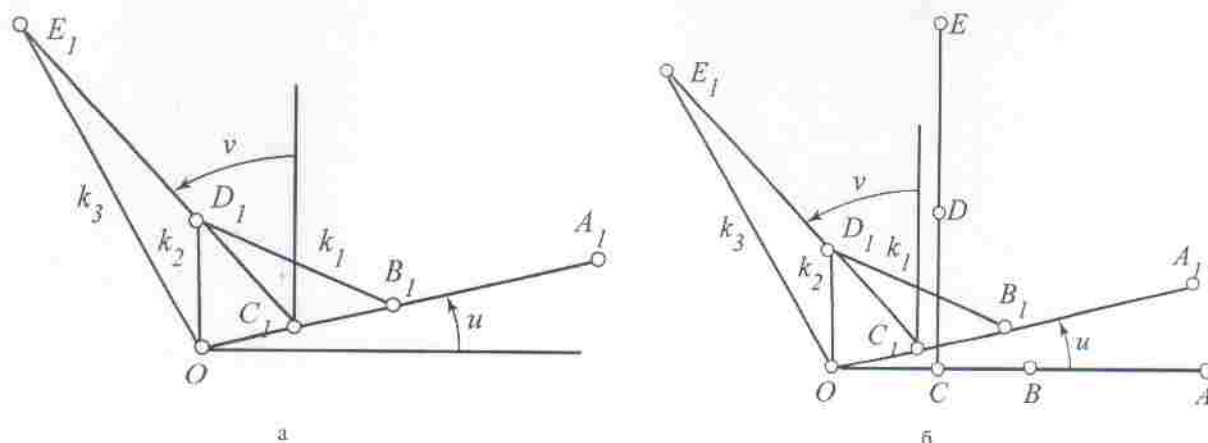


Рис. 2. Схема протеза стони з пружинними елементами

$$\begin{aligned}
 & \text{де } P_1 = -0,5m_1g \cdot OA \cdot \sin u; \\
 & P_2 = -0,5m_2g(OA \sin u + OE \sin v); \\
 & P_{12} = \frac{k_1(DA_1 - DA)^2}{2} + \frac{k_2(OD_1 - OD)^2}{2} + \frac{k_3(OE_1 - OE)^2}{2}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Тут } DB = \sqrt{(OC - OB)^2 + CD^2}; \quad OD = \sqrt{OC^2 + CD^2}; \\
 & OE = \sqrt{OC^2 + CE^2};
 \end{aligned}$$

$$DA_1 = \sqrt{(OC \cos u - CD \sin v - OB \cos u)^2 + (OC \sin u + CD \cos v - OB \sin u)^2};$$

$$OD_1 = \sqrt{(OC \cos u - CD \sin v)^2 + (OC \sin u + CD \cos v)^2};$$

$$OE_1 = \sqrt{(OC \cos u - CE \sin v)^2 + (OC \sin u + CE \cos v)^2};$$

За допомогою лагранжіану  $L=K-P$  [8] для визначення в наперед заданий момент часу взаємного положення елементів схеми протеза було складено систему рівнянь Лагранжа другого роду. Розв'язання системи здійснено чисельним методом Рунге-Кутти з початковими умовами  $u(0)=u_0, u'(0)=Du_0, v(0)=v_0, v'(0)=Dv_0$ .

Наведемо розрахунок коефіцієнта жорсткості  $k_3$  пружини  $OE_1$  (взаємопов'язаного з  $k_1$  і  $k_2$ ) залежно від інших сталих параметрів схеми протезу. Вважатимемо, що завдяки вибору знайденого значення  $k_3$  рух елементів схеми протеза має відбуватися не хаотично.

