

Івано-Франківський національний технічний університет нафти
і газу

Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний державний технічний університет

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

НІСОНСЬКИЙ ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ

УДК-534.121 – 047.58

ДИСЕРТАЦІЯ

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІБРОАГРЕГАТА З
ЛАНЦЮГОВО-РОЗГАЛУЖЕНИМ СПОСОБОМ
З'ЄДНАННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ**

Спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання та
обчислювальні методи
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело. _____ Нісонський В.П.

Науковий керівник

Шопа Василь Михайлович

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

Івано-Франківськ – 2017

ЗМІСТ

С.

АНОТАЦІЯ.....	2
ABSTRACT.....	8
ВСТУП	17

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ВІБРОУДАРНИХ СИСТЕМ	28
--	----

1.1 Огляд методів математичного моделювання віброударних процесів в механіці та теорії коливань	28
--	----

1.2 Математичне моделювання динамічного режиму роботи віброагрегатів для ливарного виробництва	30
---	----

1.3 Проблеми математичного моделювання віброагрегатів з ланцюгово-розгалуженим з'єднанням тведих тіл	36
---	----

1.4 Недоліки існуючих методів математичного моделювання динамічного режиму роботи промислових віброагрегатів	39
---	----

1.5 Постановка задачі дослідження	40
---	----

Висновки до розділу 1	42
-----------------------------	----

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАГАТОСЕКЦІЙНОГО ВІБРАЦІЙНОГО АГРЕГАТУ З ЛАНЦЮГОВО-РОЗГАЛУЖЕНИМ СПОСОБОМ З'ЄДНАННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ТІЛ	43
--	----

2.1 Дослідження динамічного режиму роботи вібраційних машин	43
---	----

2.2 Постановка задачі. Прийняті допущення та виведення рівнянь руху інерційних елементів багатосекційного віброагрегату	48
--	----

2.3 Виведення співвідношень для узагальнених сил для правих частин рівнянь руху інерційних тіл	66
---	----

2.4 Побудова загальної системи рівнянь з нелінійною правою частиною	80
2.5 Початкові умови для рівнянь руху інерційних елементів	85
2.6 Адекватність і точність математичної моделі динамічного режиму роботи багатосекційного віброагрегату	86
Висновки до розділу 2	87

РОЗДІЛ 3

ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВАНТАЖУ З РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВІБРОГРАТОК	89
3.1 Позначення і попередні зауваження	89
3.2 Умови контакту технологічного вантажу з робочими органами	92
3.3 Пружні зусилля в зоні контакту	96
3.4 Адекватність та точність моделі контакту	101
3.5 Пристрій для вибивки ливарних форм	101
3.6 Конструктивна схема пристрою для вивчення явища самосинхронізації в динамічних системах	104
Висновки до розділу 3	108

РОЗДІЛ 4

ЧИСЕЛЬНІ РОЗРАХУНКИ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ВІБРОАГРЕГАТУ	110
4.1 Рівняння для розрахунку динамічного режиму роботи математичної моделі з 3-ма твердими тілами.....	110
4.2 Розрахунок обертального моменту двигуна	114
4.3 Розрахунки та аналіз результатів обчислення.....	116
4.4 Дослідження динамічного режиму роботи віброагрегату з урахуванням сил в'язкого опору	122
4.5 Числові розв'язки рівнянь для моделі динамічного режиму роботи	

віброагрегату з урахуванням сил в'язкого опору	124
4.6 Дослідження усталеного динамічного режиму роботи віброгратки	126
4.7 Оцінка точності чисельних методів	130
Висновки до розділу 4	132

РОЗДІЛ 5

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ВІБРОГРАТКИ 31327	133
---	-----

5.1 Початкові умови для побудови імітаційної моделі динамічного режиму роботи	133
---	-----

5.2 Імітаційне моделювання динамічного режиму роботи для технологічного вантажу масою 2000 кг.....	134
--	-----

5.3 Імітаційне моделювання динамічного режиму роботи для технологічного вантажу масою 4000 кг	136
---	-----

5.4 Імітаційне моделювання динамічного режиму роботи для технологічного вантажу масою 6000 кг	137
---	-----

5.5 Імітаційне моделювання динамічного режиму роботи для технологічного вантажу масою 8000 кг при несинхронному русі дебалансних мас	140
--	-----

Висновки до розділу 5	143
-----------------------------	-----

ВИСНОВКИ	144
----------------	-----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	147
----------------------------------	-----

ДОДАТОК А.....	168
----------------	-----

ДОДАТОК Б	179
-----------------	-----

ДОДАТОК В	181
-----------------	-----

ДОДАТОК Г.....	183
----------------	-----

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження

Інтерес до використання вібраційних технологій в практичній діяльності людини зростає [1]. Машини і агрегати, в яких використовується вібрація, знаходять все більш широке використання. Вібраційні технології знаходять широке застосування в техніці, будівництві, машинобудуванні, медицині та інших галузях людської діяльності.

Дуже важливим є використання вібраційних технологій у промисловості, а саме в роботі віброагрегатів (віброударних машин) для ливарного виробництва, промислових віброударних інструментів, транспортних засобів і грохотів, вібромайданчиків для ущільнення бетонної суміші та інших механізмів, в яких крім вібраційних процесів відбувається ще й контактна ударна взаємодія між окремими частинами чи ланками. Важливість вивчення роботи таких віброударних машин обумовлюється тим, що у багатьох технологічних процесах віброударні явища є більш ефективними, ніж суто вібраційні. Використання віброударної дії вигідно тим, що дозволяє одержати значний результат з допомогою мінімальних технологічних засобів [2 – 3]. В багатьох технологічних процесах віброударні явища використовуються більш ефективно, ніж чисто вібраційні (будівельні машини, віброінструменти, транспортні засоби і грохоти, вібромайданчики для ущільнення бетонної суміші, машини для ливарного виробництва та інші).

Як і в теоретичних дослідженнях про вібрацію, так і в практичному її використанні є багато недосліджених моментів. З теорії і практики використання віброударної дії в системах і механізмах існує значна кількість публікацій. Узагальнення матеріалу

з теорії та практики вібрації та коливань зроблено в довіднику «Вибрации в технике», т.т. 1-6 [4 – 9]. Для деяких технологічних процесів віброударні режими є єдино можливі (вібровідбійний інструмент тощо). Вібрація виникає і при бурінні свердловин, але тут вона відіграє шкідливу роль, тому що вібрація приводить до руйнування інструмента (долота) і зниження техніко-економічних показників.

Таким чином, моделювання віброударних систем відіграє велику роль при конструюванні нових машин і агрегатів, а також при розрахунках їх роботи.

При математичному моделюванні віброударних систем та вибивних агрегатів треба враховувати, що ці моделі є суттєво нелінійні. На суттєву нелінійність таких систем звертали увагу такі дослідники, як Y.Rocard, В.О.Кононенко, С.С.Корабльов, І.І.Герєга, В.М.Шопа, І.С.Лозовий та інші. Тому для отримання чисельних результатів необхідно використовувати методи чисельного моделювання та реалізовувати їх на комп'ютері.

