



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ

Інститут проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ

*Конференцію присвячено
145-річчю з дня народження академіка НАН України
Г. Ф. Проскури
та 95-річчю з дня народження академіка НАН України
В.Л. Рвачова*

Тези доповідей

Харків 2021

УДК 621.001.5/.18:061.2/.4

Сучасні проблеми машинобудування.

Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів.

Друкується за рішенням Вченої ради Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, протокол № 5 від 16.06.2021 р.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

академік НАНУ Русанов А. В. – голова

академік НАНУ Мацевитий Ю. М.

чл.-кор. НАНУ Костіков А. О.

чл.-кор. НАНУ Кравченко О. В.

чл.-кор. НАНУ Стоян Ю. Г.

чл.-кор. НАНУ Тарелін А. О.

чл.-кор. НАНУ Шубенко О. Л.

д.т.н. Аврамов К.В.

к.т.н. Курська Н. М.

д.т.н. Максименко-Шейко К. В.

д.т.н. Романова Т.Є.

д.т.н. Сметанкіна Н. В.

д.т.н. Соловей В. В.

д.т.н. Стрельнікова О. О.

д.т.н. Суворова І.Г.

к.т.н. Тарелін А. А.

д.т.н. Угрімов С. В.

д.т.н. Шейко Т. І.

к.ф.-м.н. Баранов І. А. – заступник голови



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ

Інститут проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного

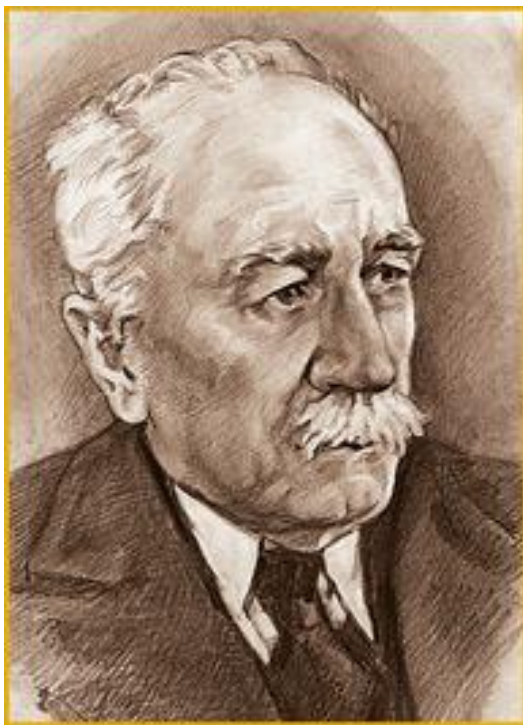
**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ

*Конференцію присвячено
145-річчю з дня народження академіка НАН України
Г. Ф. Проскури
та 95-річчю з дня народження академіка НАН України
В.Л. Рвачова*

Тези доповідей

Харків 2021



ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ Г.Ф. ПРОСКУРИ

Георгій Федорович з'явився на світ у родині міщанина Федора Андрійовича Проскури 28 квітня 1876 року в маленькому містечку Сміла Черкаського повіту Київської губернії. У 1895 році він закінчив Єлисаветградське реальне училище, після чого відправився в Москву, де був прийнятий в Московське вище технічне училище. Вже в студентські роки Проскура був схильний до наукової роботи. Разом з другом, відомим згодом теплотехніком К. Кіршем, Георгій став членом студентського гуртка, який записував, обробляв та видавав лекції професора В. Гриневецького, який читав курс «Парові машини». В училищі було чимало маститих викладачів. Так, механіку Проскурі читав М.Є. Жуковський – «батько російської авіації», а практичні заняття з цього курсу вів С.О. Чаплигін. У 1901 році Георгій Проскура

закінчив училище з дипломом інженера-механіка. Ректор Харківського технологічного інституту Зернов вже знав про здібного молодого фахівця і запросив його на роботу. Спочатку Проскура проводив лабораторні заняття з опору матеріалів, а з січня 1902 року він був зареєстрований стипендіатом для підготовки до професорського звання. Влітку 1902 року він був відправлений у відрядження до Риги на заводи Мантеля і Перлиця, де в той час вироблялися гідравлічні турбіни. У вересні того ж року Проскура поїхав на два роки в Швейцарію. У Цюріхському політехнічному інституті Георгій Федорович слухав лекції Ф. Пражеля з гідродинаміки та теорії гідравлічних турбін. На заводі Ешер-Вісс інженер вивчав виробництво гідротурбін. У 1904 р він продовжив викладання в ХТІ. Незабаром в знак протесту проти звільнення одного з викладачів Харківського університету ряд викладачів ХТІ, в тому числі і Проскура, залишили інститут. Георгій Федорович попрямував до Санкт-Петербургу. В грудні 1904 він почав працювати інженером-конструктором на франко-російському суднобудівному заводі, де займався створенням новітніх судових парових машин. В кінці 1906 року Проскура повернувся до Харкова, в ХТІ і став асистентом кафедри теоретичної механіки. У 1908 році вийшли його перші друковані роботи – «Курс водяних турбін» і «Регулювання ходової машини двигунів». Через рік з'явилася і монографія «Гідродинаміка водяних турбін у зв'язку з їх розрахунком і дослідженням». Ця праця стала єдиною в той час книгою російською мовою, в якій робочий процес водяних турбін досліджувався за допомогою загальних рівнянь гідродинаміки. У 1911 році Георгій Федорович був призначений ад'юнктом-професором ХТІ при кафедрі прикладної механіки і теорії побудови машин. У цьому ж році були надруковані його «Лекції з гідравліки», «Теорія парових машин», потім послідовно в 1912 – 1914 рр. вийшли в світ «Гідравліка», «Водяні турбіни», «Гідравліка разом з гідростатикою і гідродинамікою». 16 січня 1914 року, коли навчальний комітет доручив Георгію Проскурі завідування гідравлічною лабораторією, вважається датою заснування кафедри гідравлічних машин. Нею Проскура беззмінно керував 44 роки.

У Харкові Проскура розгортає широку діяльність з пропаганди повітроплавання, починає займатися питаннями аеродинаміки. Він зіграв надзвичайно важливішу роль в майбутньому перетворенні Харкова в центр вітчизняної авіації. Під керівництвом Георгія Федоровича було побудовано аеродинамічну трубу закритого типу, призначену

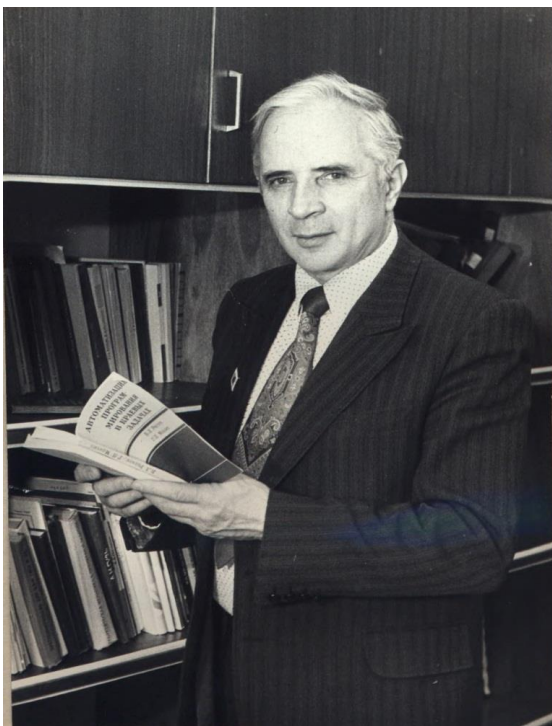
для вивчення взаємодії повітря з твердим тілом. Революцію він зустрів спокійно, деякий час працював проректором ХТІ, був і деканом механічного факультету. У 1929 році п'ятдесятирічний вчений стає академіком АН УРСР. У 1922 році кафедра, якою він керував, була реорганізована в кафедру гідромеханіки і авіації, почалося будівництво аеродинамічної лабораторії. З'являється стаття Проскура з теорії пропелерних турбін – перша за цією темою у всій світовій науковій літературі. Незабаром в гідравлічній лабораторії ХТІ був сконструйований перший в СРСР пропелерний насос. Пізніше, в 1932 році, харківський вчений запропонував саме такі насоси для каналу Москва–Волга. За пропозицією Проскура в Харкові був створений Інститут енергетики АН УРСР, сам академік очолював в ньому відділ гідродинаміки.

