



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК
УКРАЇНИ
Інститут проблем машинобудування
ім. А. М. Підгорного

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ
МАШИНОБУДУВАННЯ**

КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СПЕЦІАЛІСТІВ

*Конференцію присвячено
100-річчю Національної академії наук України*

Тези доповідей

Харків 2018

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 № 4 від 15.03.2018 р.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

чл.-кор. НАНУ Русанов А. В. – голова
академік НАНУ Мацевитий Ю. М.

чл.-кор. НАНУ Костіков А. О.

чл.-кор. НАНУ Стоян Ю. Г.

чл.-кор. НАНУ Тарелін А. О.

чл.-кор. НАНУ Шубенко О. Л.

д.т.н. Аврамов К.В.

д.т.н. Воробйов Ю. С.

д.т.н. Гнесін В. І.

к.т.н. Курська Н. М.

д.т.н. Кравченко О. В.

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.

д.т.н. Шупіков О. М.

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
100-річчю Національної академії наук України*

Тези доповідей

Харків 2018

27 листопада 1918 р. відбулися установчі Загальні збори Української академії наук, на яких першим президентом Академії було обрано видатного вченого-геолога і геохіміка зі світовим ім'ям В.І. Вернадського. Протягом багаторічної історії президентами Академії обиралися М.П. Василенко (1921-1922 рр.), О.І. Левицький (1922 р.), В.І. Липський (1922-1928 рр.), Д.К. Заболотний (1928-1929 рр.), О.О. Богомолець (1930-1946 рр.), О.В. Палладін (1946-1962 рр.). З 1962 року на чолі Академії – Б.Є. Патон.

Назва Академії зазнавала змін чотири рази. У 1918-1921 рр. вона іменувалася Українська академія наук (УАН), з 1921 по 1936 р. – Всеукраїнська академія наук (ВУАН), у 1936-1991 рр. – Академія наук Української РСР, з 1991 по 1993 р. – Академія наук України, а з 1994 р. – Національна академія наук України.

Українська академія наук була найстарішою з республіканських академій за часів існування СРСР. У перший рік своєї діяльності вона складалася з трьох наукових відділів – історико-філологічного, фізико-математичного і соціальних наук, які охоплювали 3 інститути, 15 комісій і національну бібліотеку. Тепер у НАН України є 3 секції, 14 відділень, близько 170 інститутів та інших наукових установ, у яких працює понад 19 тисяч науковців. Від часу свого заснування Академія пройшла великий шлях, за який сформувалися і вийшли на світовий рівень провідні вітчизняні наукові школи з різних галузей науки.

100-річна історія Національної академії наук України відзначена вагомими науковими здобутками. Здійснення вперше в колишньому СРСР штучної ядерної реакції, одержання "важкої" води, встановлення можливості прямого термоемісійного перетворення теплової енергії на електричну, з'ясування механізму функціонування мембрани нервової клітини, отримання вперше в світі високоактивного антибіотика рослинного походження, створення першої в континентальній Європі електронної обчислювальної машини – все це приклади винятково високого рівня досягнень вітчизняних вчених.

Суворим періодом був час Великої Вітчизняної війни, який став перевіркою творчих сил науки. Евакуація вчених не змусила їх припинити досліджень. Автоматичне зварювання під флюсом корпусів танків та артилерійських систем, трикоординатний радіолокатор, методи знесірчення нафти, виробництво швидкодіючого надміцного бетону, вирішення проблем ефективного лікування

поранених і запобігання інфекційним хворобам та епідеміям – це лише короткий перелік результативної роботи наших вчених.

З надзвичайною самовіддачею і відповідальністю наші вчені працювали у трагічні часи аварії на Чорнобильській атомній станції. З першого дня аварії фахівці відповідного профілю стали на цілодобову вахту й активно проводили дослідження безпосередньо в зоні аварії на зруйнованому четвертому блоці. Завдяки, без будь-якого перебільшення, героїчним зусиллям наших науковців вдалося встановити рівень радіації біля розвалу реактора, розв'язати проблему пилопригнічення на території зони, здійснити необхідну обробку питної води на водоочисних спорудах.

В Академії сформувалося чимало наукових шкіл. Їх засновниками були видатні вчені-математики Д.О. Граве, М.М. Крилов, М.М. Боголюбов, Ю.О. Митропольський, механіки С.П. Тимошенко, О.М. Динник, М.О. Лаврент'єв, Г.С. Писаренко, фізики К.Д. Синельников, Л.В. Шубников, В.Є. Лашкар'єв, О.І. Ахієзер, О.С. Давидов, А.Ф. Прихотько, О.Я. Усиков, астрономи О.Я. Орлов, М.П. Барабашов, Є.П. Федоров, С.Я. Брауде, геолог П.А. Тутковський, матеріалознавці І.М. Францевич, В.І. Трефілов, хіміки Л.В. Писаржевський, О.І. Бродський, А.В. Думанський, біологи і медики Д.К. Заболотний, О.О. Богомолець, В.П. Філатов, М.Г. Холодний, І.І. Шмальгаузен, М.М. Амосов. У всьому світі відомі українські школи електрозварювання Є.О. Патона і кібернетики В.М. Глушкова. Набули широкого визнання економічні й гуманітарні школи, які очолювали економісти М.В. Птуха і К.Г. Воблий, історики М.С. Грушевський і Д.І. Яворницький, правознавець В.М. Корецький, філософ В.І. Шинкарук, сходознавець А.Ю. Кримський, мовознавці Л.А. Булаховський, І.К. Білодід, В.М. Русанівський, літературознавці С.О. Єфремов і О.І. Білецький.