Значний вклад у моделюванні віброударних динамічних систем з використанням чисельних методів, а також методів комп'ютерного моделювання, внесли такі вчені: К.М.Рагульскіс, В.П.Франчук, І.І.Герєга, В.М.Шопа, І.С.Лозовий, М.Р.Козулькевич, М.А.Ткачук, Р.В.Чубик, В.М.Боровець, В.С.Шенбор, А.П.Беспалов, О.С.Ланець, Я.В.Шпак, Ю.П.Шоловій, А.Н.Марюта, Т.С.Ярошевич, З.А.Стоцько, Б.І. Сокіл, В.Г. Топільницький, Р.Д.Іскович-Лотоцький та інші.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Результати дисертаційної роботи використовувались при проведенні наукових досліджень в рамках науково-дослідної держбюджетної теми: «Механіко-математичне моделювання контактної взаємодії в оболонково-стрижневих системах з

урахуванням сухого тертя та закриття тріщин. Розділ 8. Математична модель розгалуженої віброударної коливальної системи». Державний реєстраційний номер теми 0197U008957. Держбюджетна тема відповідає науково-дослідній тематиці Івано-Франківського відділу моделювання демпфуючих систем Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України.

Мета і завдання досліджень

Метою досліджень дисертаційної роботи є розроблення та практична реалізація математичної моделі процесу роботи віброударного агрегату з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що дозволить підвищити ефективність та надійність роботи вибивних віброударних ґраток для ливарного виробництва та проводити чисельні розрахунки динамічного режиму роботи промислових віброґраток, у яких тверді тіла з'єднуються ланцюгово-розгалуженим способом.

Для досягнення поставленої мети були визначені ***завдання***:

1) побудова математичної моделі динамічного режиму роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл та аналіз адекватності моделі фізичному процесу, що розглядається;

2) побудова математичної моделі контакту робочих органів технологічного вантажу з робочими органами опорної рами агрегату;

3) експериментальне дослідження явища синхронізації дебалансних мас і віброударних ґраток в динамічному режимі роботи;

4) чисельні розрахунки динамічного режиму роботи простіших моделей віброґраток з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, розрахунок власних частот, амплітуди та прискорення технологічного вантажу та оцінка точності проведених розрахунків;

5) побудова графіків залежності амплітуди коливань та амплітуди віброприскорень від часу, та фазових портретів руху технологічного вантажу при динамічному режимі роботи; дослідження залежності власних частот технологічного вантажу від механічних параметрів системи;

6) дослідження питання про стійкість отриманих розв'язків розглянутої механічної віброударної системи;

7) побудова імітаційної комп'ютерної моделі динамічного режиму роботи простішої віброгратки;

8) розроблення наукової класифікації віброударних агрегатів з ланцюговим та ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл.

Об'єктом дисертаційного дослідження є процес динамічного режиму роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл.

Предметом дисертаційного дослідження є математичні моделі взаємодії твердих тіл та механічних параметрів системи при динамічному режимі роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл.

Методи дослідження

В основу покладені методи математичного моделювання; аналітичної механіки – використання системи рівнянь Лагранжа II роду, з допомогою якої побудована математична модель динамічного режиму роботи віброагрегата; методи матричного числення; методи обчислювальної математики для чисельного розв'язування системи звичайних нелінійних диференціальних рівнянь II порядку та отримання значень параметрів складної віброударної системи при динамічному режимі роботи. Використовувалися методи комп'ютерного моделювання для побудови графіків амплітуди

коливань та амплітуди віброприскорень, а також фазових портретів при коливаннях твердих тіл системи, а також методи імітаційного моделювання динамічного режиму роботи. Проводилися патентні дослідження для створення винаходу для дослідження явища самосинхронізації об'єктів, що коливаються.

Наукова новизна одержаних результатів

Отримані нові результати в напрямку створення моделей процесу роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, основними з яких є:

1. Вперше запропоновано математичну модель руху твердих тіл та дії технологічного вантажу в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання мас на основі рівнянь Лагранжа II роду, що, на відміну від існуючих методів та моделей, дозволяє одержати аналітичні залежності для опису характеристик об'єктів такого класу;

2. Вперше змодельовано процес взаємодії технологічного вантажу з робочими органами механічних систем з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що дозволяє, на відміну від існуючих методів, одержати аналітичні залежності для знаходження зусиль в зоні контакту;

3. Удосконалено підхід до моделювання динамічного режиму роботи віброударної ґратки, що, на відміну від існуючих методів, дозволяє одержати фазові портрети та графічні залежності між амплітудами коливань та амплітудами віброприскорень, залежність власних частот, фазових портретів та амплітуд і віброприскорення технологічного вантажу від механічних параметрів віброґратки, дослідити питання механічної стійкості досліджуваної системи з використанням її фазових портретів;

4. Дістали подальший розвиток методи дослідження розсіювання енергії в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє врахувати взаємодію технологічного вантажу з робочими органами при наявності різних типів контакту, сил сухого та в'язкого тертя;

5. Удосконалено теоретичні підходи для оцінки точності розв'язання задачі моделювання процесів роботи віброударного агрегату з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл та перевірки адекватності моделей на основі аналізу точності використаних чисельних методів та методів імітаційного моделювання для віброгратки типу 31327, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє оптимізувати вибір математичного апарату для вирішення поставленої задачі.

Практична цінність одержаних результатів

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що:

– на основі створених математичних моделей запропоновано методику розрахунку параметрів віброагрегату з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, яка враховує пружні зв'язки між тілами, сухе позиційне тертя при взаємодії тіл, демпфування енергії в системі;

– на основі створених моделей для підприємств, що спеціалізуються на випуску віброграток для ливарного виробництва, створено методику для розрахунків параметрів динамічного режиму роботи вибивних віброграток, що важливо при створенні нових видів вибивних віброграток та віброударних агрегатів для ливарного виробництва; дана методика може використовуватись для розрахунків параметрів динамічного режиму роботи віброагрегатів, що застосовуються також і в інших галузях виробництва;

- на підставі проведених чисельних розрахунків надано низку практичних рекомендацій, що дозволять оптимізувати параметри динамічного режиму роботи для конкретних типів віброагрегатів, що використовуються у ливарному виробництві;
- розроблено пристрій для дослідження явища самосинхронізації в вібраційних машинах, що дозволить більш ефективно контролювати явище резонанса віброграток, які комплектують віброагрегати, а також використовуватись і в інших галузях народного господарства; пристрій захищено Патентом України на винахід;
- розроблено нову класифікацію віброударних агрегатів за способом компоновки твердих тіл та наявності пружних в'язів між твердими тілами, яка може використовуватись при виробництві промислових віброграток.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на ПАТ «Азовзагальмаш», м. Маріуполь, Акт впровадження від 24 лютого 2016 р. (Додаток Б), а також в навчальному процесі (Додаток В).

Методика проведення досліджень дисертаційної роботи *являє собою комплекс теоретичних, експериментальних та числових досліджень*. Для теоретичних досліджень застосовувались методи аналітичної механіки, математичного моделювання, звичайних диференціальних рівнянь, теорії матриць, обчислювальної математики – багатокроковий метод Адамса, експериментальних досліджень для визначення динамічних параметрів віброгратки, комп'ютерного імітаційного моделювання динамічного режиму роботи.

Числові розрахунки робилися для розробленої математичної моделі конкретного типу промислових вібромашин – інерційно-ударних вибивних граток моделі 31327. Врахувалось також демпфування енергії при контакті технологічного вантажу з робочими

органами. Виявлено проблеми установки таких складних динамічних систем на єдиний фундамент.