Оберемо початкові значення узагальнених координат  $u_0=-\pi/12; Du_0 = 0; v_0 = \pi/2 + \pi/20; Dv_0 = 0$ , а також величини параметрів (усі в умовних одиницях):

$d1 = 0,35$  — довжина відрізка  $OA_1$ ;  $d2 = 0,30$  — довжина відрізка  $C_1D_1$ ;

$d3 = 0,75$  — довжина відрізка  $C_1E_1$ ;

$m1 = 70$  — маса в точці  $C_1$ ;  $m2 = 0,4$  — маса в точці  $A_1$ ;

$k1 = 50$  — коефіцієнт жорсткості пружини  $B_1D_1$ ;

$k2 = 50$  — коефіцієнт жорсткості пружини  $OD_1$ ;

Наближено розв'язуємо систему рівнянь Лагранжа другого роду з обраними початковими значеннями узагальнених координат і будемо у фазовому просторі  $\{v, Dv, t\}$  одержану множинну точку, належних інтегральній кривій. Після сполучення послідовних точок відрізками одержимо наближене зображення інтегральної кривої. Це зображення залежатиме від певного значення «керуючого» параметра (у нашому випадку  $k_3$ ). При випадкових значеннях  $k_3$  у фазовому просторі  $\{v, Dv, t\}$  утвориться «плутана» інтегральна крива, її проекція на фазову площину  $\{v, Dv\}$  буде також «плутана» фазова траєкторія (рис. 3, а).

У разі зміни значень  $k_3$  має змінюватися і характер фазової траєкторії. При певному (критичному) значенні  $k_3$  характер фазової траєкторії зміниться на якісному рівні — вона перетвориться у «закономірну» криву (рис. 3, б). У динаміці спостерігатиметься ніби оптичний ефект «наведення на різкість» плутанини фазових траєкторій на площині  $\{v, Dv\}$ . Завдяки цій аналогії [6,7] знаходження критичних значень параметрів названо проекційним фокусуванням.

У розглянутому прикладі при  $k_1=50, k_2= 50$  критичне значення коефіцієнта жорсткості пружини  $OE_1$  буде  $k_3 = 110,2$ . Для порівняння на рис. 4, а наведені фазові траєкторії при  $k_1=100; k_2= 100$  для значення  $k_3=157,2$ . На рис. 4, б зображено теж саме при  $k_1=150; k_2=150$  для  $k_3=165,6$ .

Комп'ютерні експерименти показали, що для  $k_1=200$  і  $k_2= 200$  не можливо запобігти хаотичності руху елементів схеми протеза шляхом вибору значення параметра  $k_3$ . Крім того, з трьох розглянутих вище варіантів перевагу слід віддати варіанту з параметрами  $k_1=100; k_2= 100$  і  $k_3=157,2$  (рис. 4, а). Це пояснюється мінімальною площею фазової траєкторії, оціненою за кількістю пікселів, що її складають.



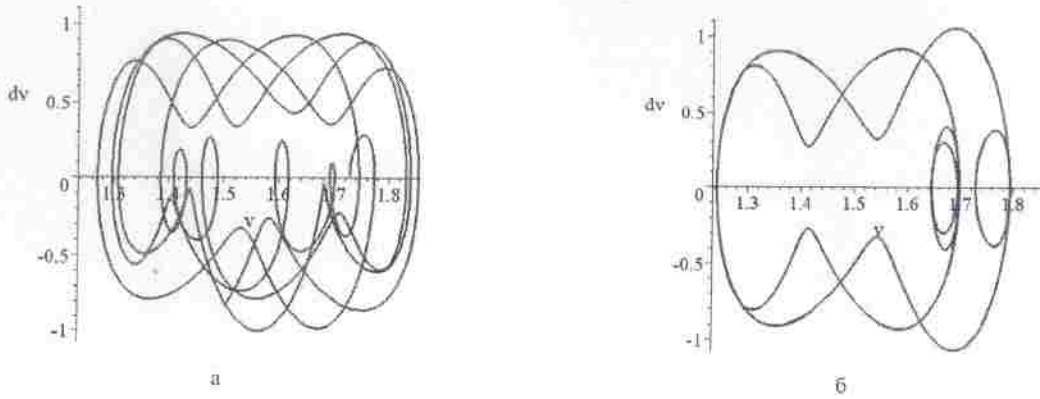


Рис. 3. Фазові траєкторії на площині  $(v, Dv)$  при  $k_1=50$ ;  $k_2=50$ : а) для одного з довільних значень  $k_3$ ; б) для значення  $k_3=110,2$