Попри труднощі, через які проходить наша держава, НАН України й нині зберігає значний науковий потенціал, посідаючи провідні позиції за цілою низкою напрямів сучасної науки. Сьогодні перед науковцями НАН України стоїть багато важливих практичних задач у оборонному комплексі, енергетичному секторі, розробці інноваційних технологій та ін.

Сподіваємося, що робота НАН України допоможе у підвищенні обороноздатності, енергетичної незалежності та розбудові міцної економіки нашої держави, і наука зможе нарешті зайняти належне місце не тільки в житті країни, але і в серцях громадян.

УДК 621.165

**ТЕПЛОВОЕ И ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РОТОРОВ ПАРОВЫХ
ТУРБИН БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ НА РЕЖИМАХ
ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ И ПУСКА**

Бахмутская Ю.О., инженер 1 кат.
*ИПМаш НАН Украины, отдел вибрационных и
термопрочностных исследований*

Оценка ресурсных показателей и надежности паровой турбины базируется на данных о тепловом и термонапряженном состоянии ее наиболее ответственных элементов – роторов цилиндров высокого и среднего давления. Повышение точности определения теплового и термонапряженного состояния роторов мощных паровых турбин на нестационарных режимах является сложной и актуальной задачей.

В данной работе предлагается подход к анализу теплового и термонапряженного состояния высокотемпературных роторов паровых турбин на режимах подготовки к пуску и пуска, позволяющий увеличить точность результатов за счет учета процесса пленочной конденсации пара, характера струйного течения на элементах уплотнений ступенчатого типа, улучшенной расчетной модели и моделирования с учетом упругопластического поведения материала.

Разработанный подход применен к расчету нестационарного теплового, термонапряженного состояния и ресурса ротора высокого давления паровой турбины К-325-23,5 на режимах подготовки к пуску, пусков из холодного и горячего состояний, останова и естественного остывания. На основе расчетов термонапряженного состояния предлагаются мероприятия по повышению допустимого числа пусков турбоагрегата за счет изменения конструкции переднего концевое уплотнения и условий прогрева на режиме подготовки к пуску.

УДК 539.3

ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИЛИ, ЩО ВИНΙΚАЄ ПРИ ОБЕРТАННІ АЕРОДИНАМІЧНОЇ РЕШІТКИ КОМПРЕСОРУ В НЕРІВНОМІРНОМУ ГАЗОВОМУ ПОТОЦІ

Карпик А.О., асистент

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

Для попередження вібраційних поломок при проектуванні газотурбінного двигуна досліджуються коливання лопаток, які працюють під дією змінних газодинамічних сил, обумовлених нерівномірністю газового потоку в проточній частині. Дана неоднорідність проявляється у вигляді неоднорідних полів тиску та швидкості. Для забезпечення міцності лопаток в умовах тривалої роботи актуальним є дослідження структури потоку в міжлопаткових каналах з метою виявлення нестационарної складової газодинамічної сили.

В даній роботі було проведено чисельне моделювання тривимірного нестационарного потоку в аеродинамічній решітці при обертанні робочого колеса. Чисельні результати були отримані в програмному комплексі F.

В якості математичної моделі течії виступає система рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсем (RANS-модель). Основні рівняння доповнені моделлю турбулентності $k-\omega$ SST Ментера, що найбільш якісно описує вихровий рух поблизу поверхні лопатки.

В результаті моделювання отримані газодинамічні параметри течії у вигляді полів тиску та швидкості в різні моменти часу. Результати параметрів були отримані для 24 моментів часу, що характеризують один оберт робочого колеса. Даний підхід дозволяє виділити нестационарну складову течії та представити її у вигляді складових гармонік розкладанням в ряд Фур'є. Виявлені несприятливі зони потоку у вигляді зворотної течії та відриву потоку. Усі відмічені фактори є причиною виникнення змінних зусиль, що викликають згинні та крутильні коливання при дії нестационарного потоку.