Достовірність основних наукових результатів забезпечується обґрунтованістю математичних викладок і фізичних посилок, що стоять в основі моделі, строгій математичній побудові моделі, а також перевірці одержаних результатів з допомогою методів чисельного та імітаційного комп'ютерного моделювання. Теоретичні результати та практичні рекомендації, що одержані в даній роботі при побудові даної математичної моделі, застосовувались при експлуатації вибивної інерційно-ударної ґратки типу 31327, що виготовлялась ВО «Карпатпресмаш».

Особистий внесок здобувача

Всі наукові результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, належать особисто здобувачу. Постановка задачі, формулювання завдань досліджень дисертаційної роботи та аналіз результатів виконано спільно з науковим керівником. Роботи [10] , [11], [12], [13], [14], [15], [16] здобувачем написані одноосібно. В сумісних публікаціях особисто здобувачу належить:

– в роботах [17 – 21] – виведення основних аналітичних залежностей для математичного опису руху твердих тіл і технологічного навантаження в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання мас на основі рівнянь Лагранжа II роду;

– в роботах [22 - 24] здобувачем побудована система диференціальних рівнянь та проаналізовані фазові портрети та амплітудно-частотні характеристики твердих тіл, що коливаються при установленому динамічному режимі, а також проаналізовано питання механічної стійкості системи та залежність власних частот системи від механічних параметрів;

- в роботах [25 – 28] здобувач застосував методологію зведення складної системи нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку до системи алгебраїчних рівнянь;
- в роботах [29 – 30] – дослідив питання розсіювання енергії в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл, що враховує моделювання технологічного вантажу з робочими органами в вигляді одностороннього або рівномірно-розподіленого по довжині контакту при наявності сил сухого тертя, а також в'язкого тертя;
- в роботах [31 – 34] – вивів аналітичні залежності, що визначають умови контакту, а також сили, що діють в зоні контакту;
- в роботі [35] здобувач проаналізував роботу пристрою для дослідження явища самосинхронізації в вібраційних машинах, на який отримано Патент України на винахід;
- в роботі [36] побудована система диференціальних рівнянь та проаналізовані фазові портрети та графіки залежності амплітуд коливань та віброприскорень при наявності в'язкого опору.

Апробація дисертаційної роботи

Основні результати дисертації доповідались:

- на Всесоюзній конференції з математичного та машинного моделювання (Воронеж, 1991 р.);
- 16 Конференції з питань розсіювання енергії при коливаннях механічних систем (Івано-Франківськ, 1992 р.);
- 4 Міжнародній конференції з механіки неоднорідних структур (Тернопіль, 1995 р.);
- Всеукраїнській науковій конференції «Розробка та застосування математичних методів в науково-технічних дослідженнях» (Львів, 1995 р.);

- VII Міжнародній науково-технічній конференції «Вібрації в техніці та технологіях» (Львів, 2006 р.);
- XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Прикладні задачі математики і механіки» (Севастополь, 2008);
- 2-ій Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (Львів, 2010);
- Всеукраїнській науковій конференції «Прикладні задачі математики» (Яремче, 2011);
- щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу університету (ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2000-2016 р.);
- постійно діючому семінарі відділу моделювання демпфуючих систем ІППММ НАН України ім. Я.С.Підстригача (м. Івано-Франківськ);
- розширеному семінарі кафедри математичних методів в інженерії ІФНТУНГ (грудень 2014 р.);
- на міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 55-річчю заснування ТНТУ та 170-річчю з дня народження І. Пулюя (Тернопіль, травень 2015 р.);
- Другій Всеукраїнській науковій конференції «Прикладні задачі математики» (Івано-Франківськ, 13-15 жовтня 2016 р.).

Публікації основних результатів дисертаційної роботи

Всього по темі дисертаційної роботи опубліковано 27 наукових праць, в тому числі тринадцять статей у наукових виданнях (чотири без співавторів) , 2 роботи задепоновано; 11 тез доповідей міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій (три без співавторів). 3 статті входять до наукометричної бібліографічної

бази SCOPUS, 13 до фахових видань. За результатами дисертаційних досліджень одержано один Патент України на винахід. Список публікацій по результатам роботи подано в списку літератури до дисертації.

Структура та обсяг дисертаційної роботи

Дисертація складається з титульного аркушу, анотації на українській та англійській мовах, змісту, вступу, п'яти розділів основної частини, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 191 сторінку, основний текст складає 146 сторінок. Список використаних джерел містить 183 найменувань на 22 сторінках. Дисертація містить 59 рисунків та 2 таблиці.

В Додатку А наведені конструктивні моделі деяких коливальних систем з розгалуженим та ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл. Додаються також Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи КТЦ ПАО «Азовзагальмаш» (Додаток Б), Акт про використання в навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи (Додаток В), публікації автора по матеріалам дисертаційної роботи (Додаток Г).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Блехман И.И. Что может вибрация? / И.И.Блехман – М.: Наука, 1988. – 208 с.
2. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники /И.И.Быховский – М.: Машиностроение, 1969. 363 с.
3. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем / И.И.Блехман – М.: Наука, 1971. – 894 с.
4. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т.1/ [ред. В.В.Болотин], т.1 – М.:Машиностроение, 1978– 353 с.
5. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т.2 / [ред. И.И. Блехман], т.2. – М.:Машиностроение, 1979. – 351 с.
6. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т.3 / Вибрации в технике [ред. Ф.М. Дименберг, К.С.Колесников], т.3. - М. : Машиностроение, 1980.– 545 с.
7. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т.4 / Вибрации в технике [ред. Е.Е.Лавендел], т.4 - М.: Машиностроение, 1981. – 510 с.
8. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т. 5./ Вибрации в технике [ред.. М.Д.Генкин], т.5. - М. Машиностроение, 1981. – 496 с.
9. Вибрации в технике [т.т. 1-6] Т.6. / Вибрации в технике [ред. К.В.Фролов], Т.6 - М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
10. Нісонський В.П. Математичне моделювання робочого режиму в механічних системах з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання мас / Нісонський В.П. Всеукр. наук. конф. «Розробка та застосування математич. метод. в наук.-техн. дослідженнях» (Львів, 5-7.10.1995 р.) – Тез. доп., част. 3.- Львів: 1995. – С. 53 - 54.
11. Нісонський В.П. Математичне моделювання динамічного режиму роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл / Нісонський В.П. – Автоматизація

виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Український міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 40. – Львів: Львівська Політехніка. – 2006. – С. 170 - 177.

12. Нісонський В.П. Математична модель контактної взаємодії елементів багатосекційних агрегатів / Нісонський В.П. // Доповіді НАН України.- 2003. № 12. – С. 51 - 57.

13. Нісонський Володимир. Дослідження динамічного режиму роботи віброгратки при наявності сил в'язкого опору / Володимир Нісонський // Тези доп. Міжнарод. наук.-техн. конференції «Фундамент. та прикл. проблеми сучасних технологій», присвяч. 55-річчю заснування ТНТУ та 170-річчю з дня народження Івана Пулюя 19–21 травня 2015 р. – Тернопіль, 2015. – С. 20 – 21.

14. Нісонський В.П. Розрахунки динамічного режиму роботи віброгратки при наявності в'язкого опору / В.П.Нісонський // Прикарпатський вісник НТШ. Число. – 2016. – 1(33)-2016. – С. 46 – 60.

15. Нісонський В.П. Математичне моделювання агрегатів для ливарного виробництва / В.П. Нісонський // Методи та прилади контролю якості. – №1 (36), 2016. – С. 100 –106.

