

Polish journal of science

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

№25 (2020)

VOL. 1

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief – J an Kamiński, Kozminski University

Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland

Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland

Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland

Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland

Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland

Frankie Imbriano – University of Milan, Italy

Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA

Remi Tognetti – Ecole Normale Supérieure de Cachan, France

Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway

Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden

Thea Huszti – Aalborg University, Denmark

Aubergine Cloez – Université de Montpellier, France

Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain

Enda Baciú – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033

email: editor@poljs.com

site: <http://www.poljs.com>

CONTENT

ARCHITECTURE

Aliyeva Sh.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF VARIOUS ECONOMIC ACTIVITIES TO DETERMINE INNOVATIVE MODELS OF TAX RATES3

Shcatula Y.

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF TECHNOLOGICAL ELEMENTS IN THE GROWING OF WINTER WHEAT12

Zabarna T.

THE IMPACT OF EXTREME NUTRITION ON THE INDICATORS OF SYMBIOTIC ACTIVITY OF SOY 6

BIOLOGICAL SCIENCES

Alyaviya O., Saidova D., Umrqulova S., Achilova J.

TOXICOLOGICAL SALIVA TICKS OF THE GENUS HAEMAPHYSALIS WARM-BLOODED ANIMALS 22

PHYSICAL SCIENCES

Polyakova R., Kovalenko A., Yudin I.

CONTINUOUS ANALOGUE OF THE NEWTON METHOD IN MATHEMATICAL MODELING OF NONLINEAR PARTICLE DYNAMICS PROBLEMS IN THE ACCELERATOR 25

Taimuratova L.,

Jenisbekova A., Sharabaeva A.

METHODS OF TEACHING NUCLEAR PHYSICS.....36

Taimuratova L., Isembai G., Mukhitova A.

FEATURES OF THE SECTION «MOLECULAR PHYSICS» IN PHYSICS..... 35

TECHNICAL SCIENCES

Bondar M.

MILK SAFETY AND QUALITY IN UKRAINE..... 39

Iklassova Zh., Shugaepov N., Karimova A., Suyngariev G., Akmurza B.

THE INFLUENCE OF RHEOLOGICAL PROPERTIES (VISCOSITY) OF SATURATED LIQUID (FLUID) TO THE FLUID FLOW 45

Shugaepov N., Karimova A., Suyngariev G., Iklassova Zh., Orynbassarov Zh.

THEORETICAL CALCULATIONS OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ACID AND THERMAL ACID TREATMENT OF THE NEAR-WELL ZONE OF THE FORMATION50

Essam E., Krichkovskaya L., Dubonosov V.

TEMPERATURE INFLUENCE ON THE PYROLYSIS PRODUCTIVITY OF VEGETABLE RAW MATERIALS54

Shevchenko S.

RESONANCE OF THE SWING SPRING.....57

бонизации последней, о чем свидетельствует повышение содержания углерода (с 65 до 89 %) и истинной плотности (с 1,4 до 1,53 г/см³). Объемная усадка при 650°C достигает 60%. Сравнивая результаты карбонизации в токе азота с экспериментальными данными, полученными в ходе пиролиза исходного сырья в вакууме, можно отметить, что в последнем случае не зависимо от природы обрабатываемых материалов в тех же температурных интервалах протекают аналогичные физико-химические процессы, однако характеризующиеся большей глубиной. Так, например, при термообработке САО в вакууме усадка материала к концу первой стадии процесса (350 °С) достигает 14,7% (в токе азота - 10,2 %), к концу второго этапа (650 °С) - 70,4% (в токе N₂ - 63,7 %), и, наконец, к концу процесса (900°C) потеря объема составляет 80,5% (в атмосфере N₂ - 76%). В общем случае экспериментальные данные таблиц 19-21 свидетельствуют о том, что выход твердого остатка при карбонизации углеродсодержащего растительного сырья в вакууме при конечной температуре пиролиза 900 °С составляет 23-30 % и 3335% для процесса в токе азота.

Усадка в определенной степени способна характеризовать механизм процесса пиролиза материала. Как свидетельствуют экспериментальные материалы, исходное сырье испытывает усадку с самого начала нагревания и в токе азота и в вакууме. Зависимость усадки от температуры четко выражается ломанной прямой с участками, имеющими разный угол наклона к оси абсцисс. Это свидетельствует, по нашему мнению, о том, что темп ее, характеризуя степень уплотнения, кристаллитов в углеродсодержащем материале при карбонизации, различен в разных температурных интервалах. Таким образом, в скорости усадки отражается смена процессов, протекающих в органических веществах, образующих растительное сырье при его пиролизе.

Сопоставление данных по усадке и выделению остаточных летучих позволяет сделать заключение, что их динамика изменения в ходе коксования прямо противоположны. Это свидетельствует о том, что величина объемной усадки обусловлена не только количеством выделившихся летучих веществ, но, по-видимому, и характером внутримоле-

кулярных превращений в органической массе материала в процессе термообработки и изотермической выдержки.