У 1922 році в Харкові було створено Товариство авіації та повітроплавання України і Криму. Одним з його організаторів і членом правління став Георгій Проскура. У 1924 році вийшла книга «Повітряні гвинти», а в 1934 році – монографія «Гідродинаміка турбомашин», в якій вперше була викладена загальна теорія турбомашин.

У липні 1930 року з ХТІ виділився ряд нових інститутів, в тому числі авіаційний, в організації якого безпосередню участь прийняв академік Проскура.

Під час Великої Вітчизняної війни Інститут енергетики був евакуйований на Урал, і з ним залишився Георгій Проскура. Його відділ в 1943 році був перетворений в Лабораторію швидкісних машин і механізмів. Після війни інститут був розділений на академічні Інститут теплоенергетики та Інститут електротехніки. Обидва вони розмістилися в Києві, де і опинився академік Проскура. Було створено філію Інституту теплоенергетики, яка в результаті була об'єднана з Лабораторією швидкохідних машин і механізмів. Вона повернулася до Харкова у 1947 році. Георгій Федорович знову почав роботу в Харкові. У 1955 році Лабораторія була реорганізована в Лабораторію гідравлічних машин.

Георгій Федорович був удостоєний Державної премії, ордена Трудового Червоного Прапора, двох орденів Леніна. Його не стало 30 жовтня 1958 року. У Харкові на честь академіка назвали одну з вулиць, було встановлено барельєф в будівлі Інституту проблем машинобудування, який є прямим спадкоємцем Лабораторії гідравлічних машин.



ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ В.Л. РВАЧОВА

Володимир Логвинович Рвачов – відомий український вчений у галузі математики, механіки і кібернетики, академік Національної академії наук України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, Заслужений діяч науки і техніки України, професор, доктор фізико-математичних наук, великий організатор науки, творець нової, всесвітньо визнаної наукової школи з методу R-функцій.

В.Л. Рвачов народився 21 жовтня 1926 року в місті Чигирин Черкаської області в сім'ї вчителів. У 1944 році В.Л. Рвачов був покликаний на дійсну службу у Військово-морський флот. У 1947 році після демобілізації він вступив на фізико-математичний факультет Львівського університету, який закінчив з відзнакою в 1952 році. З 1952 по 1955 рр. В.Л. Рвачов знову в рядах Військово-морського фло-

ту і працює старшим викладачем в училищі ВМФ в місті Пушкіно Ленінградської області. У 1955 році у Львівському університеті він захищає кандидатську дисертацію, присвячену розв'язанню задач про штамп-смугу та нескінченну балку, що лежить на пружному півпросторі. В цьому ж році після демобілізації В.Л. Рвачов обирається завідувачем кафедри вищої математики в Бердянському педагогічному інституті. У 1960 році в Інституті проблем механіки АН СРСР захищає докторську дисертацію, присвячену просторовим контактним задачам теорії пружності. У 35 років В.Л. Рвачову присвоюється звання професора.

Його увагу привернула проблема врахування геометричної інформації, яка характерна для широкого класу задач оптимізації та математичної фізики, що розв'язуються наближеними методами за допомогою ЕОМ. Математична теорія R-функцій виникла на стику класичних методів прикладної математики, сучасних методів кібернетики та математичної логіки. Основи теорії R-функцій були закладені В.Л. Рвачовим в 1963 році. Вперше поняття R-функцій було введено у зв'язку з необхідністю будувати рівняння складних геометричних об'єктів в процесі пошуку наближених розв'язків деяких просторових контактних задач теорії пружності. Історично ця проблема сходить ще до Декарта і відома в літературі як обернена задача аналітичної геометрії: задано геометричний об'єкт, потрібно побудувати його рівняння. Одним з результатів, який був отриманий на основі теорії R-функцій, є саме розв'язання оберненої задачі аналітичної геометрії.

У 1963 р. В.Л. Рвачов переїхав до Харкова, де очолив кафедру обчислювальної математики Харківського інституту гірського машинобудування, автоматики і обчислювальної техніки, а згодом, після реорганізації, він став першим ректором Харківського інституту радіоелектроніки. З 1967 по 2005 рік він керував відділом прикладної математики і обчислювальних методів в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України.

В.Л. Рвачов за допомогою конструктивного апарату теорії R-функцій розробив єдиний підхід до проблеми побудови координатних послідовностей для основних варіаційних і проєкційних методів. При цьому мова йде не тільки про однорідну задачу Діріхле, а про крайові умови різних типів для областей практично довільної форми. Таким чином, було покладено початок методу R-функцій (RFM), який дозволив досягти значних успіхів у розв'язанні ряду прикладних задач тео-

рії пружності, вигину і коливання тонких пластин, електродинаміки, теплофізики та ін. Пошук ефективної організації чисельного розв'язання крайових задач математичної фізики привів В.Л. Рвачова до створення нової технології програмування, реалізованої у вигляді систем сімейства ПОЛЕ. Головну роль при цьому зіграла конструктивна універсальність методу R-функцій, який був покладений в основу даних систем. Подальший розвиток методу R-функцій дозволив узагальнити і конструктивно реалізувати в функціональних просторах формули Лагранжа-Тейлора-Ерміта, знайти новий клас фінітних, нескінченне число разів диференційованих, так званих атомарних функцій, які мають важливе значення для розвитку теорії апроксимації та методів розв'язання крайових задач математичної фізики.

У 1972 році В.Л. Рвачов обирається членом-кореспондентом, а в 1978 році – дійсним членом НАН України.

У 1989 році В.Л. Рвачов запропонував нове алгебраїчно ізоморфне класичному числення, назване неархімедовим, оскільки в ньому аксіома Архімеда, сформульована для відрізків, на якій базується весь класичний математичний апарат, була замінена аксіомою про існування найбільшого числа.

Наукові дослідження В.Л. Рвачова відображено в сотнях робіт, в тому числі сімнадцяти монографіях і ряді авторських свідоцтв.

В.Л. Рвачов приділяв велику увагу підготовці кадрів. Він був почесним доктором Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харківського національного університету радіоелектроніки, Університету Вісконсину у Медісоні (США). Їм виховано не одне покоління вчених, більше 70 кандидатів наук і 17 докторів наук.

Багатогранна плідна наукова та науково-педагогічна діяльність В.Л. Рвачова відзначена урядовими нагородами, в тому числі орденами Трудового Червоного Прапора, Дружби народів, «Знак Пошани», Ярослава Мудрого і медалями. У 1980 році за створення, розвиток і впровадження в народне господарство теорії R-функцій В.Л. Рвачову і його учням було присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки. У 1997 році В.Л. Рвачову присвоюють звання Заслуженого діяча науки і техніки України.

Володимир Логвинович Рвачов віддав всі сили розвитку фундаментальної науки в Україні.

УДК 534.1:539.3

НЕСТАЦІОНАРНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ БАГАТОШАРОВОЇ ПАНЕЛІ. УЗАГАЛЬНЕНА МОДЕЛЬ

Кобильнік В.А., аспірант

*ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних
досліджень*

У сучасній техніці широкого розповсюдження набули багатошарові оболонкові конструкції із анізотропних матеріалів. Вони активно використовуються у різноманітних галузях, особливо таких, як авіа-, ракето-, судно- та машинобудування. Удосконалення існуючих конструкцій та зростаюче використання нових анізотропних матеріалів вимагає застосування уточнених моделей для описання процесу їх деформування.

У роботі в рамках неklasичної математичної моделі розглянуто процес деформування багатошарової циліндричної панелі під дією статичних та динамічних навантажень. Для описання конструкції використовується узагальнена дискретно-структурна модель, яка дозволяє врахувати усі компоненти тензора деформацій та напружень, їх нелінійний розподіл по товщині. Систему рівнянь та граничні умови у зусиллях та моментах отримано аналітично із варіаційного принципу Остроградського-Гамільтона. Кількість рівнянь залежить від кількості шарів та обраної апроксимації. Отримана система диференціальних рівнянь у частинних похідних зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь за допомогою розвинень компонентів переміщень та зовнішніх навантажень у подвійні ряди Фур'є. Для розв'язання отриманої системи рівнянь використовується модифікований метод розвинення розв'язку у ряд Тейлора.