УДК 539.3

**ВЛАСНІ ТА ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ РІДИНИ В
ПРИЗМАТИЧНИХ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРАХ****Крютченко Д.В.**, аспірант*ІПМаш НАН України, відділ гідроаеромеханіки енергетичних
машин*

Запропоновано методи розв'язання задач коливань рідини в жорстких резервуарах. Розроблено чисельний метод для моделювання імпульсу і сейсмічної дії на сховища з рідиною. Припускається, що рідина є нестисливою та ідеальною, а її рух, викликаний дією зовнішнього навантаження, є безвихровим. В цих умовах існують потенціал швидкостей, який задовольняє рівнянню Лапласа. Сформульовано змішану крайову задачу для цього рівняння. При цьому на бічних поверхнях та днищі резервуара задаються умови не протікання, а на вільній поверхні задаються кінематична та динамічна умови. Кінематична умова полягає у такому. Якщо точка знаходиться на вільній поверхні рідини у резервуарі в початковий момент часу, то вона залишатиметься на цій поверхні протягом всього руху. Динамічна умова характеризує рівність атмосферного тиску та тиску рідини на поверхні. Невідомими функціями є потенціал швидкостей Φ та функція ζ , що описує рівень підйому вільної поверхні. Зв'язок між цими двома функціями дають граничні умови. Обиралися нульові початкові умови для знаходження невідомих функцій, що відповідає припущенню, що в початковий момент часу резервуар з рідиною знаходився у стані спокою. Запропонований метод дозволив визначити рівень вільної поверхні при раптово прикладеному навантаженні. Розглянуті призматичні та циліндричні резервуари. Для циліндричних резервуарів з перегородками форми коливань отримані за допомогою методу інтегральних рівнянь. Проаналізовано динамічні характеристики резервуарів з рідиною. Отримано чисельні результати, які характеризують рівень підйому рідини в різних точках вільної поверхні. Проаналізовано вплив наявності перегородки в резервуарі на максимальне значення підйому рідини.

УДК 539.3

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЫШКИ ГИДРОТУРБИНЫ ПРИ ЕЕ РАЦИОНАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Мисюра С.Ю., к.т.н., н.с.

*ИПМаш НАН Украины, отдел вибрационных и
термопрочностных исследований*

Крышка является одним из важнейших и ответственных элементов конструкции гидротурбины, поскольку она воспринимает основные нагрузки, а срок ее эксплуатации составляет более 30 лет.

В зависимости от типа, общей компоновки и размера турбоагрегата меняются конструктивные особенности крышки гидротурбины.

При рабочих и аварийных режимах крышка находится под действием большого спектра нагрузок как от массовых сил, так и гидродинамического давления, которое действует на ее поверхность, взаимодействующую с водой, а также нагрузки со стороны ротора гидротурбины.

На частоту колебаний крышки гидротурбины влияет большое количество факторов, таких как давление воды, предварительно напряженное состояние от нагрузок, инерционные силы от присоединенных масс, а также глубина объема воды под крышкой.

Целью работы является анализ собственных частот конструкции крышки гидротурбины после рационального проектирования для минимизации ее массы. Крышка гидротурбины является трехмерной циклически-симметричной конструкцией, состоящей из тонкостенных оболочек вращения, объединенных ребрами – меридиональными пластинами сложной конфигурации.

Выполнены численные исследования собственных частот колебаний исходной конструкции крышки гидротурбины и конструкции с уменьшенной массой.

УДК 539.3

**ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ПРУЖНИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТА
УСІЧНИХ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК, ЧАСТКОВО
ЗАПОВНЕНИХ РІДИНОЮ****Науменко Ю.В., аспірант***ІПМаш НАН України, відділ надійності та динамічної міцності*

В роботі надано аналіз низькочастотних коливань циліндричних, складених циліндрично-конічних та усічених конічних пружних оболонок, заповнених рідиною. Припускається, що рідина є ідеальною нестисливою, а її рух є безвихровим. В цих умовах існують потенціал швидкостей, який задовольняє рівнянню Лапласа. Тиск рідини на поверхнях резервуару визначається з лінеаризованого інтегралу Коші-Лагранжа. Це дозволяє виразити тиск рідини через потенціал швидкостей. Потенціал швидкостей відшукується у вигляді суми двох невідомих потенціалів: перший з них відповідає коливанням пружної оболонки без урахування сили тяжіння, а другий описує коливання рідини в жорсткій оболонці з урахуванням сили тяжіння. Обидва потенціали розкладаються в ряди по відповідним базисним функціям, які є розв'язками мішаних крайових задач для рівняння Лапласа. Для обчислення потенціалів, що є базисними функціям, використовується інтегральне подання, засноване на другій тотожності Гріна. Із застосуванням прямого формулювання методу потенціалу отримані системи сингулярних інтегральних рівнянь. З використанням переходу до циліндричної системи координат та розкладення невідомих функцій в ряди Фур'є за окружною координатою ці системи зведено до одновимірних систем, в яких ядра інтегральних операторів обчислюються за допомогою еліптичних інтегралів першого та другого роду.

Наведено ілюстративні приклади, що демонструють точність та ефективність методу. Надана оцінка частот і форм вільних коливань рідини в циліндричних, конічних, сферичних та складених циліндрично-конічних оболонках з урахуванням дії сили тяжіння та пружності стінок.