Выводы:

Выход карбонизатов из скорлупы орехов практически одинаков (41-42 %), однако он превосходит выход количества твердого остатка, образующегося при пиролизе древесины при прочих равных условиях, на 25 %. Полученный продукт исследовался в дальнейшем в качестве адсорбента

Список литературы

1. Артемов А.В., Пинкин А.В. Сорбционные технологии очистки воды от нефтяных загрязнений //Вода: химия и экология. – 2008, №1.-С.19-25.
2. Аюкаев Р.И., Пельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. Стройиздат. 1985. -120с.
3. Тарнопольская М.Г. Фильтрующие материалы для очистки воды от нефтепродуктов и критерии их выбора //Вода и экология: проблемы и решения. -2005. №3. – С.74-79.
4. Передерий М.А., Сиротин П.А., Казаков В.А. Хотуляева В.Н. Безотходная переработка бурых углей в пористые углеродные материалы различного назначения //Химия твердого топлива. 2002. №6. – С.19-27
5. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Степанов С.Г., Морозов А.Б. Адсорбция фенолов и нефтепродуктов на сорбционных материалах из бурого угля //Химия твердого топлива. 2004. №4. – С.32-39.
6. Еремина А.О., Головина В.В., Угай М.Ю., Рудковский А.В. Углеродные адсорбенты из древесных отходов в процессе очистки фенолсодержащих вод //Химия растительного сырья. 2004. №2. – С. 67-71
7. Багровская Н.А., Никифорова Т.Е., Козлов В.А., Лилин С.А. Сорбционные свойства древесных опилок. //Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т.14., №1. –С.1-7
8. Кнатько В.М., Кнатько М.В., Юлин В.А. Сорбент для очистки объектов окружающей среды. //Экологические системы и приборы. 2004. №12. – С. 38-40.
9. Фенелонов В.Б. Пористый углерод. Новосибирск. 1995. 514 р.

РЕЗОНАНС ХИТНОЇ ПРУЖИНИ

Шевченко С.М.

Асистент

Національний університет цивільного захисту України, м. Харків

RESONANCE OF THE SWING SPRING

Shevchenko S.

Senior Researcher

National University of Civil Defense of Ukraine, Kharkov city

Анотація

В роботі досліджено можливі стани резонансу хитної пружини. Тобто різновиду математичного маятника, який складається з точкового вантажу, приєднаного до невагомої пружини. Другий кінець пружини

фіксується нерухомо та забезпечується прямолінійність її осі. Розглядаються маятниковоподібні коливання пружини у вертикальній площині за умови, коли частота поздовжніх коливань відрізняється в кратну кількість разів від частоти поперечних коливань.

Abstract

Possible states of resonance of a swinging spring are investigated in the work. That is, a kind of mathematical pendulum, consisting of a point load attached to a weightless spring. The other end of the spring is fixed and the axis of the spring is straight. Pendulum-like oscillations of a spring in a vertical plane are considered, provided that the frequency of longitudinal oscillations differs many times from the frequency of transverse oscillations.

Ключові слова: хитна пружина, резонанс хитної пружини, поперечні і поздовжні коливання, маятниковоподібні коливання пружини.

Keywords: swinging spring, resonance of swinging spring, transverse and longitudinal oscillations, pendulum-like oscillations of spring.

Вступ. В роботах [1, 2] розглянуто підхід до розв'язання класу задач, коли в рамках певної динамічної системи її нелінійно зв'язані коливальні компоненти можуть обмінюватися енергією між собою. У роботах [3–6] наведено багато прикладів таких задач. При цьому досліджуються питання залежності дійства обміну енергією від параметрів керування системою. Проблема полягає в тому, щоб визначити загальну енергію системи й правильно оцінити енергетичні величини в часі, а також їх зв'язок для кожного з компонентів.

Для ілюстрації такого підходу використовують двовимірний пружинний маятник як механічну модель дослідження декількох нелінійно зв'язаних систем. Двовимірний пружинний маятник в ідеалізованому вигляді складається з «точкового» вантажу маси m , прикріпленого до кінця невагомої пружини жорсткістю k і довжиною h у ненавантаженому стані. Інший кінець пружини закріплений нерухомо. Утворена в такий спосіб коливальна система має рухатися тільки у вертикальній площині, при цьому зберігаючи вісь пружини прямолінійною. Точковий вантаж одночасно приймає участь у двох видах коливань: подібних пружині – коли переміщається вздовж прямолінійної осі пружини, і подібних маятнику – коли здійснює коливання сумісно з її віссю. Такий різновид коливальної системи в літературі одержав назву хитної пружини (swinging spring) [7].

За допомогою хитної пружини наочно ілюструється обмін енергіями між поперечними (маятниковими) і поздовжніми (пружинними) коливаннями. При цьому повинен враховуватися також вплив початкових умов ініціювання коливань. Особливе значення має дослідження умов виникнення стану резонансу хитної пружини. Тобто коли частота поздовжніх коливань відрізнятиметься в кратну кількість разів від частоти поперечних коливань. Крім розповсюдженого "класичного" випадку (резонансу 2:1) доцільно розв'язувати задачі з іншими значеннями відношення частот. Наприклад, виникає необхідність [8] побудувати траєкторії руху вантажу для випадків таких резонансів: 2:1, 7:3, 9:4, 11:2 та інших. Знайдені геометричні форми траєкторії руху вантажу хитної пружини з заданими параметрами допоможуть визначити характеристики розв'язку обраної задачі.