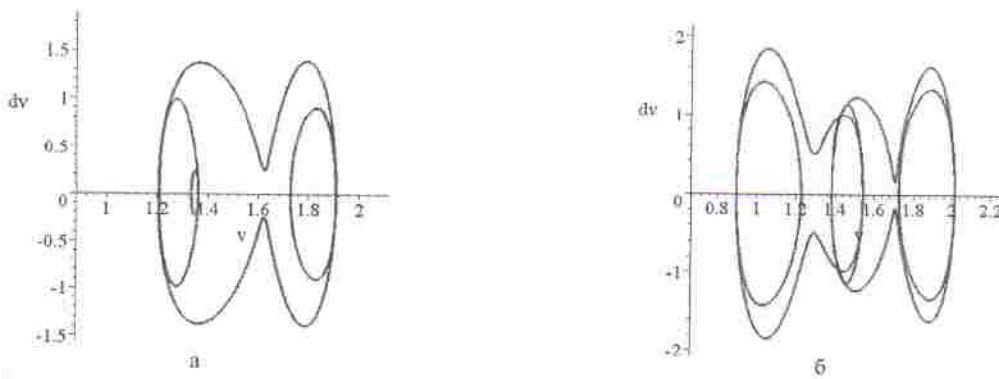


Рис. 4 - Фазові траєкторії на площині  $(v, Dv)$  а) при  $k_1=100$ ;  $k_2=100$ ;  $k_3=157,2$ ; б) при  $k_1=150$ ;  $k_2=150$ ;  $k_3=165,6$

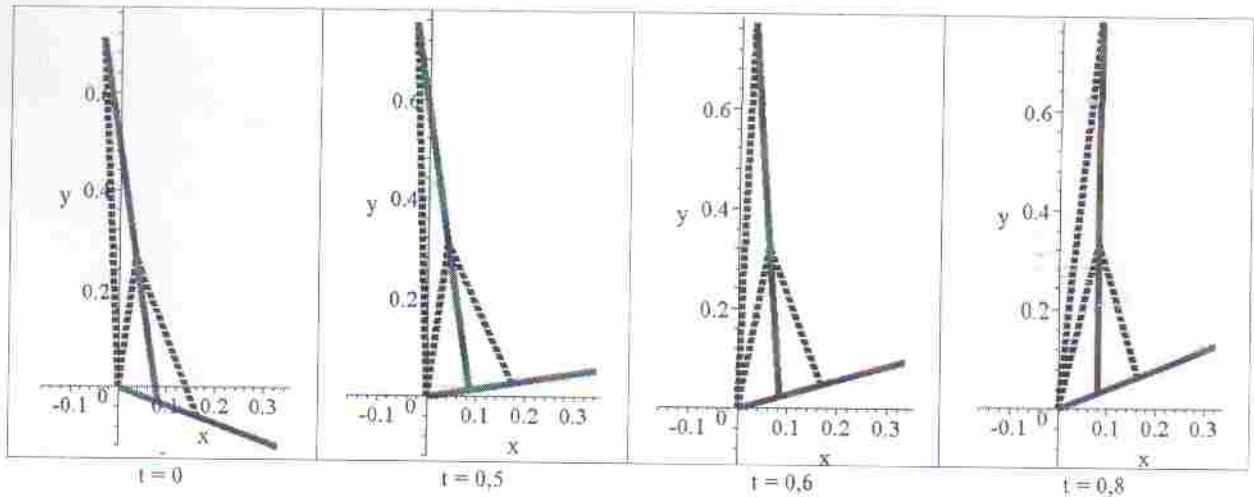


Рис. 5. Кадри руху моделі стопи в моменти часу  $t$  для коефіцієнтів жорсткості  $k_1=100$ ;  $k_2=100$  і  $k_3=157,2$ .

На рис. 5 зображено кілька анімаційних кадрів руху моделі стопи в певні моменти часу  $t$  для значень коефіцієнтів жорсткості  $k_1=100$ ;  $k_2=100$  і  $k_3=157,2$ . За допомогою анімаційного фільму можна наочно переконатися у тому, що урахування значення  $k_3=157,2$  у процесі обчислення кутів  $u(t)$  і  $v(t)$  при розв'язанні системи рівнянь

Лагранжа другого роду дозволяє одержати нехаотичні рухи елементів схеми.