16. Нісонський Володимир. Імітаційне комп'ютерне моделювання динамічного режиму роботи простішої віброгратки /Володимир Нісонський // Прикладні задачі математики. Матеріали Другої всеукраїнської наук. конф., присвяченої 55-річчю кафедри вищої математики ІФНТУНГ. Івано-Франківськ, 13-15 жовтня 2016 р. – С. 63 – 65.

17. Нисонский В.П. Уравнения движения инерционных элементов обобщённой модели вибромашины с комбинированным

способом соединения масс/ Нисонский В.П., Гергега И.И., Лозовой И.С. – Ивано-Франковск, Львов, 1989. – 20 с. – Деп. в ВИНТИ 12.10.89. №6248-В 89.

18. Нисонский В.П. Обобщённые силы, действующие на инерционные элементы вибромашины с комбинированным способом соединения масс / Нисонский В.П., Гергега И.И., Лозовой И.С. – Ивано-Франковск, Львов, 1990. – 41 с. – Деп в ВИНТИ 11.07.90, №3886 - В 90.

19. Лозовой И.С. Математическое моделирование динамики технологических вибрационных машин [Электронный ресурс]. – Математическое и машинное моделирование: Тез. докл. Всесоюз. Науч. конф. / Лозовой И.С., Гергега И.И., Нисонский В.П. – ВТИ, Воронеж, 1991. – Сборник выпущен на магнитных дискетах 19.08.91. – С. 208.

20. Нисонский В.П. Математическое моделирование многосекционного агрегата для выбивки крупных форм / Нисонский В.П., Гергега И.И., Козулькевич М.Р. // Литейное производство. – 1991. №12. – С. 18.

21. Нісонський В.П. Математична модель багатосекційного вібраційного агрегату / Нісонський В.П., Гергега І.І., Шоп В М. // Доповіді НАН України. – 2000. - №6. – С. 62 - 65.

Є англійський переклад:

V. P. Nisons'ky. Mathematical model of a multisectional vibration unit / V.P.Nisons'ky, I. I. Gerega, V. M. Shopa // National Academy of Sciences in Ukraine. Kiev .Ukraine January 2000.

22. Даляк Т.М., Нісонський В.П., Шоп В.М. Дослідження динамічного режиму роботи віброгратки з урахуванням сил в'язкого

опору // Вісник ХПІ, серія «Машинознавство та САПР». – Вип. №22. – 2011 р. – С. 40 – 45.

23. Нісонський В.П., Даляк Т.М., Шопа В.М. Математична модель динамічного режиму роботи віброагрегату з урахуванням сил в'язкого опору. – Матеріали Всеукр. наук. конф. «Прикл. задачі математики», присв. 50-річчю каф. вищ. мат. ІФНТУНГ // Тез. доп. – Івано-Франківськ, 2011 р. – С. 78 – 79.

24. Нісонський В. П. Числові розрахунки динамічного режиму роботи віброагрегата / В.П. Нісонський, Т.Г. Даляк, В.М. Шопа // Машинознавство. – 2011. - №9-10. – С. 31 – 35.

25. Нисонский В.П. Математическое моделирование многосекционных агрегатов для литейного производства / Нисонский В.П., Гергега И.И., Козулькевич М.Р. // Вестник машиностроения. – 1994. №6. – С. 22-24.

26. Гергега І.І. Математична модель ланцюгово-розгалуженої віброударної коливальної системи / І.І.Гергега, В.П.Нісонський // Доповіді НАН України. – 1994. - №5. – С. 58 - 63.

27. Нисонский В.П. Математическая модель многосекционных выбивных агрегатов с учётом рассеяния энергии/Нисонский В.П., Гергега И.И., Козулькевич М.Р., Гуцуляк Ю.В. // Пробл. Прочности. 1994. - №10. – С. 30 - 36.

28. Nisonkii V.P. Mathematical model for multisectional shakeout assemblies taking into account energy dissipation / V.P. Nisonkii, I.I. Gerega, R.M. Kozul`kevich, Yu.V. Gutsulyak // Strenght of Materials, October 1994, Volume 26, Issue 10, pp 734 – 738.

29. Нисонский В.П. Рассеивание энергии в многосекционных выбивных агрегатах/ Нисонский В.П., Гергега И.И., Козулькевич М.Р., Гуцуляк Ю.В. – ХУІ конференция по вопросам рассеяния энергии

при колебаниях механических систем (Ивано-Франковск, июнь 1992 г.): Тез. докл. – К.: Ин-т проблем прочности АН Украины, 1992. – С. 27 - 28.

30. Матеріали 4 Міжнар. конф. з механіки неоднорідних структур (Тернопіль 19-22.09.95). Тез. доп. / Герега І.І., Нісонський В.П. Дослідження взаємодії робочих органів коливальних систем з технологічним навантаженням неоднорідної структури. – Тернопіль: 1995. – С. 53 - 54.

31. Нісонський В.П. Математичне моделювання віброударних агрегатів із ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл / Нісонський В.П., Шопа В.М., Герега І.І. // Прикарпатський вісник НТШ. Число 1(1). – 2008. – Івано-Франківськ: Плай ЦІТ. – С. 56 - 63.

32. Лавинюкова Т.Г. Взаємодія технологічного навантаження з робочими органами багатосекційного вібраційного агрегату. Тези науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу університету / Лавинюкова Т.Г., Нісонський В.П.– ІФДТУНГ, Івано-Франківськ, 2000.- С. 160.

33. Нісонський В.П. Модель контакту технологічного навантаження з робочими органами вибивного багатосекційного агрегату/ Нісонський В.П., Лавинюкова Т.Г.//Методи та прилади контролю якості. Випуск 20. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2008. – С. 81 - 84.

34. Нісонський В.П. Модель контакту технологічного навантаження з робочими органами вибивного багатосекційного агрегату. - Прикладные задачи математики и механики. Материалы XVI международной научно-технической конференции. Севастополь, 15-19 сентября 2008 г. / Нісонський В.П., Лавинюкова Т.Г. — Севастополь: Издательство СевНТУ. – 2008. – С. 192 - 196.

35. Патент України на винахід №21024 А від 07.10.1997 р. Пристрій для дослідження явища самосинхронізації в динамічних системах/ Іншин В.М., Гергега І.І., Лозовий І.С., Нісонський В.П. – С. 1 – 4.

36. Даляк Т. Числові розрахунки динамічних характеристик математичної моделі віброгратки/ Т.Г. Даляк, В.П. Нісонський, В.М. Шопа // Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій. Праці 2-ої Міжнарод.наук.-техн. конф., 11-13 листопада 2010 р. – Львів: КІНПАТРИ ЛТД. –С. 152 - 153.

37. Гюйгенс Х. Три мемуара по механіке / Х.Гюйгенс – М.: Изд. АН СССР, 1951. – 378 с.

38. Ньютон І. Математические начала натуральной философии / І.Ньютон – М.: Наука, 1989. – 688 с.

39. Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика. Т. I / Ж.Л.Лагранж – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950. – 594 с.

40. Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика. Т. II / Ж.Л.Лагранж – М.-Л.: ГИТТЛ, 1950. – 440 с.

41. Ляпунов А.М. Собрание сочинений: Т. 5. / А.М.Ляпунов—М.: Наука, 1965. —378 с.

42. Пуанкаре А. Избранные труды [1-3], т.1 / А.Пуанкаре, т.1. – М.: Наука, 1971. – 772 с.

43. Пуанкаре А. Избранные труды [1-3], т.2 / А.Пуанкаре, т.2. – М.: Наука, 1972. – 998 с.