УДК 539.3

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ВІЛЬНИХ ТА ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ ЛОПАТОК П'ЯТОЇ СТУПЕНІ З ПОШКОДЖЕННЯМИ

Ольховський А.С., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ надійності та динамічної міцності

Лопатковий апарат сучасних турбін є найбільш відповідальною і напруженою їх частиною. На робочі лопатки діють інтенсивні статичні і динамічні навантаження. Коливання представляють основну небезпеку для лопаткового апарату турбомашин, і їх вивченню присвячені відомі дослідження. На робочі лопатки діють інтенсивні навантаження: відцентрові сили, температурні навантаження і сили з боку парового або газового потоку. Одну з найбільших небезпек для лопаток турбомашин представляють вібрації, викликані нестационарними силами з боку газового потоку. Лопатки останніх ступенів потужних парових турбін працюють у волого-паровому середовищі і знаходяться під дією високих каплеударних навантажень. При тривалій експлуатації в лопатках виникають ерозійні пошкодження. Але найбільша небезпека виникає за рахунок утворення кратерів і щілиноподібних пошкоджень. Такі пошкодження викликають концентрацію напружень, що становить небезпеку для робочих лопаток турбіни.

На основі скінченно-елементної моделі лопатки проведено її модальний аналіз без пошкоджень і з ушкодженнями, що дозволило виявити локалізацію відносних напружень в місцях пошкоджень. Проведено розрахунок лопатки на вимушені коливання під дією умовного навантаження.

Актуальність таких задач підвищується завдяки тому, що ресурс турбін для багатьох електростанцій України, або вичерпано, або наближається до критичного.

УДК 539.3

**РОЗРАХУНОК ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ У
БАГАТОШАРОВИХ ОБОЛОНКАХ СКЛАДНОЇ ФОРМИ****Постний О.В.**, аспірант*ІПМаш НАН України, відділ вібраційних і термоміцнісних
досліджень*

Визначення температурних полів у багатошарових елементах конструкцій, що мають форму оболонок складної форми є актуальною задачею, що виникає в багатьох галузях машинобудування. Розв'язання цієї задачі приводить до математичних труднощів, пов'язаних з описом геометричних параметрів, умов теплообміну з зовнішнім середовищем, розв'язанням систем інтегральних рівнянь.

Запропоновано метод розв'язання нестационарної задачі теплопровідності багатошарових незамкнених циліндричних оболонок складної форми у плані, які складаються з шарів сталі товщини. На зовнішніх і бічній поверхнях оболонок відбувається конвективний теплообмін. Рівняння теплопровідності в шарах, умови конвективного обміну на поверхнях оболонки і на межі контакту шарів з урахуванням теплових впливів на поверхнях шарів і внутрішніх джерел тепла впливають з варіаційного рівняння теплового балансу. Розподіл температури вздовж товщини кожного шару, а також щільність внутрішніх теплових джерел описано за допомогою ортонормованих поліномів Лежандра.

Для розв'язання поставленої задачі застосовується підхід, аналогічний методу пружного занурення [1]. Проведено дослідження температурних полів у шарах п'ятишарової оболонки. Одержано добре узгодження результатів розрахунку з результатами методу скінченних елементів.

1. Сметанкина Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек: монография. – Харьков: Міськдрук, 2011.– 376 с.

УДК 62-226.2

МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРІЇ ЛОПАТКИ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ДЛЯ ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ

Скрицький М.О., аспірант

ІПМаш НАН України, відділ надійності та динамічної міцності

У сучасному світі багато програмних комплексів базуються на методі скінченних елементів, наприклад SolidWorks, ANSYS. Від кількості елементів в моделі і від потужності обчислювальної техніки залежить час розрахунку. Кількість елементів залежить від геометрії тіла, типу скінченного елемента і його розмірів. В сучасних газотурбінних двигунах лопатковий апарат є найбільш відповідальною і напруженою системою. Компресорні лопатки відрізняються тонкими профілями, малою жорсткістю, і коливання представляють для них основну небезпеку. Лопатковий апарат компресорів сучасних газотурбінних двигунів знаходиться під дією інтенсивних статичних і динамічних навантажень. Основною причиною порушення коливань лопаткового апарату компресора є окружна нерівномірність потоку. Для визначення частот збуджуючих гармонік на резонансних режимах необхідний модальний аналіз коливань робочих лопаток і побудова резонансної діаграми. В даній статті наведені дослідження коливань власних частот при різних видах спрощення моделі робочої лопатки компресора. Метою роботи є визначення оптимального методу спрощення геометрії тіла, на прикладі лопатки газотурбінного двигуна (ГТД), без зниження точності розрахунку.

Дослідження проводилися для робочої лопатки компресора газотурбінного двигуна з хвостовиком типу «ластівчин хвіст». Для проведення числових розрахунків моделі розбивались автоматично сіткою гексагонального типу з використанням елемента розміром 2мм та 1 мм. Для кожної побудованої сітки моделі було проведено статичний аналіз й визначено час побудови сітки скінченних елементів й час чисельних розрахунку.

УДК 621.436; 539.4

НЕЛІНІЙНІ КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ СИЛОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДИЗЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Успенський Б.В., к.т.н., н. с.