В роботах [3–6] наведена велика кількість можливих впроваджень на базі застосування ідеї ко-

ливань хитної пружини. Значна частка з цього переліку має безпосереднє відношення до порушення стійкості й керованості літаків або швидкохідних кораблів в процесі їх руху. При розрахунках переміщення динамічної системи у просторі (корабля або літака) необхідно враховувати обмін енергією між поперечними і шляховими (поздовжніми) коливаннями як компонентами системи. В більшості випадків частоти цих коливань приймають як співвідношення 2:1. Але для ретельніших досліджень доцільно розглядати інші відношення частот. Особливо це стосується досліджень динаміки коливань літаків типу «голландський крок» (Dutch roll) [9]. Такі коливання виникають у випадку великої поперечної стійкості літака в порівнянні з малою шляховою стійкістю. Тоді бічний рух літака характеризуватиметься взаємозалежними коливаннями за креном і ковзанням. Причому, коливання за ковзанням відстають по фазі від коливань за креном, що пов'язано зі слабкою шляховою й надмірною поперечною стійкістю. Крен літака є причиною виникнення ковзання літака, усунення якого відбувається із запізнюванням через слабку шляхову стійкість. Ковзання, яке при цьому виникає, провокує необхідність аварійного крену літака в протилежну сторону через підвищену поперечну стійкість, і процес повторюється. Для гасіння коливань на літаках застосовуються демпфери нишпорення, розрахунок яких доцільно виконувати із залученням поняття перекачування енергій хитної пружини у стані резонансу.

На стан резонансу хитної пружини ще мають впливати і початкові значення параметрів ініціювання коливань. В цьому можна переконатися, якщо стан резонансу інтерпретувати за допомогою траєкторії руху вантажу хитної пружини. Зазначимо – іноді і періодичної, знайденої серед можливих траєкторій руху [10]. Для її знаходження необхідно розробити універсальний спосіб синтезу множини траєкторій залежно від параметрів хитної пружини, а такою, що важливо, від параметрів ініціювання її коливань. І увагу слід зосередити на випадках, коли траєкторіями будуть періодичні криві.

Зважаючи на наведене, доцільними будуть дослідження, спрямовані на геометричне моделювання траєкторій руху вантажу хитної пружини, які відповідатимуть умовам заданого типу резонансу. Тобто умовам, коли частота вертикальних коливань "точкової" маси на хитній пружині буде в кратну кі-

лькість раз більшою за частоту горизонтальних коливань і буде врахована максимальна кількість параметрів коливання хитної пружини. У статтях [1, 2] наведено огляди робіт, присвячених тематиці хитних пружин – у тому числі і з врахуванням стану їх резонансу. Тому тут наведемо роботи, які доповнюють поняття резонансу. Зазначимо, що рух вантажу хитної пружини помітно складніший порівняно з вантажем математичного маятника, тому ефект від використання хитної пружини у якості механічної інтерпретації буде очікувано більш глибоким. Проведені лабораторні експерименти з хитною пружиною дають нове розуміння руху планетарних хвиль в атмосфері Землі [11, 12].

Розглянемо на вертикально розташованій площині з декартовими координатами Oxy коливальну систему типу "хитна пружина". Жорсткість пружини позначимо як k , через h позначимо довжину пружини без вантажу, а через H – довжину пружини з вантажем у рівноважному (вертикальному) стані.

Рівняння руху хитної пружини матиме вигляд:

$$m\ddot{x}(t) = -T \sin v; \quad (1)$$

$$m\ddot{y}(t) = -T \cos v - mg,$$

де T – натяг пружини, v – кут відхилення пружини від вертикалі, g – прискорення земного тяжіння. Тоді змінна довжина пружини буде функцією часу з очевидною фізичною інтерпретацією:

$$u(t) = \sqrt{x(t)^2 + [H - y(t)]^2}. \quad (2)$$

Враховуючи, що

$$T = k[u(t) - h]; \quad k[H - h] = mg; \quad (3)$$

$$\sin v = \frac{x(t)}{y(t)}; \quad \cos v = \frac{H - y(t)}{u(t)},$$

одержимо рівняння руху хитної пружини у вигляді [13]

$$\ddot{x}(t) + \omega_x^2 x(t) = \lambda x(t) y(t), \quad (4)$$

$$\ddot{y}(t) + \omega_y^2 y(t) = \lambda x(t)^2 / 2,$$

де

$$\omega_x = \frac{g}{H}; \quad \omega_y = \frac{k}{m}; \quad \lambda = k \frac{h}{H^2}.$$

Частота ω_x визначає коливання математичного «лінійного маятника», а значення ω_y описує частоту, з якою "точкова" маса на пружині коливається вертикально. Якщо $\lambda=0$, то рівняння (4) можна розв'язати незалежно, але маятникові й пружинні рухи будуть зв'язані через нелінійні умови [13]. Вичерпне дослідження всіх можливих рухів хитної пружини наведено в роботі [14] у термінах параметра μ , визначеного як

$$0 \leq \mu^2 = \frac{\omega_x}{\omega_y} \leq 1. \quad (5)$$

Проміжні випадки для μ були вивчені з використанням перетинів Пуанкаре і біфуркаційних діаграм. В роботі [14] надано описи для всіх комбінацій можливих рухів хитної пружини.

В роботі [22] на основі складеної програми проілюстровано параметричний резонанс хитної пружини, який проявляється в передачі енергії від вертикальних коливань вантажу до горизонтальних й навпаки. Показано, що швидкість і амплітуда передачі енергії істотно залежать від початкових умов. В роботі [23] проілюстровано "перетікання" енергії між подовжними і поперечними коливаннями точки на хитній пружині. Але в роботі відсутня програмна реалізація цього ефекту. В циклі робіт [24–28] наведено дослідження резонансу 2:1 хитної пружини та його зв'язку з траєкторією руху вантажу хитної пружини. Але автори обмежилися дослідженням лише одного варіанту резонансу. В роботах [29–31] наведено комп'ютерні анімації коливань відповідних хитних пружин, які ілюструють розглянутий спосіб.