44. Пуанкаре А. Избранные труды [1-3], т.3 / А.Пуанкаре, т.3. – М.: Наука, 1974. – 770 с.

45. Пуанкаре А. О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями / А.Пуанкаре – М. – Л.:ОГИЗ, 1947. – 392 с.

46. Зоммерфельд А. Механика / А.Зоммерфельд – М.- Ижевск: РХД, 2001. – 368 с.
47. Курант Р. Курс дифференциального и интегрального исчисления, т.1/ Р.Курант, т.1.– М.: Наука, 1967. – 704 с.
48. Курант Р. Курс дифференциального и интегрального исчисления, т.2 / Р.Курант, т.2. – М.: Наука, 1970. – 672 с.
49. Аппель П. Теоретическая механика. Т.1. Статика. Динамика точки /П.Аппель, т.1 – М.:ГИФМЛ, 1960. –515 с.
50. Аппель П. Теоретическая механика. Т.2. Динамика системы / П.Аппель, т.2 – М.: ГИФМЛ, 1960. – 487 с.
51. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов [1-5], т.IV. Лекции по колебаниям / Л.И.Мандельштам, т.IV. – М.: Изд. Акад. Наук СССР, 1955. – 512 с.
52. Андронов А.А. Теория колебаний / А.А.Андронов, А.А.Витт, С.Э.Хайкин – М.: Наука,1956. – 918 с.
53. Тимошенко С.П.Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П.Тимошенко. – М.: Наука, 1971. – 807 с.
54. Боголюбов Н.Н. Собрание научных трудов [1-12], т.2. Нелинейная механика, 1932-1940 / Н.Н.Боголюбов, Н.М.Крылов. – М.: Наука, 2005. – 828 с.
55. Кононенко В.О. Влияние характеристики двигателя на вибрационную напряженность машин / В.О.Кононенко // Вестник машиностроения. – 1959. - №1. – С. 304
56. Кононенко В.О. Колебательные системы с ограниченным возбуждением / В.О.Кононенко – М.: Наука, 1964. – 254 с.
57. Кононенко В. О. Вопросы теории динамического взаимодействия машины и источника энергии. //Изв. АН СССР, МТТ, 1975, № 5, с. 1930.

58. Кононенко В.О. Нелинейные колебания механических систем: Избр. тр. / В.О.Кононенко. – К.: Наук. Думка, 1980. – 382с.

59. Кораблев С.С. Об автоколебаниях электромеханического вибратора. -Изв. вузов. Электромеханика, 1963, №3, с. 723-729.

60. Кораблев С. С. Теория колебаний электромеханического вибратора. Труды семинара . Теория машин и механизмов, вып. 101102, 1964, с. 102-112.

61 Аграновская Е.А. Об оценке резонансных амплитуд колебаний выбеге систем со многими степенями свободы / Е.А. Аграновская, И.И.Блехман – М.: Машиностроение, (Динамика машин). 1969.–458 с.

62. Бабицкий В.И. Теория виброударных систем. Приближенные методы / В.И.Бабицкий – М.: Наука, 1978. – 352 с.

63. Бидерман В.Л. Теория удара / В.Л.Бидерман –М.: Машгиз, 1952,
76 с.

64. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний/ В.Л.Бидерман – М.: Высшая школа, 1972. – 416 с.

65. Гольдсмит В. Удар, теория и физические свойства соударяемых тел/ Гольдсмит В. – М.: Изд-во лит-ры по строительству. – 1965. – 420 с.

66. Вульфсон И.И. Нелинейные задачи динамики машин/ И.И.Вульфсон , М.З.Коловский – Л.: Машиностроение, 1968.- 282 с.

67. Голоскоков Е.Г. Нестационарные колебания механических систем /Е.Г.Голоскоков, А.П.Филиппов.– К.: Наукова думка, 1966. – 214 с.

68. Гончаревич И.Ф. Динамика горных машин с упругими связями/ И.Ф.Гончаревич , А.В.Докунин . – М.: Наука, 1975. – 212 с.

69. Кильчевский Н.А. Теория соударений твердых тел / Кильчевский Н.А. - К.: Наукова думка, 1969, 246 с.
70. Левитский Н.И. Колебания в механизмах / Н.И.Левитский. – М.:Наука, 1988. – 336с.
71. Магнус К. Колебания / К.Магнус. – М.:Мир, 1982 – 303 с.
72. Бабаков И.М. Теория колебаний / И.М.Бабаков - М.: Наука,1965. – 560 с.
73. Пановко Я.Г.Введение в теорию механических колебаний / Я.Г.Пановко. – М.:Наука,1980. – 270 с.
74. Бутенин Н.В. Введение в теорию нелинейных колебаний / БутенинН.В., Неймарк Ю.И., Фураев Н.А. - М.: Наука, 1976. – 384 с.
75. Орлов Г.М. Автоматизированные установки для вибровки литейных форм / Г.М.Орлов. – М.: Машгиз, 1961. – 131 с.
76. Спиваковский А.О. Вибрационные ковйеры, питатели и вспомогательные устройства / А.О.Спиваковский, И.Ф.Гончаревич. – М.: Машиностроение, 1972. – 327 с.
77. Горский А.И. Расчет машин и механизмов автоматических линий литейного производства / А.И.Горский. – М.: Машиностроение, 1978. – 551 с.
78. Сердюк Л.И. Основы теории, расчёт и конструирование управляемых вибрационных машин с дебалансными возбудителями: дис. на соискание учёной степени доктора техн. наук: 05.02.02: / Сердюк Л.И. – Харьков, 1991. – 304 с.
79. Франчук В.П. Разработка методов расчёта нелинейных динамических систем вибрационных машин с существенным влиянием технологической нагрузки : Дис: на соискание учёной степени доктора техн. наук: 01.02.06 / Франчук В.П. – Днепропетровск, 1982, 256 с.

80. Рагульскис К.М. Механизмы на вибрирующем основании / К.М.Рагульскис. – Каунас, 1963. – 232 с.

81. Рагульскис К.М. О новых разработках в области вибропривода и его применениях / К.М.Рагульскис, Р.Ю.Бансевичус [В кН. «Вибрационная техника в машиностроении и приборостроении»]// Тез. докл. Всесоюзн. научн. конф. (Львов, 10-12 октября 1973 г.) – Львов, 1973. – С. 9-13.

82. А.с. 867428 СССР, МКИ В 06 В 1/16. Способ уменьшения резонансных амплитуд в переходном режиме вибромашины / М.Р.Козулькевич, Е.А.Королев и др. (СССР). – Оpubл. 1981, бюл. №36.

83. А.с. 900269 СССР, МКИ В 03 9/00. Устройство автоматического управления вибромашиной / М. Р. Козулькевич, Е.А. Королев и др. (СССР). – Оpubл. в Б.И. 1983, бюл.№3.

84. А.с. 889278 СССР, МКИ В 22D 29/00. Инерционная решетка для выбивки литейных форм / И. И.Гергега, Ю.Г. Закаръяев, М. Р. Козулькевич, Е. А. Королев и др. (СССР). Оpubл. в Б.И. 1981, бюл. №46.

85. А.с. 929911 СССР МКИ F 16 F 1/40. Упругий элемент / В.М. Шопа, С.В. Величкович, П.М. Ткаченко, И. И.Гергега и др. (СССР). Оpubл. в Б.И. 1982, бюл. №19.