ІПМаш НАН України, відділ надійності та динамічної міцності

Використання дизельного двигуна в якості джерела механічної енергії для електрогенератора пов'язане з низкою інженерних та конструктивних задач. Однією з найуражуваніших ланок дизельного двигуна є його силова передача. В ній неминуче виникають крутильні коливання, що призводять до швидкого зносу передачі. Додатковим фактором, що впливає на коливання силової передачі дизельного двигуна електрогенератора, є збуджуючі моменти у роторі генератора внаслідок нерівномірності магнітного потоку в зазорі між статором та ротором. Їхнє врахування та проведення параметричного синтезу силової передачі з метою її відстроювання від резонансних режимів дозволить підвищити ресурс генератора.

Для дизель-генераторної установки пропонується використання двигуна ЗТД-4 з сучасним синхронним генератором ГС 530 АМУЗ. Чисельно визначено електромагнітні моменти, що діють на ротор генератора внаслідок його обертання. Виявлено, що ці моменти мають значну змінну складову та можуть призвести до резонансу між крутильними коливаннями передачі двигуна та змінним електромагнітним моментом на роторі генератора.

Розроблено дієвий метод аналізу вільних коливань нелінійної механічної системи, який дозволив вперше провести аналіз нелінійних коливань системи з кількома кусково-лінійними пружними елементами.

Розроблено ефективний метод пошуку ННФ Шоу-П'єра для аналізу вимушених коливань ланки силової передачі з урахуванням впливу нелінійної пружної муфти.

УДК 539.3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ І ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПОЛОГОЇ ОБОЛОНКИ

Чешко К.Ф., аспірант

ІІТМаш НАН України, відділ надійності та динамічної міцності

Описується установка для проведення експериментальних досліджень вільних лінійних коливань пологої оболонки постійної товщини. Ця установка включає в себе досліджувану конструкцію і вібростенд. Запропоновано методику експериментальних досліджень пологих оболонок. Поверхня оболонки розкреслювалась еквідистантними лініями з кроком 15 мм на маленькі прямокутники. В результаті утворилася сітка з 224 вузлами, в кожному з яких послідовно встановлювався віброперетворювач ДН-4, що входить до складу ВШВ-003. Для визначення форми у всіх цих вузлах вимірювалися амплітуди, резонансні частоти і фази коливань.

Побудована модель вільних лінійних коливань консольної пологої оболонки. Для чисельного моделювання коливань використаний метод Релея-Рітца. При використанні цього методу доводиться задовольняти тільки геометричним граничним умовам. Природні граничні умови можна не розглядати. Для апроксимації коливань надзвичайно ефективно використовувати розкладання по В-сплайнах. Розглянуто збіжність власних частот, для цього зроблено розрахунки для різного числа базисних функцій в розкладанні форм коливань оболонки. Власні частоти і власні форми коливань, отримані чисельно і експериментально та за допомогою програмного комплексу ANSYS близькі. Досліджувана полого оболонка надзвичайно багата внутрішніми резонансами, які істотно впливають на нелінійні коливання конструкції.

УДК 519.6

РОЗВИТОК СТРУКТУРНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ КРАЙОВИХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТЯХ З НЕГЛАДКОЮ МЕЖЕЮ

Баранов І.А., к.ф.-м.н., с.н.с.

ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

Структурні методи розв'язання крайових задач математичної фізики дозволяють точно враховувати геометричну інформацію про форму області і граничні умови. В цих методах використовуються математичні засоби теорії R -функцій. Виникнення структурних методів розширило можливості варіаційних методів (метод найменших квадратів, метод Рітца, метод Бубнова-Гальоркіна та інші) при розв'язанні крайових задач математичної фізики в областях складної форми з різними граничними умовами. Базисні функції, які побудовані з використанням стандартних систем R -операцій, є універсальними, що дозволяє розв'язувати широкий клас задач, проте ці функції не враховують особливості конкретних розв'язків, і тому, можуть мати низьку апроксимаційну здатність в околах кутових точок при розв'язанні певних класів крайових задач.

Роботу присвячено розвитку структурних методів для розв'язання крайових задач в областях з негладкою межею для рівнянь, які мають особливості, близькі до особливостей оператора Лапласа у кутових точках області. Побудовано вагові гармонічні знаковизначені функції для апроксимації узагальнених розв'язків крайової задачі Діріхле. Показано, що зазначені функції можуть бути використані для задач прогину мембрани, кручення стрижнів та теплових задач. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує запропоновані в роботі підходи. Рішення модельних задач показало ефективність запропонованих методів для знаходження розв'язків крайових задач.