Підводячи підсумок зазначимо, що відомі способи дослідження резонансу хитної пружини базу-

ються на тотожності типу $\mu\omega_x = \omega_y$, де

$$\omega_y = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{– частота вертикальних коливань, а}$$

$$\omega_x = \sqrt{\frac{g}{h}} \quad \text{– частота горизонтальних коливань}$$

деякої точки на пружині. Тут μ – коефіцієнт пропорційності між частотами, який, власне, і визначає тип резонансу.

Але при такому підході не враховуються ще два параметри хитної пружини, які суттєво впливають на її коливання. А саме, параметри у вигляді початкових відстаней точкового вантажу хитної пружини від координатних осей обраної системи координат, а також початкових швидкостей зміни положення вантажу у напрямку координатних осей. Контролювати вплив цих параметрів на стан резонансу зручно за допомогою графічного компонента коливань – траєкторії руху вантажу хитної пружини. Для впровадження необхідно визначити значення параметрів, які забезпечать періодичну траєкторію руху. Адже саме періодичну траєкторію доцільно використовувати при впровадженнях хитної пружини. В цьому полягає проблема досліджень, яка раніше не була розв'язана.

З наведеного аналізу випливає, що необхідно розробити універсальний спосіб синтезу траєкторії переміщення вантажу хитної пружини залежно від особливостей стану її резонансу. А саме, враховуючи не лише основні параметри хитної пружини (жорсткість, довжину у ненавантаженому стані та масу вантажу), але і початкові умови ініціювання

коливань.

Для визначення траєкторій вантажу хитної пружини за умови її резонансу необхідно дослідити феномен "перетікання" енергії під час коливань хитної пружини в стані її резонансу типу 2:1. Хитна пружина є найпростішим прикладом реалізації резонансу Фермі. Такий резонанс виникає тоді, коли періоди вертикальних і горизонтальних коливань будуть зв'язані наближеним співвідношенням $T_x=2T_y$. Або, використовуючи частоти незалежних коливань по вертикалі ω_y й горизонталі ω_x , співвідношенням $\omega_y=2\omega_x$. Тобто горизонтальні й вертикальні коливання починають ніби перетікати одне в інше. Енергія коливань буде перекачуватися з вертикальних коливань у горизонтальні й навпаки. При цьому, що є дивним, строго вертикальні коливання виявляються нестійкими.

Для підтвердження "перетікання" енергії між подовжніми і поперечними коливаннями точки на хитній пружині було складено комп'ютерну програму.

Наведемо три приклади, які ілюструють зазначений ефект. Для цього оберемо значення параметрів хитної пружини, які б наближено задовольняли стану її резонансу. Наприклад, $m=0,35$; $k=150$;

$$L_0=0,1. \quad \text{Тоді} \quad \omega_y = \sqrt{\frac{k}{m}} = 20,702;$$

$$\omega_x = \sqrt{\frac{g}{L_0}} = 9,905, \quad \text{звідки} \quad \omega_y/\omega_x=2,09. \quad \text{Тобто}$$

наближено умова виникнення резонансу типу 2:1 виконується. Повну довжину пружини оберемо $L=0,5$. Систему диференціальних рівнянь (4) розв'язуємо чисельно методом Рунге-Кутта. Графіки будуємо за допомогою 5000 одержаних точок.

Приклад 1. Систему рівнянь (4) розв'язуємо з такими початковими умовами: $x_0=0,1$; $Dx_0=0$; $y_0=-0,2$; $Dy_0=0$. Тобто для точки з початковими координатами руху $X(0)=0,1$; $Y(0)=-0,2$ і відсутністю надання їм швидкостей в напрямках координатних осей.

На рис. 1 наведено траєкторію руху точки з координатами $X(t)$, $Y(t)$ за час $T=35$. На рис. 2 зображено графіки відхилень вантажу для відповідних координат. На рис. 3 наведено графіки потенціальних енергій для коливань вздовж відповідних координат, а також графік добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями.