86. А.с. 79911 СССР МКИ В 22 D 29/02. Инерционная решетка для выбивки форм / М. Р. Козулькевич, Е. А. Королев, П.М. Ткаченко, П.А. Федорчук и др. (СССР). Оpubл. в Б. И. 1981, бюл. №4.

87. А. с. 1490338 СССР МКИ F 16 F 1/40/ Упругий элемент / В.М. Шопа, С.В.Величкович, И.И.Гергега и др. (СССР). Оpubл. в Б.И. 1981, бюл. №

88. Гергега И.И. Инерционные выбивные решетки направленного действия для технического перевооружения действующих литейных

цехов / И. И.Гергега, М.Р. Козулькевич, Е. А. Королев, Л.Ф. Лиокумович // Литейное производство, 1983. - №1. – с. 29-30.

89. Гергега И. И. Опыт работы по повышению надежности выбивных решеток / И. И.Гергега, М.Р. Козулькевич // Технология и оборудование литейного производства. НИИМАШ, 1982. - №1.

90. Гергега И.И. Математическое моделирование на ЭВМ рабочего режима выбивных инерционных решеток / И. И. Гергега, М. Р. Козулькевич, И. С.Лозовой // Литейное производство, 1989, №10. – с. 23.

91. Гергега И.И. Обобщенная математическая модель колебательной системы с учетом изменения положения и величины технологической нагрузки / И. И. Гергега, И.С. Лозовой, М. Р. Козулькевич, В. М. Шопа // Докл.АН УССР, 1989 - №12. – с.32-35.

92. Лозовой И.П. Исследование рабочего режима вибрационных машин / И. П. Лозовой, И.И.Гергега, В.М. Шопа, Б.Н.Полевой // Повышение надежности и долговечности машин и сооружений, тез.докл. III Всесоюз.научн.-техн.конф., ч. 2. – К.:1988. – 18 с.

93. Лозовой И.С. Обобщенные силы, действующие на инерционные элементы обобщенной модели вибрационной машины / Лозовой И.С., Гергега И.И. – Львов, Ивано-Франковск, 1988. – 47 с. – Деп. в ВИНТИ №332. – В 89.

94. Аграновская Э.А. Исследование процессов прохождения через резонанс в устройствах с инерционными возбудителями / Э.А. Аграновская // Изв. АН СССР, Механика, 1965.- №4. – С. 101 - 107.

95. Аграновская Э.А. Исследование механизма автоматического дебалансного вибратора / Э.А. Аграновская // Изв.АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, 1963.- №1. – с. 190-193.

96. Аграновская Э. А. Расчет колебаний вибрационных машин при прохождении через резонанс/ Э.А. Аграновская// Обогащение руд, 1965.-№5.-с. 31-36.

97. Голоскоков Е.Г., Филиппов А.П. Нестационарные колебания механических систем. – К.: Наукова думка, 1966. – 214 с.

98. Гончаревич И.Ф., Докунин А.В. Динамика горных машин с упругими связями. – М.: Наука, 1975. – 212 с.

99. Калинин С.Г. Динамика несущих конструкций буровых установок / С.Г.Калинин, Е.В.Харченко Е.В. – Львов: Вища школа, 1988. – 144 с.

100. Кобринский А.А. Виброударные системы / А.А.Кобринский, А.Е.Кобринский А.Е – М.: Наука, 1973. – 591 с.

101. Кобринский А.А. Двумерные виброударные системы / А.А.Кобринский, А.Е.Кобринский. – М.: Наука, 1981. – 336 с.

102. Потураев В.Н. Определение присоединённой массы вибрационных конвейеров и грохотов /Потураев В.Н., Червоненко А.Г. // Обогащение руд. – 1966. - №6. – С. 12-77.

103. Пономарёв В.Н. Выбивная установка для цеха крупных чугуновых отливок/ Пономарёв В.Н., Кузин А.В. // Литейное производство. – 1988. - №9. С. 34.

104. Герасименко В.В. Віброплощадка з керуючим впливом на суміш, що ущільнюється : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.09 «Динаміка та міцність машин» /В.В.Герасименко. Харків, 2002. – 16 с.

105. Орисенко О.В. Вібраційна установка для формування трубчатих виробів з бетонних сумішів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.08 «Технологія машинобудування» / Полтава, 2002. -. 19 с.

106. Марюта А.Н. Теория моделирования колебаний рабочих органов механизмов и её приложения / Марюта А.Н. – Днепропетровск: Изд. ДГУ, 1991. – 176 с.

107. Марюта А.Н. Анализ синхронизирующих свойств механических систем с трением / Марюта А.Н., Цыбулько И.В. // Проблемы трения и изнашивания: Респ. Меж вуз. Научн.-техн. Сб. – К.: Техника, 1990. – Вып. 37. – С. 3 – 10.

108. Марюта А.Н. Анализ движений механических систем с фрикционным взаимодействием // Прикл. механика.-1989.-т. 25, №10.-С.84-96.

109. Марюта А.Н. О методикесоставления и анализа дифференциальных уравнений механических систем с трением // Проблемы трения и изнашивания: Респ. Межвуз. Научн.-техн. Сб. – К.: Техника, 1989. – Вып. 36. – С. 28 – 39.

110. Марюта А.Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик/ Марюта А.Н., Кочан Ю.Г., Бунько В.А.– М.: Недра, 1983. – 277 с.

111. Акуленко Л.Д. О балансировке вибрационных механизмов с инерционным возбуждением, установленных на вязкоупругих опорах / Л.Д. Акуленко , Н.Н.Болотник // Известия АН СССР МТТ. – 1989. - №6. – С.74 – 81.

112. Барчан Е.Н. Методы, модели и алгоритмы для синтеза параметров выбивной инерционной машины на основе моделирования динамических процессов / Е.Н. Барчан. // Вісник Нац. техн.. Універ. «ХПІ». Тематичний випуск: Машинознавство та САПР. – Харків:НТУ «ХПІ». – 2007. - №3. – С. 3-17.

113. Барчан Е.Н. Экспериментальное исследование динамических процессов в выбивной машине с дебалансным приводом / Е.Н. Барчан, Н.А. Ткачук, А.В. Грабовский // Вісник Нац.

техн.. Універ. «ХП». Тематичний випуск: Машинознавство та САПР. – Харків:НТУ «ХП». – 2007. - №3. – С. 17-23.

114. Барчан Є.М. Удосконалення методів розрахунку та конструкції вибивної транспортуючої машини для формувальних ліній крупного литва / Є.М.Барчан, І.В.Артёмов, А.В.Грабовський // Вісник НТУ «ХП». Тем. Вип.: Машинознавство та САПР. – 2010. - №19. – С. 18 – 39.

115. Барчан Є.М. Удосконалення методів розрахунку та конструкції вибивної транспортуючої машини для формувальних ліній крупного литва : дис... канд. техн. наук: 05.02.02 / Барчан Є.М. – Маріуполь. – 2008. – 178 с.

116. Грабовский А.В. Методы исследования динамики инерционных вибромашин и определение действующих нагрузок в вибрационной системе / А.В.Грабовский // Вісник НТУ «ХП». Тем. Вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХП», 2009. - №12. – С. 61 – 80.

117. Грабовский А.В. Ударное взаимодействие и динамические процессы в виброударных машинах с частичным разрушением технологического груза: дис...канд. техн. наук: 05.02.09 / Грабовский А.В. – Харьков, 2010. – 181 с.