УДК 517.95+518.517

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ПРИ НАРУШЕНИИ СИММЕТРИИ УПАКОВКИ СТЕРЖНЕЙ С ПОМОЩЬЮ R-ФУНКЦИЙ

Максименко-Шейко К.В., д.т.н., уч. секр.¹, проф.²
*¹ИПМаш НАН Украины; ²ХНУ имени В. Н. Каразина,
ФЭФ, кафедра информационных технологий в физико-
энергетических системах*

Повышение требований к теплогидравлическому расчету кассет ТВЭЛов потребовало развития новых методов теоретического исследования процессов в пучках стержней. Разработанные в настоящее время методы и программы различаются по исходным решаемым уравнениям и методикам их решения, учету различных факторов, соотношениям для исходных констант, а соответственно, по точности расчета и классам решаемых задач.

Целью работы является использование новых конструктивных средств метода R-функций и программного комплекса POLYE для теплогидравлического расчета кассет ТВЭЛов, в том числе в случае нарушения симметрии упаковки стержней.

Рассмотрена типовая конструктивная схема реактора, активная зона которого собирается из большого числа топливных кассет. С помощью R-функций построены уравнения модельной шестигранной топливной кассеты с 169 ТВЭЛами, упакованными по шахматной (раздвинутой треугольной) схеме. В рассмотрение введены смещенные ТВЭЛы как в центральной, так и в дальней зоне. Для решения использовался структурный метод R-функций в сочетании с вариационным методом Ритца и сплайн-аппроксимацией. Из анализа полученных результатов следует, что в случае нарушения симметрии упаковки при сохранении параллельности стержней локальная температура повышается на 2%. В случае искривления стержня локальная температура повышается на 7%.

В работе рассмотрен лишь один стержень, нарушающий симметрию упаковки. При наличии нескольких «нестандартных» стержней тем более существенным является расчет температурного поля для кассеты в целом.

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ БАЛОК С ТРЕЩИНАМИ

Малышев С.Е., студент

НТУ "ХПИ", кафедра механики сплошных сред и сопротивления материалов

В настоящей работе рассматривается задача о колебаниях балки с одной и двумя трещинами при различных типах возбуждения. Для описания движения стержня применяются две математические модели. Первая модель учитывает локальное изменение жесткости стержня в области трещины, а вторая модель учитывает интегральные характеристики трехмерного напряженного состояния в области трещины приведенного к срединной линии.

Для получения динамической системы с конечным числом степеней свободы применяется метод Бубнова-Галеркина. В качестве базисных функций используются собственные формы колебаний стержня. Отметим, что для первой математической модели собственные формы находятся как решения в замкнутом виде, а для второй была разработана методика на основании метода взвешенных невязок. Было установлено, что кубические В-сплайны лучше всего приближают краевую задачу.

При сравнении двух моделей было установлено, что лучше всего использовать модель с учетом локального изменения жесткости, так как она является более выгодной с точки зрения вычислений.

При анализе колебаний балки с двумя трещинами был обнаружен переход к хаотическим колебаниям через последовательность бифуркаций удвоения периода.

Математические модели были верифицированы по экспериментальным данным. Было проведено сравнение АЧХ в области основного и супергармонического резонансов. Отметим, что теоретические кривые близки к экспериментальным.

УДК 621.43.01

СТВОРЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ "PROMETHEUS"

Нестеренко В. А., аспірант
ІПМаш НАН України, відділ водневої енергетики

Математичне моделювання робочих процесів поршневих ДВЗ є невід'ємною частиною їх дослідження під час роботи як на традиційних, так і на альтернативних паливах. Метою роботи є створення комерційної версії вже готового програмного комплексу, що реалізує математичну модель робочого процесу, у відповідності з операційною системою, що використовується. Для нього буде організовано спеціальну оболонку(інтерфейс), до складу якої увійде процедура введення вихідних даних(у тому числі й дистанційно), виведення результатів у вигляді таблиць та готових графічних або відео зображень.

Змінення в самій моделі, тобто її удосконалення, цей процес не торкається, а реалізується потім у вигляді змінень в "оболонці".

УДК 519.85

УПАКОВКА МНОГОГРАННИКОВ В ВЫПУКЛЫЙ КОНТЕЙНЕР МИНИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА

Стоян Ю.Е., аспирант

*ИПМаш НАН Украины, отдел математического моделирования
и оптимального проектирования*

Задачи упаковки имеют широкий спектр применения, например, в биологии, робототехнике, системах распознавания образов, машиностроении, судостроении, авиастроении, аддитивном производстве и др.

В данном исследовании рассматривается задача упаковки произвольных многогранников, допускающих непрерывные вращения, в выпуклый контейнер (в том числе: шар, кубоид, эллипсоид, цилиндр, многогранник) минимального объема.

Задача оптимальной упаковки произвольных многогранников является NP-сложной, и, как следствие, методологии решения, в основном, используют эвристики.

В данном исследовании предлагается подход, основанный на математическом моделировании отношений между геометрическими объектами с использованием ϕ -функций [1] и квази- ϕ -функций [2]. Строится математическая модель задачи упаковки многогранников в виде задачи нелинейного программирования.

Предлагается эффективный метод решения, включающий: быстрый алгоритм поиска допустимой стартовой точки, а также процедуру локальной оптимизации COMPOLY, которая позволяет существенно сократить вычислительные затраты (время и память).