Інтегральні криві у фазовому просторі  $\{u, Du, t\}$  матимуть вигляд «намотки» на циліндричну поверхню з твірною, паралельною осі  $Ot$ . Тому фазові траєкторії на площині  $\{u, Du\}$  будуть нерухомими при до-



вільному значенні керуючого параметра і тут не розглянуті.

### Висновки

Розроблений графічний комп'ютерний спосіб в загальному вигляді дозволяє моделювати коливання маятникових механічних систем з метою вибору параметрів, що забезпечують нехаотичний технологічний характер траєкторії коливань їх елементів. Спосіб базується на наближеному розв'язанні диференціальних рівнянь Лагранжа другого роду, визначенні проекції одержаної інтегральної кривої на фа-

зову площину, та обчисленні запропонованим методом проекційного фокусування критичного значень одного з параметрів.

Наведений метод дозволяє розрахувати механічну модель стопи з пружинними елементами шляхом визначення взаємоприйнятних значень коефіцієнтів жорсткостей пружин залежно від кутів та довжин елементів конструкції, а також величин мас, зосереджених в її вузлах. Подальші дослідження будуть пов'язані з встановленням допустимих меж зміни параметрів та ускладнення схеми протезу стопи.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Биомеханика стопы человека : материалы I Международной науч.-практ. конференции – Гродно: ГрГУ, 2008. – 172 с.
2. Патент US8597369. Авторы Hansen A, Steven A. Gard, Dudley S. Публикация від 3 грудня 2013 г.
3. Семків О. М. Метод визначення особливих траєкторій коливань вантажу 2-d – пружинного маятника / О. М. Семків // Вісник ХНАДУ. – 2015. – № 71. – С. 36–44.
4. Cherelle P. The AMP-Foot 2.0: Mimicking Intact Ankle Behavior with a Powered Transtibial Prosthesis [Електронний ресурс] / P. Cherelle, A. Mathys, V. Grosu // –Режим доступу <http://mech.vub.ac.be/multibody/topics/ProstheticDevices/AMP-Foot2.0/BioRob12.pdf>
5. Hansen A. Conceptual design of an ankle-foot prosthesis that automatically adapts to ramped walking surfaces [Електронний ресурс] / A. Hansen, S. Gard, D. Childress // JOP. – 2008. – Vol. 37. – Режим доступу <http://www.oandp.org/publications/jop/2008/2008-37.pdf>
6. Semkiv O.M. Computer graphics of the oscillation trajectories of 2d spring pendulum weight Stuttgart, Germany – ORT Publishing - European Applied Sciences: challenges and solutions 2015, С.63–70.
7. Xiao O., Xia S. Dynamics of the Elastic Pendulum [Електронний ресурс] / O. Xiao, S. Xia. – Режим доступу: [http://math.arizona.edu/~gabitov/teaching/141/math\\_485/Midterm\\_Presentations/Elastic\\_Pedulum.pdf](http://math.arizona.edu/~gabitov/teaching/141/math_485/Midterm_Presentations/Elastic_Pedulum.pdf)
8. Zeng Y. Design And Testing Of A Passive Prosthetic Ankle With Mechanical Performance Similar To That Of A Natural Ankle / Y. Zeng // A Thesis Submitted to the Faculty of the Graduate School. Milwaukee, Wisconsin: Marquette University, May 2013, 96 p.

### РАСЧЕТ ТРЕХПРУЖИННОЙ СХЕМЫ ПРОТЕЗА СТОПЫ

О. М. Семкив

**Резюме.** Предложена схема конструкции протеза стопы с пружинами и метод вычисления значений их коэффициентов жесткости в зависимости от углов и длин элементов конструкции, а также величин масс, сосредоточенных в узлах конструкции.

**Ключевые слова:** протез стопы с пружинами, лагранжиан, уравнение Лагранжа второго рода, программа Maple, метод Рунге-Кутты.

### CALCULATION OF THREE-SPRING DIAGRAMS TO THE FOOT ARTIFICIAL LIMB

O. Semkiv

**Summary.** A prosthetic foot design scheme with springs and the method of calculating the values of the stiffness coefficients depending on the angles and lengths of the design elements, as well as the values of the masses are concentrated in construction sites.

**Key words:** prosthetic foot with springs, Lagrangian, Lagrange equation of the second kind, Maple program, method of Runge-Kutta.