118. Грабовський А.В. Ударна взаємодія та динамічні процеси у віброударних машинах з частковим руйнуванням технологічного вантажу: задачі, методи, моделі / А.В.Грабовський, Ю.В.Костенко, І.В.Артёмов // Вестник НТУ «ХП». Тем.вип.: Машиноведение и САПР. – 2011. - №22. – С. 24 – 39.

119. Грабовский А.В. Методы и алгоритмы верификации сил ударного взаимодействия в виброударных системах /А.В.Грабовский //Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. - №3/9 (45). – С.42-46.

120. Ткачук Н.А. Решение задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем / Н.А. Ткачук // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004, №2. – С. № 85 –

121. Ткачук Н.А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных схем / Н.А.Ткачук, Ю.В.Веретельник, Ю.Я.Миргородский и др. // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004, №2. – С. № 79 – 84.

122. Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальное обоснование параметров численных моделей элементов механических систем / Н.А.Ткачук, Г.Д.Гриценко, А.Н.Ткачук и др. // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2008. - №1. – С. 3 – 7.

123. Ткачук М.А. Розробка наукових основ створення сприятливих поверхневих дискретно-континуальних полів напружень у високонавантажених елементах машин / М.А.Ткачук, В.М.Шеремет, Г.В.Ткачук, А.В.Грабовський // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009, №1. – С. № 147 – 155.

124. Ткачук М.А. Нові технології дискретного зміцнювання високонавантажених елементів машин: напружено-деформований стан приповерхових шарів / М.А.Ткачук, В.М.Сапожников, В.М.Шеремет та ін. // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2010, №1. – с. № 3 – 7.

125. Ткачук Н.А. Современное машиностроение и САПР: Реальные тенденции и перспективы / Н.А.Ткачук, А.Д.Чепурный // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2011. - №22. – С. 3 – 11.

126. Артёмов І. Синтез структури та параметрів вібромашин за критерієм відстройки від резонансних режимів / І. Артёмов, В. Кліпін, Ю. Костенко, А. Грабовський, М. Ткачук // *Машинознавство. Науково-технічний і виробничий журнал*. – Львів: ТУ «Львівська політехніка», 2011. – №3-4. – С. 31-35.

127. Ткачук М., Підхід до ідентифікації моделі для визначення ударної сили у віброударній системі / М. Ткачук, А. Грабовський, М. Ткачук, І. Артёмов, Є. Барчан // *Машинознавство*. – 2011. – № 5-6. – С. 21-26. 120.

128. Ткачук Н.А. Численное моделирование динамических процессов в виброударных системах / Н.А. Ткачук, А.В. Грабовський, Н.Н. Ткачук, Ю.В. Костенко, И.В. Артемов // *Вісник НТУ «ХП»*. Тем. вип.: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – 2011. – №42. – С. 179–187.

129. Костенко Ю.В. Численный анализ влияния модели для определения силы ударного взаимодействия на характер динамических процессов в виброударных системах / Ю.В. Костенко, Н.А. Ткачук, А.В. Грабовський, Н.Н. Ткачук // *Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал*. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 2. – С. 34-48.

130. Резонанси у віброударних машинах: моделі, методи, розрахунки / М.А. Ткачук, Ю.В. Костенко, І.В. Артёмов, А.В. Грабовський // *Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал*. – 2014. – №2(74). – С. 39 50.

131. Чубик Р.В. Адаптивна система керування режимами резонансних вібраційних технологічних машин: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / Р.В. Чубик; Нац. ун-т "Львів. політехніка".— Львів, 2007.—20 с.

132. Боровець В.М. Вібраційна обробка деталей із застосуванням обертових пристроїв / В.М.Боровець, В.С.Шенбор, Б.М.Савчин // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2006, №40. – С. 35 – 38.

133. Боровець В.М. Вібраційна обробка плоских довговимірних деталей / В.М.Боровець, В.С.Шенбор // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 41. – С. 9 – 38.

134. Боровець В.М. Визначення кінетичних параметрів елементів вібраційної машини з обертливим пристроєм / В.М.Боровець, В.С.Шенбор, А.Л.Беспалов // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2009, № 43. – С. 3 – 7.

135. Назаренко І.І. Вібраційні системи і процеси будівельної індустрії: навч. посібник для студ.вищ.навч.закл. / І.І.Назаренко; Київ.нац.ун-т буд-ва і архіт. – К., 2007. – 230 с.

136. Повідайло В.О. Вібраційні процеси та обладнання: навч.посіб. / В.О.Повідайло: Нац.ун-т “Львів. політехніка». – Л., 2004. – 248 с.

137. Іскович-Лотоцький Р.Д. Вібраційні та віброударні процеси і машини у ліварному виробництві: моногр. / Р.Д.Іскович-Лотоцький, М.М.Вірник, Н.Р.Веселовська; Вінниц. нац.-техн. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 197 с.

138. Громадський А.С. Наукові методи ідентифікації процесів коливань і вдосконалення віброзахисту обладнання кар’єрних екскаваторів: Автореф.дис...д-ра техн.наук: 05.05.06 / А.С.Громадський; Криворіз.техн.ун-т. – Кривий Ріг, 2006. – 36 с.

139. Засельський В.Й. Розробка наукових основ конструювання вібраційних машин для високоефективного сортування металургійної шихти: автореф.дис...д-ра техн..наук / В.Й.Засельський; Нац. металург. акад. України. – Д., 2008. – 37 с.

140. Ланець О.С. Міжрезонансні вібраційні притиральні машини з електромагнітним приводом, розроблені на основі ефекту «нульової жорсткості» / О.С.Ланець, Я.В.Шпак, Ю.П.Шоловій // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 41. – С.41 – 48.

141. Ланець О.С. Розробка динамічно зрівноважених торкових вібраційних машин з електромагнітним приводом: автореф. дис...канд. техн.наук: 05.02.02 / О.С.Ланець; Нац.ун-т «Львів. політехніка». – Л., 2002. – 19 с.

142. Гурський В.М. Визначення власних частот коливань двомасової вібраційної машини з електромагнітним приводом та просторовим рухом робочого органа / В.М.Гурський // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 41. – С. 15 – 25.

143. Кузьо І.В. Модель динаміки вібраційного електродвигуна з вібратором на основі гіперболоїдного торсіона / Ш.В. Кузьо, А.Б Білоус // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 41. – С. 26 – 30.

144. Ярошевич Т.С. Порівняльний аналіз динаміки вібраційної машини з дебалансним збудником коливань за різних характеристик двигуна / Т.С.Ярошевич // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 42. – С. 43 – 49.

145. Таянов С.А. Дослідження закону руху адаптивної вібраційної технологічної машини під час використання прямокутної широтно-імпульсно модульованої циклічної вимушуючої сили для її збурення / С.А.Таянов, Р.В.Чубик // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 42. – С. 174 – 185.

146. Таянов С.А. Аналіз критеріїв для керування адаптивними вібраційними технологічними машинами / С.А.Таянов, Р.В.Чубик //

Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 43. – С. 99 – 105.

147. Rocard Y. Dynamique generale des vibrations / Y. Rocard – Masson, Paris, 1949, p. 439.

148. Mazet R. Mechanique vibratoire / R.Mazet –Paris-Liege, Libr. Politechn. Ch. Beranger, 1955, p. 246.

149. Стоцько З. Моделювання динаміки вібраційних оброблювальних машин з дебалансним віброзбудником / Стоцько З., Сокіл Б., Боровець В., Топільницький В. //Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів і виробництв в машинобудуванні і приладобудуванні». – 1999. - №34. – С. 44-48.