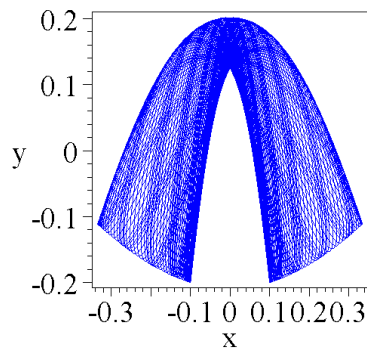


Рис. 1 Траєкторія руху точки для прикладу 1

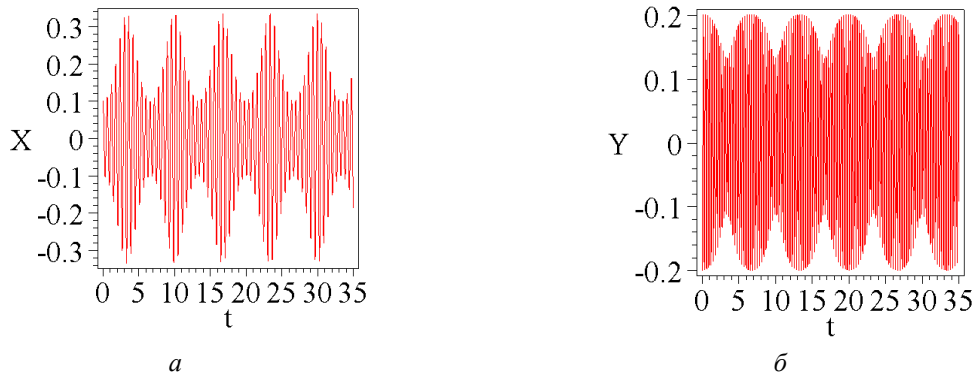


Рис. 2 Графіки відхилень вантажу:
а – для координати X; б – для координати Y

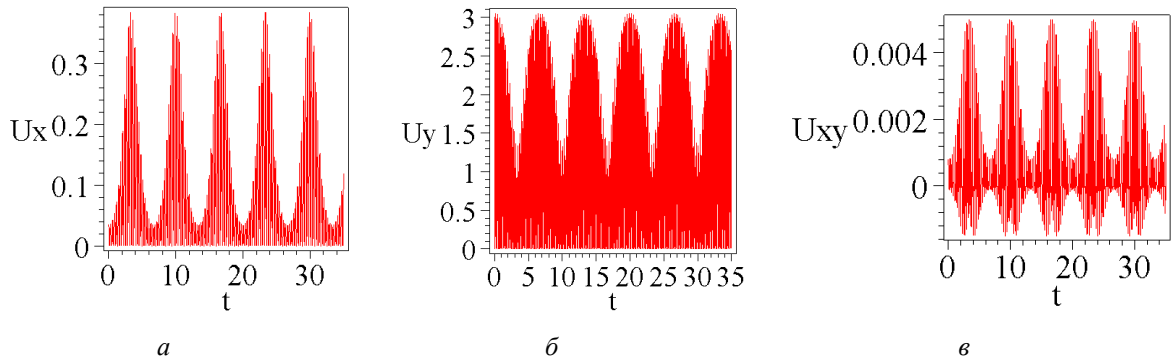


Рис. 3 Графіки потенціальних енергій для:
 а – коливань вздовж координати X; б – коливань вздовж координати Y;
 в – добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями

Приклад 2. Систему рівнянь (4) розв'язуємо з такими початковими умовами: $x_0=0.001$; $Dx_0=0$; $y_0=-0.2$; $Dy_0=0$. Тобто для точки, яка перед початком руху розташована "майже" на осі Oy.

ординатами $X(t)$, $Y(t)$ за час $T=35$. На рис. 5 зображено графіки відхилень вантажу для відповідних координат. На рис. 6 наведено графіки потенціальних енергій для коливань вздовж відповідних координат, а також графік добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями.

На рис. 4 наведено траєкторію руху точки з ко-

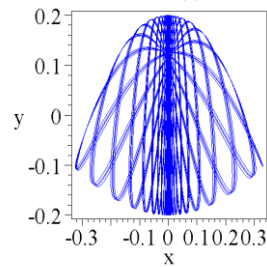


Рис. 4 Траєкторія руху точки для прикладу 2

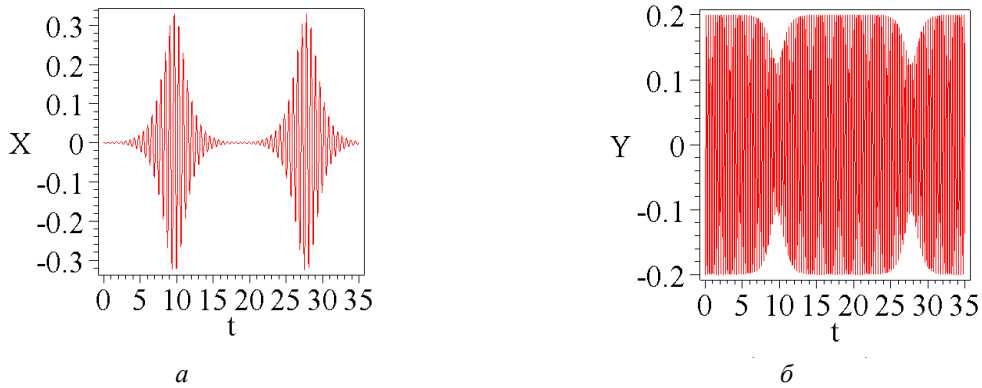


Рис. 5 Графіки відхилень вантажу:
 а – для координати X; б – для координати Y

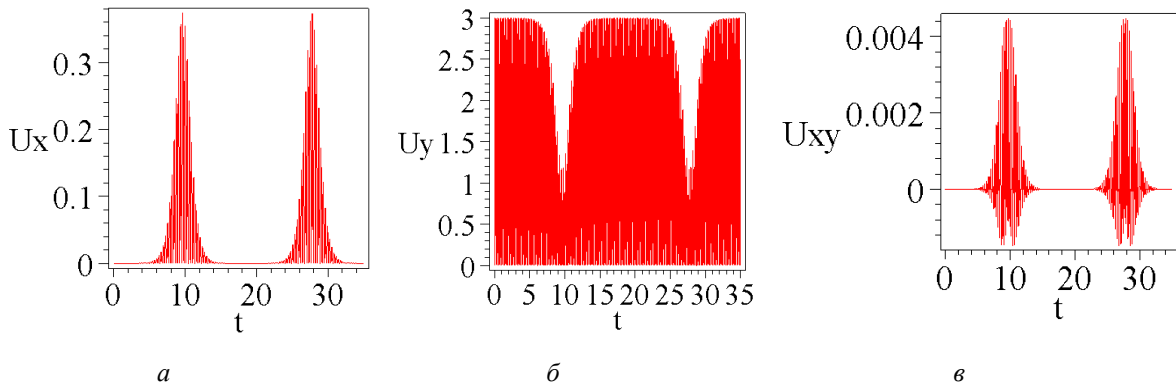


Рис. 6 Графіки потенціальних енергій для:
 а – коливань вздовж координати X; б – коливань вздовж координати Y;
 в – добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями

Приклад 3. Систему рівнянь (4) розв'язуємо з такими початковими умовами: $x_0=0$; $Dx_0=0,25$; $y_0=-0,2$; $Dy_0=0$. Тобто для точки, яка розташована на осі Oy , і якій для руху надали імпульс величиною $0,25$ умовних одиниць.