1. Chernov, N., Stoyan, Y., Romanova, T. (2010). Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. *Comput. Geom.: Theory and Appl.*, 43(9), 535–553.

2. Stoyan Y, Pankratov A, Romanova T (2016). Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. *Journal of Global Optimization*. Volume 65, Issue 2, pp 283–307.

УДК519.85

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ УПАКОВКИ ЭЛЛИпсоИДОВ

Хлуд О.М., аспирант

*ИПМаш НАН Украины, отдел математического моделирования
и оптимального проектирования*

В данной работе рассматривается задача упаковки эллипсоидов в выпуклых контейнерах минимального объема. Задача относится к классу NP-сложных и имеет широкий спектр научных и практических применений, в частности, в молекулярной динамике при моделировании движения сыпучих веществ, в современной биологии при моделировании размещения хромосом в ядрах человеческих клеток, в ядерной медицине при производстве препаратов применяемых в терапии рака, в 3D печати для топологической оптимизации промышленных деталей.

В зависимости от формы контейнера (например, кубоид, цилиндр, шар, эллипсоид), ограничений на ориентацию эллипсоидов (возможность непрерывных поворотов, фиксированная ориентация), особенностей метрических характеристик эллипсоидов (гомотетичные, сфероиды, произвольные размеры полуосей) выделены основные реализации базовой задачи оптимальной упаковки эллипсоидов. С целью аналитического описания ограничений размещения (непересечение эллипсоидов, принадлежность эллипсоидов контейнеру) используются ϕ -функции и квази- ϕ -функции (см., например, [1], [2]).

Строятся математические модели в виде задач нелинейного программирования и предлагаются алгоритмы решения для каждой из реализаций базовой задачи. Приводятся результаты численных экспериментов. Для поиска локальных экстремумов задач нелинейного программирования применяется IPOPT.

1. A.Pankratov, T.Romanova, O. Khlud. Quasi-phi-functions in packing of ellipsoids / Radioelectronics & Informatics. – 2015. – № 1. – P. 37-42.

2. Романова Т.Е., Стецюк П.И., Хлуд О.М. О двух задачах оптимальной упаковки гомотетических эллипсоидов. Бионика интеллекта. – 2017. – № 1(88), – С 29-35.

УДК 519.85

КЛАСТЕРНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ НЕВЫПУКЛЫХ НЕОРИЕНТИРОВАННЫХ МНОГОГРАННИКОВ

Чугай А.М., к.т.н., с.н.с.

*ИПМаш НАН Украины, отдел математического моделирования
и оптимального проектирования*

В работе рассматривается оптимизационная задача упаковки заданного набора произвольно ориентированных невыпуклых многогранников без их взаимного пересечения в прямом параллелепипеде минимального объема. В качестве конструктивных средств математического моделирования поставленной задачи предлагается использовать ϕ -функции. На основе ϕ -функции для двух невыпуклых неориентированных многогранников строится математическая модель задачи и исследуются ее основные свойства. Полученная математическая модель представляет задачу в виде классической задачи нелинейного программирования, что позволяет использовать для поиска решения современные решатели.

Предлагается стратегия решения, которая состоит из четырех этапов. На первом этапе для поиска хороших начальных размещений многогранников решается задача кластеризации, которая заключается в поиске попарных упаковок рассматриваемых многогранников в кубоид или шар минимального объема. В результате решения задачи кластеризации строится множество, состоящее из кубоидов и шаров. Из сформированного множества выбирается подмножество кубоидов и шаров, в котором может быть размещено множество заданных многогранников. При формировании указанного подмножества используется критерии минимального объема и максимального коэффициента заполнения.

На втором этапе решается задача упаковки неориентированных параллелепипедов и шаров в параллелепипед минимального объема. На третьем этапе решается задача поиска параметров размещения многогранников в соответствии с полученной на втором этапе упаковкой кубоидов и шаров. На последнем этапе происходит поиск локального минимума основной задачи.

УДК 621.165

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ И УСЛОВИЙ ПРОГРЕВА ПЕРЕДНЕГО КОНЦЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ РОТОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА МАНЕВРЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Бахмутская Ю.О., инженер 1 кат.¹, **Алёхина С.В.**, к.т.н., с.н.с.²
ИПМаш НАН Украины,

¹ *отдел вибрационных и термopрочностных исследований,*

² *отдел моделирования и идентификации тепловых процессов*

Основным фактором, ограничивающим маневренные характеристики паровой турбины большой мощности, является накопление повреждений вследствие малоциклового усталости материала роторов цилиндров высокого и среднего давления. Физические процессы, проходящие при прогреве ротора, такие как пленочная конденсация пара на непрогретой поверхности ротора, характер струйного течения в уплотнениях ступенчатого типа, существенно влияют на теплообмен на нестационарных режимах работы турбоустановки. Интенсификация теплообмена на режимах пуска, обусловленная данными физическими явлениями, приводит к значительному росту напряжений и преждевременной выработке ресурса.