Запропонований підхід може бути корисним для визначення границь застосовності двовимірних моделей шаруватих композитів, для дослідження процесу деформування шаруватих структур під впливом локалізованих навантажень.

УДК 534.1:539.3

МІНІМІЗАЦІЯ МАСИ ШАРУВАТИХ ОБОЛОНОК ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Меркулова А.І., аспірантка, **Меркулов Д.О.**, аспірант
*ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних
досліджень*

Характерною тенденцією розвитку сучасної техніки, зокрема авіаційної та космічної, а також машинобудування, є розробка та застосування нових конструкційних матеріалів на заміну традиційним. Одними з перспективних є композиційні матеріали, яким часто властива шаруватість. Експлуатаційні та питомі характеристики таких матеріалів можна прогнозувати, і формувати їх властивості на стадії виготовлення шляхом застосування певних технологій, що також дозволяє зменшити матеріалоемність виробів.

Особливо гостро стоять проблеми моделювання композитних елементів конструкцій, які знаходяться в умовах нестационарних навантажень. Але основну увагу приділяється проектуванню таких елементів в умовах статичного навантаження і вільних коливань. У роботі розв'язано задачу мінімізації маси шаруватих ортотропних циліндричних оболонок при імпульсному навантаженні. Динамічна поведінка оболонок описується на основі кінематичних гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву, обтіснення по товщині та інерції обертання нормального елемента у межах кожного шару. Задача про коливання оболонки розв'язується методом занурення. Задача оптимізації формулюється у термінах нелінійного програмування. Для її розв'язання використано пошуковий метод оптимізації з адаптивним керуванням обчислювальним процесом [1]. Досліджено вплив радіуса кривизни на оптимальний проект двошарової оболонки. Знайдено екстремуми, що відповідають оптимальним оболонкам та пластинам.

1. Шелудько Г.А., Шупіков О.М., Сметанкіна Н.В., Угрімов С.В. Прикладний адаптивний пошук. – Харків: Око, 2001. – 191 с.

УДК 539.3

РОЗРАХУНОК ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ РІДИНИ В ОБОЛОНКАХ ОБЕРТАННЯ

Мироненко М.Л., аспірантка

*ІПМаш НАН України, відділ гідроаеромеханіки
енергетичних машин*

Задачі руху тіл, які мають порожнини, частково заповнені рідиною, є поширеними у сфері ракетно-космічної техніки. Застосування методів математичного моделювання для визначення форм та частот коливань, які виникають під час руху рідинних ракет-носіїв, є важливою складовою у забезпеченні їх стійкості.

Метою даної роботи є розробка методики для визначення форм та частот вимушених коливань рідини, що виникають у баках ракет-носіїв під час місії, з урахуванням умов експлуатації (наприклад, рівня заповнення баків, величини перенавантажень).

Розглядається жорстка циліндрична оболонка обертання, частково заповнена рідиною. Розробка математичної моделі ґрунтується на наступних гіпотезах: розглядається ідеальна нестислива рідина, рух якої є безвихровим. Досліджуються малі коливання, які є предметом лінійної теорії коливань. Існує потенціал швидкості, градієнт якого є швидкістю рідини, та задовольняє рівнянню Лапласа. На вільній поверхні використовуються динамічна та кінематична граничні умови.

Узагальнення динамічної граничної умови для вільної поверхні дозволяє врахувати поверхневий натяг, який в умовах мікрогравітації є визначальним фактором при дослідженні коливань рідини в оболонках обертання.

Отримано числові результати коливань рідини в оболонковій конструкції при різних рівнях її заповнення та різних значеннях перенавантаження. Також отримано фазові портрети, що відображають коливання рідини під дією вертикального навантаження. Виконано аналіз числових результатів.

УДК 539.3

РОЗРАХУНОК ТЕРМОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ БАГАТОШАРОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК ПІД ДІЄЮ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ

Постний О.В., аспірант, **Місюра С.Ю.**, к.т.н., н.с.
*ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних
досліджень*

Достовірне визначення термонапруженого стану елементів конструкцій є однією з актуальних задач у сучасній техніці. Від її успішного розв'язання залежить надійність і ефективність роботи елементів різних конструкцій, які часто мають шарувату структуру.

Запропоновано метод розв'язання стаціонарної задачі термонапруженості багатошарових незамкнених циліндричних оболонок складної форми в плані при впливі нестационарних температурних полів.

Метод базується на прийомі занурення складної області в область канонічної форми та дозволяє подати розв'язок задачі у вигляді розвинень у тригонометричні ряди. Деформування оболонки описується на основі гіпотез, які враховують деформації поперечного зсуву та обтиснення вздовж товщини у межах кожного шару оболонки.

Температурні впливи отримано в результаті розв'язання задачі теплопровідності, яка зводиться до інтегрування системи інтегродиференціальних сингулярних рівнянь. Досліджено температурні поля та напруження в шарах багатошарового скління сучасних літаків при нагріванні плівковим джерелом тепла. Проведено порівняння з даними експерименту та встановлено вірогідність одержаних результатів. За результатами розрахунку встановлено, що підвищені температурні напруження локалізуються у кутах та посередині джерела електрообігріву, що збігається з експериментальними даними. Запропонований підхід дозволяє скоротити витрати і час на передпроектні дослідження термонапруженого стану багатошарових конструкцій.

УДК 539.4

ДИНАМІЧНА ВТРАТА СТІЙКОСТІ ПОЛОЖЕННЯ РІВНОВАГИ СКЛАДЕНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНО- ГРАДІЄНТНОЇ ОБОЛОНКИ

Сахно Н.Г., аспірантка

*НТУ «ХПІ», кафедра комп'ютерного моделювання
процесів та систем*

Новітні матеріали, такі, як нанокompозити, дозволяють створювати легкі та міцні оболонкові конструкції, що робить їх дуже актуальними для ракетно-космічної галузі. При цьому раціональний вибір матеріалу дозволяє значно підвищити надійність конструкції та забезпечити збереження корисного вантажу.

Створення обтічників ракетноносіїв з нанокompозитних матеріалів дозволяє забезпечити необхідне співвідношення маси та міцності. Аналіз втрати обтічником динамічної стійкості внаслідок дії газового потоку є необхідним етапом при проектуванні. Слід враховувати те, що обтічник моделюється складеною коніко-циліндричною оболонкою.

Нанокompозитні матеріали створюються з використанням різних схем армування матриці вуглецевими нанотрубками. При цьому створюється функціонально-градієнтний, ортотропний матеріал.

Запропоновано проводити аналіз динамічної стійкості положення рівноваги складеної нанокompозитної оболонки, яка моделює обтічник ракетноносія, методом заданих форм. Форми вільних коливань складеної оболонки пропонується відшукувати методом Релея-Рітца з використанням спеціальної системи кускових базисних функцій, яка дозволяє аналізувати поведінку складеної оболонки одинарної кривизни. В результаті аналізу отримано значення критичного тиску надзвукового газового потоку при різних значеннях числа Маха. Тип нанокompозиту, який використано при побудові обтічника, може значно вплинути на значення критичного тиску.

УДК 539.3

ВПЛИВ ПРУЖНОСТІ НА КОЛИВАННЯ ОБОЛОНОК, ЗАПОВНЕНИХ РІДИНОЮ, ПРИ КОМБІНОВАНОМУ ПОВЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Усатова О.О., аспірантка

*ІПМаш НАН України, відділ гідроаеромеханіки
енергетичних машин*

Коливання є одними з найбільш розповсюджених форм руху. Напруження при коливанні мають знакозмінний характер, тому вони можуть викликати «втомливість» матеріалу. Для оцінки ефектів пружності стінок оболонки було розроблено математичну модель, що базується на таких гіпотезах: рідина нестислива і нев'язка, рух рідини є безвихровим, враховуються лише незначні коливання пружних елементів, але в цій роботі не враховані плескання вільної поверхні.

Для спрощення розрахунків різних об'єктів на коливання впроваджують поняття коливальної системи. Це дозволяє розглянути різні за природою (фізичні, механічні та ін.) коливання з однієї позиції та використовувати для вивчення єдину математичну систему. Динамічні навантаження можуть мати детермінований або стохастичний характер. Коли зміни навантаження в часі відомі, тоді це називають детермінованим навантаженням. Саме такі навантаження досліджені в даній роботі. При такому навантаженні можна встановити закони зміни переміщення коливальної системи в часі, що відповідають зміні навантаження. Динамічні навантаження можуть бути і комбінованими.