На рис. 7 наведено траєкторію руху точки з ко-

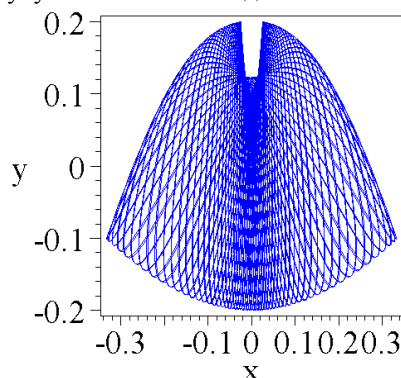


Рис. 7 Траєкторія руху точки для прикладу 3.

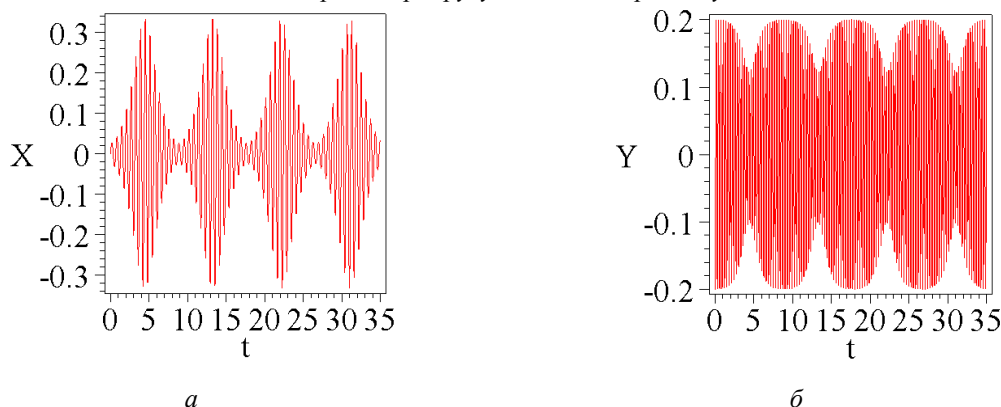


Рис. 8 Графіки відхилень вантажу:
а – для координати X ; б – для координати Y

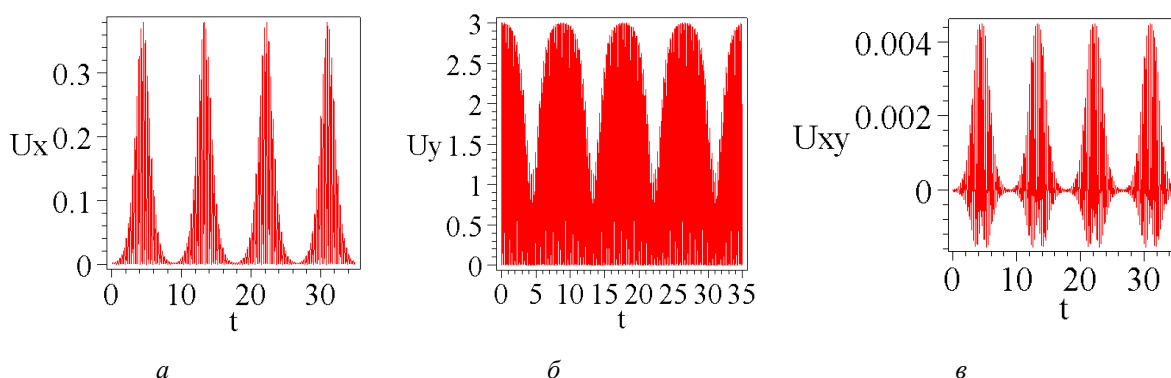


Рис. 9. Графіки потенціальних енергій для:
а – коливань вздовж координати X ; б – коливань вздовж координати Y ;
в – добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями

Звертаємо увагу на те, що коли вибір параметрів хитної пружини буде довільним, траєкторія руху її вантажу може не підпорядковуватися ніякому закону. Траєкторія руху може навіть заповнювати деяку область на площині. Далі розглянемо спосіб знаходження конкретних періодичних траєкторій руху вантажу. При цьому послідовність досліджень буде наступна.

ординатами $X(t)$, $Y(t)$ за час $T=35$. На рис. 8 зображено графіки відхилень вантажу для відповідних координат. На рис. 9 наведено графіки потенціальних енергій для коливань вздовж відповідних координат, а також графік добавки, яка породжує взаємодію між зазначеними коливаннями.

На першому етапі для обраного типу резонансу $\mu\omega_X = \omega_Y$ за допомогою складеної програми визначаються значення параметрів m , h і k , які б забезпечили цей резонанс. Нехай точковий вантаж має координати (X_0, Y_0) . Тоді критерій існування резонансу базується на зображенні двох графіків функцій $X(t)$ і $Y(t)$, які описують відстань точкового вантажу до відповідних координатних осей. Одержані графіки повинні мати таку особливість:

максимальні значення одного графіка мають досягатися при мінімальних значеннях другого графіка.