150. Стоцько З.А. Моделювання роботи три- масової вібраційної машини об'ємної обробки / Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. //Машинознавство. – 1999. - №11. – С. 25-28.

151. Стоцько З.А. Динаміка робочого середовища вібраційних машин об'ємної обробки / Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. //Український міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизація виробничих процесів і виробництв в машинобудуванні і приладобудуванні». –2000. - №35. – С. 26-32.

152. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Нелінійна модель руху шару середовища робочого контейнера вібраційної машини об'ємної обробки виробів зі змінним параметром не лінійності / Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. // Машинознавство. – 2001 - №1. – С. 19-23.

153. Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. Резонансні режими роботи вібраційних машин об'ємної обробки виробів / Стоцько З.А., Сокіл Б.І., Топільницький В.Г. // Вісник Нац. Ун-ту

«Львівська політехніка»: «Оптимізація і технічний контроль в машинобудуванні і приладобудуванні». – 2001. - № 422. – С. 86-91.

154. Stotsko Z. Das Unlinear parametrisch modellder Dreimassen maschinen fürdie Vibrations volume behand lungundihre Streuladung / Stotsko Z., Sokil B., Topilnytskyj V. // Kwartalnik Naukowo-Techniczny “Maszyny dzwigowo-transportowe” (Bytom, Poland). – 2000. - № 3. –S. 50-62.

155. Топільницький В.Г. Дослідження чинника адекватності математичної моделі опису динаміки нелінійної оброблювальної механічної системи / В.Г.Топільницький. Я.М.Кусий // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 42. – С.123 – 128.

156. Чабан А.В. Одержання рівняння вільних коливань пружного ізотропного середовища на основі принципу Гамільтона-Остроградського з урахуванням дисипації / А.В.Чабан // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 41. – С. 160 – 166.

157. Чабан А.В. Застосування принципу Гамільтона-Остроградського для одержання рівнянь руху механічних систем із зосередженими інерційними ланками / А.В.Чабан, С.А.Дубецький // Автоматизація вироб. процесів у машинобуд. та приладобудуванні. – 2007, № 42. – С. 134 – 138.

158. Червоненко А.Г. Научные основы создания горных вибрационных транспортно-технологических машин тяжёлого типа /А.Г.Червоненко; Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук / Днепропетровск, 1985. – 740 с.

159. Ходжаев К.Ш. Динамика вибрационных устройств с однозаконными электромагнитными вибраторами / К.Ш.Ходжаев // Изв. АН СССР, Механика. – 1965, №3. – С. 37 – 42.

160. Вульфсон И.И. Аналитическое исследование вынужденных крутильных колебаний приводов цикловых машин разветвленной кольцевой структуры / И.И.Вульфсон // Теория механизмов и машин. – 2007, т.6. - №12. – С. 82-90.

161. Вульфсон И.И. Регулярные крутильные колебательные системы с сосредоточенными параметрами приводов цикловых машин / И.И.Вульфсон // Теория механизмов и машин. – 2008, т.6. - №14. – С.48 – 54.

162. Вульфсон И.И. Исследование колебательных режимов, возбуждаемых при перекладке в зазорах цикловых механизмов, соединённых с общим исполнительным органом / И.И.Вульфсон// Проблемы машиностр. и надёжности машин. – 2008. - №1. – С.33 – 39.

163. Вульфсон И.И. Исследование колебаний многосекционных приводов цикловых машин разветленно-кольцевой структуры / И.И.Вульфсон // Проблемы машиностр. и надёжности машин. – 2009. - №2. – С.22 – 29.

164. Вульфсон И.И. Колебания механизмов с гибкими связями при параметрическом и кинематическом возбуждении / И.И.Вульфсон // Теория механизмов и машин. – 2010, т.8. - №15. – С.3 – 12.

165. Вульфсон И.И. К исследованию некоторых колебательных систем с переменными параметрами на базе точных решений условного осциллятора / И.И.Вульфсон // Теория механизмов и машин. – 2011, т.9. - №117. – С.3 – 13.

166. Вульфсон И.И. Об одной модификации обобщённой динамической модели многосвязных регулярных колебательных систем цикловых машин структуры / И.И.Вульфсон // Проблемы машиностр. и надёжности машин. – 2011. - №5. – С.3 – 10.

167. Haiwu Rong. Moment Stability of Linear Vibro-impact System to Boundary Random Parametrical Excitation / Haiwu Rong , Wang Xiangdong, LuoQuizhi //Applied Mathematical Sciences, vol. 6, 2012, no 102, pp. 5049 – 5062.

168. Dimentberg M.F. Random vibrations with strongly inelastic impacts: Response PDF by the path integration method / M.F.Dimentberg, O.Gaidai, A.Naess// International Journal of Non-Linear Mechanics, 44 (2009), pp. 791 – 796.

169. Dimentberg M.F. Random vibration in impact. A review / M.F.Dimentberg, D.V.Ioutchenko// Nonlinear Dynamics, 36 (2004), pp. 229 – 254.

170. Ioutchenko D.V. Numerical investigation of a response probability density function of stochastic vibroimpact system with inelastic impact / D.V.Ioutchenko, L.L.Song// International Journal of Non-Linear Mechanics, 41 (2006), pp. 447 – 455.

171. Z.L.Huang. Stationary response of multi-degree-of-freedom vibro-impact system under white noise excitations / Z.L.Huang, Z.H.Liu, W.Q.Zhu // Journal of Sound and Vibration, 275 (2004), pp. 223 – 240.

172. Ostasevicius Vytautas. Numerical Analysis of Dynamic Effects of a Nonlinear Vibro-Impact Process for Enhancing the Reliability of Contact-Type MEMS Devices / Vytautas Ostasevicius, Rimvydas Gaidys, Rolanas Dauksevicius // Drying Technology: An International Journal, Volume 30, Issue 13, 2012, pp.297 – 298.

173. I. I. Vul' son. On Decomposition of Regular Vibration Systems of Cycle

Machines Incorporating Identical Ring-Structured Modules / I.I.Vulf'son // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2007, Vol. 36, No. 4, pp. 314–320. © Allerton Press, Inc., 2007.

174. Лурье А.И. Аналитическая механика/А.И. Лурье – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.

175. Леви –Чивита Т. Курс теоретической механики. Том первый. Часть первая / Т. Леви –Чивита, У.Амальди – М.-Л., ОНТИ НКТП СССР, 1935. – 385 с.

176. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. – М., Л.: Энергия, 1966. – 400 с.

177. Кравчик Л.Э. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник /Л.Э.Кравчик ,М.И. Шлаф– М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.

178. Корн Г. Справочник по математике / Корн Г., Корн Т. – М.: Наука, 1977. – 832 с.

179. Аксёнов П.Н. Оборудование литейных цехов. / П.Н.Аксёнов. – М.: Машиностроение, 1977. – 510 с.

180. Кацман М.М. Электрические машины автоматических систем / М.М. Кацман, Ф.М. Юферов – М. : Высшая школа,1969. – 328 с.

181.Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: Учебное пособие для ВУЗов. 2 изд. / И.И.Алиев. – М.: Высшая школа, 2000. – 256 с.

182. Бахвалов Н.С. Численные методы / Н.С.Бахвалов. – М.: Наука, 1975. – 632 с.

183. Мусіяка В.Г. Основи чисельних методів механіки / В.Г.Мусіяка. – К.: Вища освіта, 2004. – 238 с.