Для достатньо тонких конструкцій основна частота плескання перестає бути найнижчою. Це явище має велике значення, коли на елементи конструкції, що взаємодіють з рідиною, діє комбіноване поздовжньо-поперечне навантаження, оскільки це буде причиною появи додаткових резонансів. В роботі досліджені коливання оболонки з рідиною під дією комбінованих детермінованих навантажень.

УДК 519.6

**СИСТЕМА АСИМПТОТИЧНО НОРМАЛІЗОВАНИХ
R-ОПЕРАЦІЙ****Баранов І.А., к.ф.-м.н., с.н.с.***ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій*

Важливими властивостями R-операцій є збереження нормалізованості та гладкості. Збереження нормалізованості використовується при побудові багатьох структур розв'язків крайових задач. Ця властивість означає, що якщо до нормалізованих рівнянь ділянок межі застосовувати R-операції, які зберігають нормалізованість, то одержане рівняння також буде нормалізованим. Відомо, що всі відомі R-операції, які зберігають нормалізованість, не є гладкими в точці (0,0). Метою цієї роботи є дослідження властивостей гладких та нормалізованих R-операцій, з метою використання цих властивостей при побудові рівнянь об'єктів.

В роботі показано, що всі нормалізовані системи R-операцій не є гладкими в точці (0,0), та показано, що для всіх гладких R-операцій виконується умова, що всі частинні похідні до порядку гладкості дорівнюють нулю. Отже, для гладких R-операцій властивість нормалізованості в повній мірі забезпечити неможливо, проте можна властивість нормалізованості забезпечити асимптотично. Система R-операцій, яка задовольняє умові нормалізованості асимптотично, має такий вигляд:

$$x_{\wedge}^{kan} y = \frac{x|x|^k + x|y|^k + y|x|^k + y|y|^k - \left(|x|^k + |y|^k\right)^{(k+1)/k}}{|x|^k + |y|^k + \alpha};$$

$$x_{\vee}^{kan} y = \frac{x|x|^k + x|y|^k + y|x|^k + y|y|^k + \left(|x|^k + |y|^k\right)^{(k+1)/k}}{|x|^k + |y|^k + \alpha};$$

$$\bar{x} = -x.$$

Тут $\alpha > 0$.

УДК 621.315.2

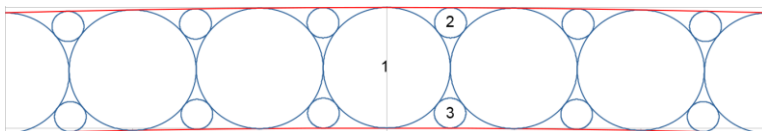
ОБЧИСЛЕННЯ ВЕЛИЧИНИ СТРУМІВ В ЕКРАНАХ КАБЕЛІВ ВИСОКОЇ НАПРУГИ ЗА ДОПОМОГОЮ MSM

Грінченко В.С., к.т.н., заст. директора з наук. роботи,
Яковенко В.М., м.н.с.

*ДУ «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України»,
відділ фізики і техніки магнітних явищ*

Сучасні кабельні лінії (КЛ) високої напруги складаються з одножильних кабелів з ізоляцією зі зшитого поліетилену. Відповідно до нормативного документу «Правила улаштування електроустановок» виконується заземлення струмопровідних екранів кабелів. Одним із способів є заземлення з обох кінців. Недолік такого способу заземлення полягає в тому, що в екранах індукуються електричні струми. Теплова дія цих струмів призводить до зменшення пропускної спроможності КЛ. Для обрахунку струмів в екранах використовують відповідні аналітичні співвідношення. Але вони не дають змогу дослідити нерівномірності кутових розподілів густини струму. У відомих роботах для аналізу таких нерівномірностей застосовують метод скінченних різниць або метод інтегральних рівнянь.

Multiconductors method (MSM) був запропонований Frix та Karady у 1997 р. для знаходження струмів у електромагнітних плоских екранах. У представлений роботі MSM адаптовано до знаходження розподілу струму в екранах кабелів. Нами модифіковано спосіб «заповнення» екрана. Якщо в оригінальній роботі використовувалися провідники двох діаметрів, то для «заповнення» екрана кабелю застосовано провідники трьох діаметрів: більший дорівнює товщині екрана, менший діаметр мають провідники, прилеглі до зовнішньої поверхні екрана, а найменший діаметр у провідників, прилеглих до внутрішньої поверхні.



ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕОРЕТИЧНОГО ТА ДІЙСНОГО ЦИКЛІВ ГАЗОТУРБІННОЇ УСТАНОВКИ

Литвиненко М.В., технік, **Тарасова В.О.**, д.т.н., с.н.с.
ІПМаш НАН України, відділ когенераційних систем

Аналіз літературних джерел показав, що, не дивлячись на давню історію створення і удосконалення газотурбінних установок (ГТУ), у зв'язку з розробленням нових високотемпературних матеріалів і удосконаленням системи охолодження лопаток, задача оптимізації їхніх режимно-конструктивних параметрів й досі залишається вкрай актуальною.

В результаті роботи, метою якої було дослідження термодинамічних процесів, які відбуваються у ГТУ, шляхом проведення термодинамічного аналізу та оптимізації їх циклів:

- отримано регресійні залежності для оцінки енергетичної ефективності теоретичного та дійсного простого і регенеративного циклів ГТУ при варіюванні його визначальних параметрів;

- запропоновано застосовувати метод планування експерименту для визначення ступеня впливу основних визначальних факторів на абсолютний внутрішній ККД дійсного циклу Брайтона;

- отримано залежності для знаходження оптимального ступеня підвищення тиску повітря у компресорі за умови максимального значення роботи простого та регенеративного циклів Брайтона.

Результати роботи важливі для більш глибокого розуміння взаємовпливу режимних параметрів на енергетичну ефективність простого і регенеративного циклів газотурбінної установки. Вони можуть бути використанні при створенні високоефективних як стаціонарних ГТУ, так і газотурбінних двигунів.

В подальшому дослідженні планується проведення більш детального багатфакторного термодинамічного аналізу дійсного простого та регенеративного циклів Брайтона з урахуванням більшої кількості факторів впливу.

УДК 62.611

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОДОВЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНИХ РОЗВ'ЯЗКІВ СИСТЕМ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ РІВНЯНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ДУАЛЬНИХ ЧИСЕЛ

Малишев С.Є., аспірант
*НТУ “ХПІ”, кафедра математичного моделювання
процесів та систем*

При розв'язанні задач про нелінійні коливання механічних систем часто виникає необхідність будувати амплітудно-частотні характеристики та вивчати біфуркації нелінійних коливань. Для отримання біфуркаційних діаграм використовується метод продовження по параметру. В даній роботі для реалізації алгоритму використовується автоматичне диференціювання.

Метод продовження по параметру зводиться до розв'язання систем нелінійних рівнянь методом Ньютона при різних значеннях параметру. Відомо що для реалізації метода Ньютона необхідно розрахувати матрицю Якобі. В класичних роботах використовується два підходи: чисельне диференціювання, або використання допоміжних систем, отриманих аналітичним шляхом. Перший спосіб має недолік, пов'язаний з втратою точності, другий спосіб змушує використовувати аналітичне диференціювання. Підхід автоматичного диференціювання поєднує простоту першого та точність другого способу. Для реалізації автоматичного диференціювання було вирішено використати прямий підхід за допомогою дуальних чисел. Вибір такого підходу пов'язаний з тим, що така реалізація є оптимальною з точки зору пам'яті.

Розроблений алгоритм був протестований на задачах А-В та А-В-С реакції, проведено порівняння отриманих результатів з відомими з літератури. Також підхід був протестований на задачах продовження на параметричній площині для задачі коливань ротора з погашувачем коливань. Результатом розробки алгоритму є експериментальна бібліотека, реалізована мовою програмування C++.