На другому етапі обирається один з параметрів (наприклад Y_0 або DY_0) у якості змінної величини. Далі у вигляді комп'ютерної анімації будується [1, 2] множина траєкторій руху вантажу, залежно від параметра Y_0 . В результаті обираються значення параметра Y_0 , які відповідають періодичним траєкторіям руху вантажу хитної пружини, зображених на відповідних кадрах анімації.

Ідею використання хитних пружин у якості механічної моделі доцільно розвивати для аналізу сучасних технологічних процесів як динамічних систем. Ці системи можуть складатися з нелінійно зв'язаних коливальних компонентів, які обмінюються енергією між собою.

Коливання хитної пружини доцільно розглядати у сукупності з геометричним компонентом – траєкторією руху її вантажу. У результаті чого з'явилася можливість характеризувати резонанс коливання хитної пружини за допомогою періодичних траєкторій, виділених з можливих рухів під час коливань вантажу хитної пружини.

Причому, для синтезу траєкторії необхідно використовувати не лише головні параметри хитної пружини, але й параметри початкових умов ініціювання коливань. Адже в цьому випадку найбільш ефективно відбувається кутове розгойдування хитної пружини за рахунок енергії цієї пружини. Розвиток випадкового поперечного збурення проходить до фіксованого значення амплітуди, оскільки запаси енергії пружини є вичерпними. Після досягнення такої амплітуди в ході коливань хитної пружини знову відбувається розтягування (або стискання) пружини.

Із зазначених позицій цікаво буде дослідити нелінійні зв'язані системи із взаємодіючими підсистемами на прикладах задач техніки. Важливу роль у будівельній механіці відіграє видозмінена модель хитної пружини – модель гнучкої нитки. Адже гнучка нитка – це своєрідна пружина, яка діє тільки на розтягнення. У типовій двовимірній моделі гнучка нитка одночасно може здійснювати поперечні коливання у своїй площині (аналог кутових коливань хитної пружини з вантажем) і маятникові коливання, що поєднують опорні закріплення (аналог вертикальних коливань).

Напрямок можливих досліджень можуть бути дрони високовольтних ліній, на стан яких впливають пориви вітру. При співвідношенні частот 1:2 зазначених коливань відбувається втрата динамічної стійкості, і тоді виникають поперечні коливання нитки, амплітуда яких може досягати досить великих значень. Зазначимо, що можливість виникнення таких явищ необхідно враховувати при розрахунку різноманітних конструкцій будівельної механіки. Наприклад, всяких мостів, вантово-балочних систем, канатних доріг, різноманітних антен тросових системи для втримання об'єктів, гнучких шлангів, тощо.

Висновки. Феномен "перетікання" енергії між подовжними і поперечними коливаннями точки на

хитній пружині показано на прикладі з параметрами: $m=0,35$; $k=150$; $h=0,1$; $L=0,5$. Тоді

$$\omega_Y = \sqrt{\frac{k}{m}} = 20,702; \quad \omega_X = \sqrt{\frac{g}{h}} = 9,905,$$

звідки слідує, що наближена умова $\omega_Y/\omega_X=2,09$ резонансу виконується. Для хитної пружини з параметрами $m=1.91$; $h=0.5$; $k=150$; $L=1.5$; $x_0=1.2$; $Dx_0=0$; $Dy_0=0$ у випадку резонансу

$\omega_Y / \omega_X = 2$ за допомогою одержаних побудов знайдено значення $y_0=0.6$; $y_0=0.5$; $y_0=0.39$, які відповідають періодичним траєкторіям вантажу.

Список літератури

1. Development of a method for computer simulation of a swinging spring load movement path / Kutsenko L., Semkiv O., Kalynovskiy A., Zapolskiy L., Shoman O., Virchenko G. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 1, Issue 7 (97). P. 60–73.
2. Synthesis and classification of periodic motion trajectories of the swinging spring load / Kutsenko L., Vanin V., Shoman O., Zapolskiy L., Yablonskiy P., Vasylyev S. et. al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2, Issue 7 (98). P. 26–37.
3. Energy distribution in intrinsically coupled systems: The spring pendulum paradigm / De Sousa M.C., Marcus F.A., Caldas I.L., Viana R.L. // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2018. Vol. 509. P. 1110–1119.
4. De Sousa M.C. de S., Marcus F.A.M., Caldas I.L.C. Energy distribution in a spring pendulum // Proceedings of the 6th International Conference on Non-linear Science and Complexity. 2016.
5. Energy Distribution in Spring Pendulums / De Sousa M.C., Marcus F.A., Caldas I.L., Viana R.L. // 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/316187700_Energy_Distribution_in_Spring_Pendulums
6. Булдакова Д.А., Кирюшин А. В. Модель качающегося пружинного маятника в истории физики и техники // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». 2015. Т. 6, № 2. С. 238–243.
7. Ganis L. The Swinging Spring: Regular and Chaotic Motion. 2013. URL: http://depts.washington.edu/amath/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/leah_ganis_pres.pdf
8. Sanders J.A., Verhulst F., Murdock J. Averaging Methods in Nonlinear Dynamical Systems. Springer, 2007. 434 p.
9. Колебания типа «голландский шаг» возникают, когда поперечная устойчивость самолёта велика, по сравнению с путевой устойчивостью. URL: <http://studepedia.org/index.php?vol=3&post=13634>
10. Li-Juan Z., Hua-Biao Z., Xin-Ye L. Periodic solution and its stability of spring pendulum with horizontal base motion // Acta Physica Sinica. 2018. Vol. 67, Issue 24.