УДК 621.3.013

**ВПЛИВ НЕОДНОРІДНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ
КОТУШКИ НА МАГНІТНИЙ МОМЕНТ ОСЕРДЯ ІЗ
ПОЛЮСНИМИ НАКОНЕЧНИКАМИ****Чуніхін К.В.**, к.т.н., н.с.*ДУ «Інститут технічних проблем магнетизму НАН України»,
відділ фізики і техніки магнітних явищ*

Виконано таке ж саме дослідження, що і в роботі [1], при наявності полюсних наконечників. Їхні додаткові позначення: R_w , h_w – зовнішній радіус та товщина, $R_w=9$ мм; h_c – відстань до найближчого торця циліндричного осердя. Результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1

b , мм; b/R	$h_w=h_c$, мм	$H_0=I_c w/L_K$, А/м	w	I_c , мА	$M_z(H_0)$, А·м ²	M_z , А·м ²	ζ , %
80; 16	1	1646,66	4256	29,40	0,478	0,452	5,40
		3293,31	4256	58,81	0,956	0,905	5,35
		6586,62	4256	117,62	1,911	1,807	5,43
		9879,93	4256	176,43	2,863	2,707	5,43
165; 33	2	1646,66	8792	29,40	2,474	2,408	2,65
		3293,31	8792	58,81	4,928	4,795	2,70
		6586,62	8792	117,62	9,658	9,405	2,62
		9879,93	8792	176,43	12,657	12,470	1,47
330; 66	4	1646,66	17584	29,40	13,135	12,945	1,45
		3293,31	17584	58,81	22,933	22,711	0,97
		6586,62	17584	117,62	27,352	27,116	0,86
		9879,93	17584	176,43	28,870	28,603	0,93

1. Чуніхін К.В. Вплив неоднорідності магнітного поля котушки на магнітний момент осердя електромагніту системи керування космічним апаратом. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тези доп. XXIX міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2021, 18-20 травня 2021 р.: у 5 ч. Ч. I. Харків. С. 287.

UDC 519.85

CLUSTERING COMPOSED 2D-OBJECTS

Dubinsky V.M., graduate stud.¹, **Lysenko B.S.**, student²

¹*IPMach of NAS of Ukraine, Department of Mathematical
Modeling and Optimal Design*

²*Kharkiv National University of Radioelectronics, Department
of Applied Mathematics*

Cutting and packing problems arise in many fields of applications and theory. When dealing with irregular objects, an important subproblem is the identification of the optimal clustering of two objects. Within this research we consider a containing region of variable sizes and two irregular objects bounded by circular arcs and/or line segments, that can be continuously translated and rotated. In addition minimal allowable distances between objects and between each object and the frontier of a container, may be imposed. The objects should be arranged within a container such that a given objective will reach its minimal value. We consider a polynomial function as the objective, which depends on the variable parameters associated with the objects and the container. The paper presents a mathematical model and a solution strategy which are based on the concept of phi-functions [1,2] and provide some examples of finding the containing region that has either minimal area, perimeter or homothetic coefficient of a given container, as well as finding the convex polygonal hull (or its approximation) of a pair of objects composed by basic shapes (rectangles, circles, convex polygons) .

[1] Yu. Stoyan, A. Pankratov and T. Romanova, "Cutting and Packing problems for irregular objects with continuous rotations: mathematical modeling and nonlinear optimization," J. Oper. Res. Soc., vol. 67(5), pp. 786–800, 2016.

[2] Yu. Stoyan, T. Romanova "Mathematical Models of Placement Optimisation: Two- and Three-Dimensional Problems and Applications". In: Fasano G., Pinter J. (eds.) "Modeling and Optimization in Space Engineering", 73, pp.363-388. Springer Optimization and its Applications, New York, 2013

CIRCULAR SPARSE LAYOUT

Maximov S.V., graduate stud.¹, **Zhmud O.O.**, graduate stud.²

¹*IPMach of NAS of Ukraine, Department of Mathematical Modeling and Optimal Design*

²*Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine, Department of Nonsmooth optimization methods*

Balanced circular layout with a prohibited zone is considered. The problem is motivated by thermal deburring, the modern technology of removing burrs from machine parts by detonating gas mixtures in a cylindrical deburring chamber [1]. To achieve a uniform distribution of thermal and pressure effects, the chamber zone with extremely high temperature/pressure has to be excluded from the feasible layout thus giving rise to the layout with the prohibited zone. Cylindrical parts have to be placed as distant as possible one from another, as well as from the border of the cylindrical container and from the prohibited cylindrical zone. Mechanical stability of the layout is assured by introducing balancing conditions. The overall problem is then reduced to the two-dimensional sparse circular packing problem subject to the prohibited circular zone and the balancing conditions. Mathematical model, using the phi-function technique, is presented based on [2]. A solution algorithm is provided and illustrated with some computational results. Three cases are considered: the sparse balanced and unbalanced layouts, as well as the sparse balanced layout with the prohibited zone. The latter layout is considered to be the most promising for the uniform thermal processing.

[1] Benedict, G.F.: Thermal energy method: deburring (TEM). In: Nontraditional Manufacturing Processes (pp. 349–361). CRC Press, Boca Raton (2017).

[2] Romanova, T., Pankratov, A., Litvinchev, I., et al.: Sparsest packing of two-dimensional objects. International Journal of Production Research (2020).

УДК 536.24:621.039

ОЦІНКА ТЕПЛОВОГО СТАНУ БЕТОННОГО КОНТЕЙНЕРА ЗБЕРІГАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Альохіна С.В., д.т.н., с.н.с.¹, Корягіна І.В., студентка²

¹*ІПМаш НАН України, відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів*

²*ХНУ імені В.Н.Каразіна*

У багатьох країнах відсутність технології переробки відпрацьованого ядерного палива потребує створення сховищ для його безпечного зберігання протягом довготривалого часу. Аналіз теплового стану контейнера зберігання відпрацьованого ядерного палива з урахуванням конструктивних особливостей контейнера та зовнішніх кліматичних впливів є необхідною складовою комплексного аналізу безпеки такого сховища. Так, наприклад, визначення рівня коливання температур в контейнері з ВЯП для подальшого розрахунку його термонапруженого стану необхідно для оцінки можливості розтріскування бетону в процесі довготривалої експлуатації контейнерів. Нажаль, подібні роботи виконуються лише на етапі проєктування основного обладнання зберігання і зазвичай не враховують таких довготривалих впливів як погодно-кліматичні.

На сьогоднішній день авторами в рамках підходу з найкращої оцінки (best estimation approach) теплового стану контейнерів сухого зберігання ВЯП за допомогою ітераційної методики розрахунку, яка базується на використанні розв'язків прямих та обернених задач теплообміну, було проведено серію теплових розрахунків контейнеру з ВЯП. Із застосуванням цього підходу було розглянуто вплив добових коливань температури зовнішнього повітря в різні пори року на тепловий стан бетонного контейнеру з ВЯП.

УДК 536.24:621.039

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ НА ЕТАПІ ВИБОРУ ПЛОЩАДКИ ДЛЯ СХОВИЩ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА

Альохіна С.В., д.т.н., с.н.с.¹, **Чугай А.М.**, д.т.н., с.н.с.²

ІПМаш НАН України,

¹*відділ моделювання та ідентифікації теплових процесів,*

²*відділ математичного моделювання й оптимального
проектування*

Питанням ефективного проектування сховищ, а також оцінки режимів теплового зберігання відпрацьованого палива (ВЯП) та високоактивних радіоактивних відходів (ВАВ) приділяється мало уваги. Введено поняття теплової безпеки сховища та поставлено проблему створення методів оцінки безпеки з урахуванням різних факторів протягом усього життєвого циклу сховища. Показано необхідність врахування режимів теплового зберігання ВЯП та ВАВ на етапі вибору місця зберігання, сформовано модель та метод оптимального розміщення контейнерів ВЯП та ВАВ на місці зберігання на основі ϕ -функцій. Метод оцінки теплового стану обладнання, ВЯП та ВАВ при тривалому зберіганні модернізовано шляхом включення розв'язання прямих та обернених проблем теплопередачі. Наукова новизна роботи: запропоновано системний підхід до оцінки безпеки зберігання, а концепцію теплової безпеки розширено на весь життєвий цикл сховища: від етапу вибору місця зберігання до виведення з експлуатації; для врахування топографічних особливостей місцевості при проектуванні відкритого сховища запропоновано підхід, заснований на математичному моделюванні відношень між геометричними об'єктами з використанням методу ϕ -функцій.

УДК 621.31

ЗАСОБИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

Березниченко В.О., аспірантка, **Зайцев Є.О.**, д.т.н., пров.н.с.
*Інститут електродинаміки НАН України, відділ електричних і
магнітних вимірювань*

Особливістю вимірювань в енергетиці є нестандартність, а інколи унікальність завдань із реалізації засобів вимірювання контрольно-діагностичних параметрів електрообладнання. Це обумовлено тим, що контроль стану обладнання електростанцій здійснюється в умовах високих напруг, електромагнітних завад, широкого діапазону температур, вібрацій, вибухонебезпечних, пожежонебезпечних та агресивних середовищ, часто в таких місцях, доступ до яких обмежено. Для вирішення зазначених проблем та створення первинних засобів отримання інформації для систем діагностування потужних електричних машин, в Інституті електродинаміки НАН України було спроектовано та реалізовано цілу гамму спеціалізованих вимірювачів [1]. Наприклад, первинний вимірювальний перетворювач системи контролю та діагностування повітряного зазору капсульного гідрогенератора СГК538/160–70М, первинний вимірювальний перетворювач системи контролю та стабілізації зусилля в стяжних призмах, оптоволоконна система контролю ступеню стиснення активного заліза статора та інші. Для створення оптимальних за конструкцією та технічними характеристиками засобів визначення контрольно-діагностичних параметрів було використано засоби комп'ютерного моделювання. Моделювання проводилося з урахуванням умов експлуатації і особливостей зони контролю [2].

1. Zaitsev Ie., Levytskyi A. Hybrid electro-optic capacitive sensors for the fault diagnostic system of power hydrogenerator. *Clean Generators - Advances in Modeling of Hydro and Wind Generators.*, 2020, P.25-42.

2. Zaitsev Ie., Levytskyi A., Bereznynchenko V. Hybrid diagnostics systems for power generators faults: systems design principle and shaft run-out sensors. *Power systems research and operation: Selected Problems/* за ред. О.В. Кириленко. Springer.

УДК 621.436; 539.4

МОДИФІКАЦІЯ РІВНЯННЯ СТАНУ РЕДЛІХА-КВОНГА-АНГ'Є ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У ШИРОКОМУ ДІАПАЗОНІ РОБОТИ CO₂**Воробйова Г. С., аспірантка***НАУ “ХАІ”, кафедра конструкції авіаційних двигунів*

Надкритичні цикли Брайтона є одними з найбільш перспективних для досягнення максимально високої ефективності без збільшення габаритних розмірів складових циклу. Габаритні розміри складових надкритичних циклів CO₂ оцінюються приблизно 1/10 у порівнянні до розмірів парових циклів Ренкіна.

Деякі цикли S-CO₂ можуть працювати не тільки в надкритичній області та безпосередньо біля критичної точки, а і у рідкому та двофазному регіонах. Для оцінки термодинамічних властивостей робочого тіла важливе місце займає рівняння стану реального газу. Найбільшу застосовність у 3D CFD моделюванні займають трипараметричні рівняння стану завдяки простоті форми рівнянь та швидкості розрахунків. Для моделювання CO₂ циклу з конденсацією було вибрано рівняння стану Редліха-Квонга-Анг'є, яке забезпечує високу точність розрахунків у надкритичній та газовій областях. Рівняння також може використовуватися у двофазній області за умови доповнення рівнянням Ямади-Ганна для визначення об'єму рідкої фази CO₂ та рівнянням Лі-Кеслера для визначення тиску насиченої пари.

Розроблено точний метод оцінки термодинамічних показників CO₂ у рідкій області. Рівняння стану Редліха-Квонга-Анг'є було доповнено масштабною поправкою та шифт-коефіцієнтом.

Розроблено більш точний метод оцінки термодинамічних показників CO₂ у надкритичній області для докритичних значень густини.

УДК 621.224

ДО РОЗРОБКИ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ОБОРОТНОЇ ГІДРОМАШИНИ ДЛЯ УМОВ КАНІВСЬКОЇ ГАЕС

Коротаєв П.О., к.т.н., с.н.с.

*ІПМаш НАН України, відділ гідроаеромеханіки
енергетичних машин*

У 2020 р. в Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного Національної академії наук України (ІПМаш) було розроблено проточні частини двох варіантів оборотної гідромашини підвищеної швидкохідності для умов Канівської ГАЕС. За допомогою 3D-принтера було виготовлено моделі спіральної камери, колон статора, лопаток напрямного апарату (НА) і два робочих колеса (РК) (9 та 7 лопатей) діаметром $D_1=350$ мм.

Дослідження моделі насос-турбіни проводилось на гідродинамічному стенді ЕКС-30 ІПМаш в турбінному режимі при напорі $H=6$ м, в насосному режимі при частоті обертання РК 800 хв^{-1} .

Максимальне значення ККД дев'ятилопатевого колеса в 88,04 % отримано в турбінному режимі при відкритті НА $a_0=20$ мм, приведений витраті 570 л/с і приведений частоті обертання $80,5 \text{ хв}^{-1}$. Максимальний ККД в насосному режимі 87 % отримано при відкритті НА $a_0=19$ мм і витраті 550 л/с. Основною особливістю отриманої характеристики в турбінному режимі є розташування лінії обмеження потужності при значно більших значеннях витрати, що дає змогу надійно використовувати агрегат в більш широкому діапазоні режимів і генерувати більшу потужність.

Максимальне значення ККД семилопатевого колеса в 87,2 % отримано в турбінному режимі при відкритті НА $a_0=22,5$ мм, приведений витраті 498 л/с і приведений частоті обертання 83 хв^{-1} . Максимальний ККД в насосному режимі 86,8 % отримано при відкритті НА $a_0=21$ мм і витраті 445 л/с.

Проведені енергокавітаційні дослідження показали високий рівень ККД, що відповідає сьогоденішньому світовому рівню, а результати розробки і дослідження проточної частини можуть бути використані при проектуванні насос-турбіни для Канівської ГАЕС.

УДК 539.3

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ХВОСТОВОГО З'ЄДНАННЯ РОБОЧИХ ЛОПАТОК ПАРОВОЇ ТУРБІНИ

Пальков І.А., заст. головного конструктора парових турбін,
Пальков С.А., нач. сектора
АТ «Турбоатом»

Надійність роботи турбінного обладнання безпосередньо пов'язана з якістю його елементів. Серійне виробництво запчастин, в тому числі робочих лопаток, має бути забезпечено високим рівнем культури виробництва, що, в свою чергу, гарантує високу якість збірки та надійність під час експлуатації. З метою недопущення поломок чи аварійних ситуацій в умовах експлуатації на етапі виробництва робочих лопаток ретельно аналізуються будь-які відхилення в конструкції від вимог креслення.

Будь-яка конструкція хвостового з'єднання робочих лопаток характеризується високими вимогами до точності його виготовлення. Надвисокі вимоги, в першу чергу, пов'язані з високим та складним рівнем навантаження, що має місце під час експлуатації. Мінімальне відхилення від теоретичного профіля хвостового з'єднання може стати причиною перерозподілу напружень в його елементах.

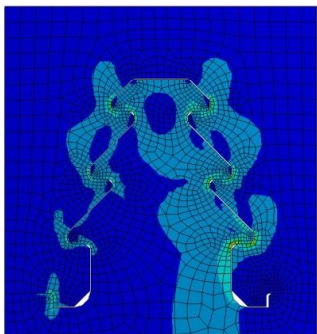


Рис. 1. Напружений стан хвостового з'єднання при відсутності контакту з одного боку реборди

В даній роботі пропонуються до уваги результати розрахункових досліджень з визначення впливу якості виготовлення на міцність на прикладі грибового хвостового з'єднання робочих лопаток парової турбіни, яке має три опори (рис. 1). Представлена технологія базується на використанні методу скінченних елементів. Розв'язання задачі виконується в контактній постановці.