11. Lynch P. The swinging spring: a simple model of atmospheric balance / J. Norbury, I. Roulstone (Eds.) // *Large-Scale Atmosphere-Ocean Dynamics. Vol. II: Geometric Methods and Models*. Cambridge University Press, 2002. P. 64–108.
12. Lynch P., Houghton C. Pulsation and precession of the resonant swinging spring // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 2004. Vol. 190, Issue 1-2. P. 38–62.
13. Kartashova E. *Nonlinear resonance analysis. Theory, Computation, Applications*. Cambridge University Press, 2010. 241 p.
14. Kuznetsov S.V. The Motion of the Elastic Pendulum // *Regular and Chaotic Dynamics*. 1999. Vol. 4, Issue 3. P. 3–12.
15. Клименко А.А., Михлин Ю.В. Нелинейная динамика пружинного маятника // *Динамические системы*. 2009. Вып. 27. С. 51–65.
16. Cross R. Experimental investigation of an elastic pendulum // *European Journal of Physics*. 2017. Vol. 38, Issue 6. P. 065004.
17. Lynch P. Resonant motions of the three-dimensional elastic pendulum // *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 2002. Vol. 37, Issue 2. P. 345–367.
18. Lynch P. On resonant Rossby-Haurwitz triads // *Tellus A*. 2009. Vol. 61, Issue 3. P. 438–445.
19. Cross-camera tracking and frequency analysis of a cheap Slinky Wilberforce pendulum / Devaux P., Piau V., Vignaud O., Grosse G., Olarte R., Nuttin A. // *Emergent Scientist*. 2019. Vol. 3. P. 1.
20. Berg R.E., Marshall T.S. Wilberforce pendulum oscillations and normal modes // *American Journal of Physics*. 1991. Vol. 59, Issue 1. P. 32–38. doi: <https://doi.org/10.1119/1.16702>
21. Köpf U. Wilberforce's pendulum revisited // *American Journal of Physics*. 1990. Vol. 58, Issue 9. P. 833–837. doi: <https://doi.org/10.1119/1.16376>
22. Dobrushkin V. Spring Pendulum. URL: <http://www.cfm.brown.edu/people/dobrush/am34/Mathematica/ch3/pendulum.html>
23. Иванов И. Колебания пружинного маятника. 2015. URL: https://elementy.ru/problems/1006/kolebaniya_pruzhinnogo_mayatnika
24. Richterek L. Dynamicke modelovani modelovani v programu gnu octave. 2007. URL: <http://muj.optol.cz/richterek/lib/exe/fetch.php?media=texty:dynmod.pdf>
25. Lepil O., Richterek L. Dynamicke modelovani. Slovanské gymnázium Olomouc, 2007. 161 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/40356351>
26. Havránek A. Pruzne kyvadlo – vysetrovani bifurkace metodami newtonovske mechaniky. URL: <https://web.vscht.cz/pokornp/h/PrzkvHerb2.doc>
27. Dvořák L. Pružné kyvadlo: od teoretické mechaniky k pokusům a zase zpátky // *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 2006. Vol. 51, Issue 4. P. 312–327.
28. Havránek A., Čertík O. Pružné kyvadlo // *Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*. 2006. Vol. 51, Issue 3. P. 198–216.
29. Куценко Л.М., Пікасов М.М., Запольський Л.Л. Ілюстрації до статті "Геометричне моделювання періодичної траєкторії вантажу хитної пружини". 2018. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/7637>
30. Куценко Л.М., Пікасов М.М., Васильєв С.В. Ілюстрації до статті "Класифікація елементів сім'ї періодичних траєкторій руху вантажу хитної пружини". 2019. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8658>
31. Куценко Л.М., Пікасов М.М., Шевченко С.М. Ілюстрації до статті "Моделювання резонансу хитної пружини на основі синтезу траєкторії руху її вантажу". 2019. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/8950>

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

№25 (2020)

VOL. 1

ISSN 3353-2389

Polish journal of science:

- has been founded by a council of scientists, with the aim of helping the knowledge and scientific achievements to contribute to the world.
- articles published in the journal are placed additionally within the journal in international indexes and libraries.
- is a free access to the electronic archive of the journal, as well as to published articles.
- before publication, the articles pass through a rigorous selection and peer review, in order to preserve the scientific foundation of information.

Editor in chief – J an Kamiński, Kozminski University

Secretary – Mateusz Kowalczyk

Agata Żurawska – University of Warsaw, Poland

Jakub Walisiewicz – University of Lodz, Poland

Paula Bronisz – University of Wrocław, Poland

Barbara Lewczuk – Poznan University of Technology, Poland

Andrzej Janowiak – AGH University of Science and Technology, Poland

Frankie Imbriano – University of Milan, Italy

Taylor Jonson – Indiana University Bloomington, USA

Remi Tognetti – Ecole Normale Supérieure de Cachan, France

Bjørn Evertsen – Harstad University College, Norway

Nathalie Westerlund – Umea University, Sweden

Thea Huszti – Aalborg University, Denmark

Aubergine Cloez – Université de Montpellier, France

Eva Maria Bates – University of Navarra, Spain

Enda Baci – Vienna University of Technology, Austria

Also in the work of the editorial board are involved independent experts

1000 copies

POLISH JOURNAL OF SCIENCE

Wojciecha Górskiego 9, Warszawa, Poland, 00-033

email: editor@poljs.com

site: <http://www.poljs.com>