УДК 539.3

РОЗРАХУНКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СЕЙСМОСТІЙ- КОСТІ КОНДЕНСАТОРА ПОТУЖНОЇ ТУРБОУСТАНОВ- КИ

Пальков С.А., нач. сектора,
Пальков І.А., заст. головного конструктора парових турбін
АТ «Турбоатом»

Розрахунок на сейсмостійкість є обов'язковим етапом перевірного розрахунку обладнання турбоустановки і служить для визначення можливості використання в сейсмічних районах обладнання електростанцій, спроектованих відповідно до вимог нормативних документів. На теперішній час вимоги до сейсмостійкості енергетичного обладнання увійшли до розряду обов'язкових при проектуванні не тільки атомних, а й теплових електростанцій, розміщених в сейсмонезбезпечних районах. Велика увага, яка приділяється питанню забезпечення сейсмостійкості обладнання електростанцій, визначається не тільки небезпекою радіоактивного забруднення навколишнього середовища, загибелі людей, великих матеріальних втрат, а й можливістю істотно підвищити надійність обладнання при нормальних умовах експлуатації. Це пов'язано з тим, що розрахунок на сейсмостійкість є по суті додатковим аналізом всієї конструкції при динамічному впливі, що має широкий спектр частот від нуля до декількох десятків герц. Цей діапазон включає практично всі робочі і власні частоти обладнання. В результаті, вже на стадії проектування виявляються слабкі елементи конструкції, які неможливо виявити традиційними методами аналізу. Згідно із загальним підходом до антисейсмічного проектування, сейсмостійкість турбоагрегату вважається забезпеченою, якщо вплив проектного землетрусу не порушує його працездатності і забезпечується вироблення електроенергії з негарантованою економічністю під час і після землетрусу.

Виходячи з цього загального принципу, в даній роботі оцінювалася сейсмостійкість елементів конденсатора парової турбіни за методикою, в основу якої покладено метод скінченних елементів.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СТАДІЇ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДНЕВОЇ ТЕРМОБАРОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Велігоцький Д.О., к.т.н., н.с.

ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

Метою досліджень було підвищення керованості та ефективності хіміко-технологічного процесу (ХТП), на якому базується розроблена в ІПМаш НАН України технологія комплексного водневого термобарохімічного впливу (КВТБХВ) на продуктивний пласт.

Аналіз кінетики ХТП, який утворюється базовим складом компонентів системи горючо-окислювальні склади – гідрореагуючі речовини (ГОС-ГРР), показав, що водень на водневих стадіях використовується не ефективно. Зокрема, на високотемпературній стадії термобарохімічного процесу не забезпечується стабільний температурний рівень, і гідрокрекінг асфальто-смоло-парафінових відкладень (АСПВ) протікає не в потрібному обсязі, або зовсім не відбувається.

Експериментально доведено, що використання в якості активатора процесу горіння 0,7-0,95% (мас) полімерного нітрилу параціану від загальної кількості ГОС-ГРР дозволяє підвищити температуру та тривалість протікання високотемпературної стадії ХТП до рівня, на якому за наявності активованого водню відбуваються процеси часткового гідрокрекінгу важких вуглеводнів безпосередньо в пласті.

На створеному експериментальному комплексі в умовах, наближених до пластових, здійснено обробку попередньо закольматованих стійкою до руйнування водонафтовою емульсією кернів. Експериментально встановлено, що ХТП КВТБХВ з активацією полімерним нітрилом параціану разом з використанням ГРР на основі алюмінію та натрію є найефективнішим оскільки коефіцієнт відновлення проникності обробленого керну за зазначеним ХТП склав 1,05, що свідчить не лише про відновлення проникності, але й про її збільшення в порівнянні з початковою.

УДК 621.436; 539.4

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОБАРОХІМІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГІДРОЛІЗУ ВОДЕНЬГЕНЕРУЮЧОЇ НАНОСУСПЕНЗІЇ В ПЛАСТОВИХ УМОВАХ

Велігоцький Д.О., к.т.н., н.с., **Баштовий А.В.,** аспірант
ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

З використанням гідрокавітаційної технології одержано зразки стійкої до стратифікації та седиментації воденьгенеруючої наносуспензії, дисперсною фазою якої є мікро- і наночастки гідрореагуючої речовини – алюмогідриду натрію.

Попередні дослідження довели, що фільтрація такої суспензії через гірську породу привибійних зон нафтових свердловин, які зменшили початкову проникність внаслідок насичення водонафтовою емульсією, супроводжується екзотермічною реакцією гідрореагуючих речовин з водною фазою з утворенням активного водню, забезпечує комплексну водневу та термохімічну дії, сприяє відновленню проникності та збільшенню видобутку нафти.

На створеному експериментальному комплексі вперше, в умовах, наближених до реальних пластових, проведено фізичне моделювання та досліджено кінетику термобарохімічного процесу гідролізу воденьгенеруючої суспензії в експлуатаційній колоні свердловини. Доведено, що на характер протікання та кінетику термобарохімічного процесу суттєвий вплив мають початковий тиск в реакторі та властивості суспензії.

Результати цих досліджень, в першу чергу термобаричні показники процесу та характер його протікання, а також одержані залежності впливу гарячих водню та інших продуктів реакції на зміну фазової проникності керну гірської породи, дали змогу розробити регламенти використання воденьгенеруючої суспензії як окремої технології інтенсифікації видобутку, так і в якості стадії технології комплексного водневого термобарохімічного впливу на привибійну зону продуктивного горизонту.

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРОКАВІТАЦІЙНОЇ АКТИВАЦІЇ ПРИ СТВОРЕННІ ТА СПАЛЮВАННІ НОВИХ ВИДІВ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПАЛИВ

Гоман В.О., к.т.н., н.с.

ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

Експериментально доведено, що при створенні та спалюванні нових видів штучних рідких композиційних палив з використанням методу гідрокавітаційної активації (ГКА), на фізико-хімічні властивості та енергоекологічні показники горіння одержуваної паливної суміші впливає численна кількість факторів. З метою одержання паливних сумішей із заданими властивостями та зменшення кількості необхідних експериментальних досліджень розроблено методологію визначення ефективності гідрокавітаційної активації при створенні та спалюванні композиційних палив.

В основу методології покладено два основних взаємопов'язаних алгоритми: визначення ефективності застосування ГКА при створенні композиційного палива; визначення технічних засобів та технологічних параметрів ефективності спалювання паливної суміші. При проведенні комплексних теоретичних та експериментальних досліджень за даними алгоритмами визначаються ефективні режими роботи та конструкційне виконання гідрокавітаційного обладнання для створення паливної суміші, технічні засоби і технологічні режими їх роботи для передполум'яної підготовки та подальшого спалювання досліджуваного енергоресурсу, а також встановлюються енергоекологічні показники процесу горіння даного виду палива.

Розроблену методологію апробовано при розробці гідрокавітаційних технологій створення та спалювання рідкого котельного композиційного палива на основі некондиційних вуглеводнів, відпрацьованих технологічних рідин нафтогазовидобувної галузі, муніципальних стоків, відходів вуглезбагачувальних підприємств та ін.

УДК 624.042.5 + 624.042.12

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА ПРИ СВАРКЕ

Кадильникова А.В., аспирантка¹, **Савкин С.В.**, аспирант²

¹*Институт электросварки имени Е. О. Патона, отдел физико-металлургических проблем электрошлаковых технологий*

²*Национальная металлургическая академия Украины,
кафедра качества, стандартизации и сертификации*

С каждым годом повышаются требования к производимым сварным трубам. Особое внимание уделяется качеству сварного шва, а именно остаточным напряжениям в сварном шве и околошовной зоне. На данный момент в промышленных масштабах проблема негативно-го влияния на трубное изделие сварочного процесса решается термической обработкой всего сечения трубы, либо локальной обработкой сварного шва посредством отжига. Однако данный процесс является дорогостоящим, продолжительным по времени и не всегда экологичным.

Вибрационная обработка находит широкое применение в металлургических процессах. Отмечается положительное влияние вибрации с целью интенсификации пластической деформации в процессах прессования и волочения. При кристаллизации стальных слитков с применением вибрационной обработки определенных частот отмечено более интенсивное дробление зерен металла и формирование однородной структуры. Применение же вибрации при производстве сварных труб ограничивается постобработкой готовых изделий. Согласно исследованиям, применение вибрационной обработки к трубе после сварки позволяет снизить остаточные напряжения на 50%. Для сравнения, термическая обработка позволяет, по разным данным, снизить остаточные напряжения на 70-80%.

Это дает реальные предпосылки для поиска альтернативного способа снятия остаточных напряжений в сварных швах труб с применением вибрации непосредственно в процессе сваривания трубной заготовки.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЕСТЕСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ЭКИПАЖА МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА НА ПУТИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Поляков В.А., к.т.н., с.н.с.

*Институт транспортных систем и технологий НАН Украины,
отдел динамики и прочности новых и нетрадиционных
видов транспорта*

Основная функция магнитолевитирующего поезда (МЛП) – грузопассажирские перевозки. Его итоговая потребительская ценность определяется качеством движения механической подсистемы.

В неаварийном режиме, экипажи МЛП (ЭМЛП) движутся, не взаимодействуя между собой через сопряжения. Поэтому паттерном движения поезда в целом является динамика его экипажа, модель которой и подлежит первоочередному построению.

ЭМЛП – путенаправляемый. Его динамику удобно рассматривать относительно системы отсчёта (СО), отслеживающей путь. Такая СО не инерциальна, и для ЭМЛП возникает задача динамики относительного движения.

Модели движения, получаемые различными путями, разнятся как обобщёнными затратами на это получение, так и формой отражения совокупности структуры системы и процессов в ней. Но именно эти затраты и форма являются основными факторами, определяющими удобство построения и использования модели, а также диапазон функциональных возможностей такого использования. Модель динамики ЭМЛП относительно путевой СО построена тензорными методами, имеющими, по сравнению с традиционными, ряд существенных преимуществ.

Предлагаемый путь получения модели динамики ЭМЛП существенно повышает удобство построения и использования такой модели, а также расширяет диапазон возможностей ее использования.

UDC 504.064.4:621.431:389.14:528.088

DESIGN OF BILATERAL RESPIRATORY VALVE FOR RESERVOIRE FOR STORAGE OF COMBUSTIBLE TECHNICAL LIQUIDS OF PETROLEUM ORIGIN

Kovalenko S.A., M.Cs., Lect. of Dept.,
Kondratenko O.M., Cand.Cs.(Eng.), Assoc.Prof. of Dept.,
Polishchuk T.R., Student, **Kosyonkina N.D.**, Student
National University of Civil Defence of Ukraine

In order to obtain of initial data for calculating the design parameters of the two-way breathing valve of the reservoir for storage of combustible technical fluids of petroleum origin of the oil depot as the executive body of environmental protection technology, the values emissions on the example of diesel fuel and oil depot "Kharkivska" of LLC "TATNEFT-STATION-UKRAINE" (see Fig. 1). The influencing factors were the values of the daily atmospheric air temperature difference Δt and the degree of filling of the reservoir ε [1].

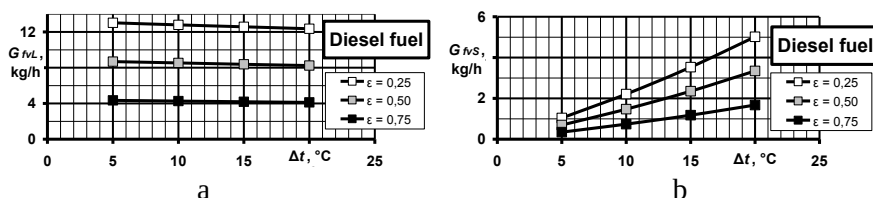


Fig. 1 – Results of the study for fuel vapor emissions from reservoir with diesel fuel caused by phenomenon of large (a) and small (b) respiration

References

1. Determination of emissions of vapor of technic flammable liquids from enterprise for their storing and distribution and rational adjustments of their breathing valves / O.M. Kondratenko, V.Yu. Koloskov, S.A. Kovalenko, Yu.F. Derkach, O.S. Botsmanovska, N.M. Podolyako // Technogenic and Ecological Safety. – № 8(2/2020). – С. 17–31.

ЗМІСТ

Секція А. Механіка

Кобильнік В.А. Нестационарне деформування циліндричної багатошарової панелі. Узагальнена модель.....	8
Меркулова А.І., Меркулов Д.О. Мінімізація маси шаруватих оболонок при імпульсному навантаженні.....	9
Мироненко М.Л. Розрахунок вимушених коливань вільної поверхні рідини в оболонках обертання.....	10
Постний О.В., Місюра С.Ю. Розрахунок термонапруженого стану багатошарових циліндричних оболонок під дією нестационарних температурних впливів.....	11
Сахно Н.Г. Динамічна втрата стійкості положення рівноваги складеної функціонально-градієнтної оболонки.....	12
Усатова О.О. Вплив пружності на коливання оболонок, заповнених рідиною, при комбінованому повздовжньо-поперечному навантаженні.....	13

Секція В. Математичне моделювання та ідентифікація

Баранов І. А. Система асимптотично нормалізованих R-операцій.....	14
Грінченко В.С., Яковенко В.М. Обчислення величини струмів в екранах кабелів високої напруги за допомогою МСМ.....	15
Литвиненко М.В., Тарасова В.О. Термодинамічний аналіз та оптимізація теоретичного та дійсного циклів газотурбінної установки.....	16
Малишев С.Є. Розробка алгоритму продовження періодичних розв'язків систем диференційних рівнянь за допомогою дуальних чисел.....	17
Чуніхін К.В. Вплив неоднорідності магнітного поля котушки на магнітний момент осердя із полюсними наконечниками.....	18
Dubinsky V.M., Lysenko B.S. Clustering composed 2D-objects.....	19
Maximov S.V., Zhmud O.O. Circular sparse layout.....	20

Секція С. Енергетика

Альохіна С.В., Корягіна І.В. Оцінка теплового стану бетонного контейнера зберігання відпрацьованого ядерного палива.....	21
Альохіна С.В., Чугай А.М. Математичні методи на етапі вибору площадки для сховищ відпрацьованого ядерного палива.....	22
Березниченко В.О., Зайцев Є.О. Засоби забезпечення надійності експлуатації генеруючого обладнання.....	23

Воробйова Г.С. Модифікація рівняння стану Редліха-Квонга-Анг'є для застосування у широкому діапазоні роботи CO_2	24
Коротаєв П.О. До розробки проточної частини оборотної гідромашини для умов канівської ГАЕС.....	25
Пальков І.А., Пальков С.А. Визначення впливу якості виготовлення на міцність хвостового з'єднання робочих лопаток парової турбіни.....	26
Пальков С.А., Пальков І.А. Розрахункове обґрунтування сейсмостійкості конденсатора потужної турбоустановки.....	27

Секція D. Машинобудування. Енергозбереження. Екологія.

Велігоцький Д.О. Підвищення ефективності високотемпературної стадії хіміко-технологічного процесу водневої термобарохімічної технології	28
Велігоцький Д.О., Баштовий А.В. Фізичне моделювання термобарохімічного процесу гідролізу воденьгенеруючої наносуспензії в пластових умовах...29	29
Гоман В. О. Методологія визначення ефективності гідрокавітаційної активації при створенні та спалюванні нових видів композиційних палив	30
Кадильникова А.В., Савкин С.В. Об особенностях применения вибрационной обработки металла при сварке.....	31
Поляков В.А. Построение модели естественной динамики экипажа магнитолевитирующего поезда на пути произвольной конфигурации.....	32
Kovalenko S.A., Kondratenko O.M., Polishchuk T.R., Kosyonkina N.D. Design of bilateral respiratory valve for reservoir for storage of combustible technical liquids of petroleum origin.....	33

Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої 145-річчю з дня народження академіка НАН України Г.Ф. Проскури та 95-річчю з дня народження академіка НАН України В.Л. Рвачова. Харків, 30 червня 2021 р.

Збірка містить тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів "Сучасні проблеми машинобудування", де було представлено роботи аспірантів та молодих наукових робітників Інституту проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, а також молодих співробітників та студентів закладів вищої освіти.

Розраховано на наукових співробітників, спеціалістів промисловості, докторантів, аспірантів та студентів.

Відповідальний за випуск: Виноходова Н. О.

Оригінал-макет підготовлено групою оргкомітета конференції "Сучасні проблеми машинобудування".
Тел. 349-47-78.

Комп'ютерну верстку виконав: Баранов І. А.

Підп. до друку 16.06.2021 р. Формат 60х90 1/16.
Ум. друк. арк. 1,5