Данная работа посвящена исследованию влияния процесса пленочной конденсации на поверхностях элементов ротора, физики течения пара в уплотнениях ступенчатого типа, а также влияния конструкции переднего концевого уплотнения и условий прогрева ротора высокого давления на маневренные характеристики турбоустановки на примере паровой турбины К-325-23,5. В расчетном исследовании учтены особенности пуска паровой турбины К-325-23,5. Рассмотрены режимы подготовки к пуску, пуски из холодного и горячего состояний, останов и естественное остывание.

Исследование показало, что допустимое число пусков для исследуемой турбины может быть значительно повышено за счет изменения конструкции переднего концевого уплотнения и условий прогрева на режиме подготовки к пуску.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ ФОРМЫ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ В ЗОНЕ СТЕРЖНЕВОЙ БАНДАЖНОЙ СВЯЗИ

Бояршинов А.Ю., к.т.н. м.н.с.

*ІПМаш НАН України, відділ оптимізації процесів і
конструкцій турбомашин*

При разработке конструкции рабочей лопатки последней ступени принимается ряд мер по отстройке ее от резонансных колебаний. Одним из средств повышения вибрационной надежности длинных лопаток является установка бандажных связей стержневого типа (сплошных и трубчатых), которые размещаются на расстоянии $0,6 - 0,9$ длины лопатки от корневого сечения.

Эти связи, необходимость установки которых диктуется требованиями вибрационной отстройки лопаточного аппарата, вызывают не только снижение экономичности ступени, но и существенно усложняют процесс конструирования лопатки. Отверстие под бандаж в теле лопатки уменьшает эффективную площадь ее поперечного сечения, поэтому для компенсации потерянной площади необходимо выполнять местное утолщение – усиливающий пояс.

Данная задача заслуживает внимания с двух точек зрения. С одной стороны, чем больше усиливающий пояс, тем меньше следует ожидать возрастание напряжений в этой зоне лопатки из-за повышения концентрации напряжений и потери площади в этом сечении. С другой стороны тело пояска приводит к изменению профиля рабочей лопатки и создает ухудшенные условия течения рабочего тела.

Представленные результаты проведенных исследований показывают возможность выбора наиболее приемлемой геометрии данной зоны лопатки, исходя из условия сохранения конструкционной прочности.

УДК 539.3

СИСТЕМА АКУМУЛЯЦІЇ ХОЛОДУ ЗАВОДУ З ПЕРЕРОБКИ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

Гальцев О.О., аспірант

*ИПМаш НАН України, отдел моделирования и идентификации
тепловых процессов*

Розроблено та впроваджено систему холодопостачання заводу з переробки молочних продуктів в смт. Утківка, розв'язані задачі з одночасного охолодження багатьох споживачів, працюючих за нестабільним графіком. Запроваджені енергоефективні рішення щодо зменшення електричного навантаження на існуючу електромережу. Розроблено оптимальний план використання систем холодопостачання, який дозволяє з мінімальними витратами електроенергії вдовольнити всі потреби заводу.

Сформульоване та виконане технічне завдання на впровадження обладнання, відповідне до можливостей системи.

Впроваджена система керування та контролю системи акумуляції та генерації льодяної води в пластинчатому теплообмінному обладнанні.

Застосовано методи зменшення займаного простору системи акумуляції льодяної води за рахунок додаткового перекачування охолодженої води з гарячої зони системи.

Проаналізовані можливості щодо збільшення потужності заводу з мінімальними змінами в системі холодопостачання.

Розглянуті варіанти охолодження акумулятора льодяної води при умовах низьких температур навколишнього середовища.

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ И УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ РАБОЧИХ ЛОПАТОК ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ПРИ ПАРЦИАЛЬНОМ ПОДВОДЕ

Демченко А.В., аспирант

*ИПМаш НАН Украины, отдел гидроаэромеханики
энергетических машин*

Целью настоящей работы является численный анализ нестационарных аэродинамических нагрузок и аэроупругих колебаний лопаточных венцов в двухступенчатом отсеке осевого компрессора в трехмерном потоке идеального газа при частичном подводе с использованием метода решения связанной задачи нестационарной аэродинамики и упругих колебаний лопаток. Расчеты выполнены для режима с парциальным подводом. Зона загромождения включает четыре лопатки направляющего аппарата. Колебания лопаток определялись с учетом первых пяти собственных форм.

Основной вклад в нестационарные составляющие аэродинамической нагрузки, действующей на лопатки ротора P1, вносят гармоники, с частотами кратными частоте вращения 256 Гц, что вызвано парциальным подводом.

Основной вклад в колебания вносит гармоника с частотой близкой к частоте 1-й собственной формы колебаний (автоколебания по 1-й собственной форме колебаний). Как следует из расчета, вынужденные колебания лопаток незначительны. Максимальная амплитуда колебаний при парциальном подводе в 4 раза выше, чем при равномерном подводе.

Предложенный метод позволяет прогнозировать амплитудно-частотный спектр колебаний лопаток осевого компрессора, включая вынужденные и самовозбуждающиеся колебания (флаттер, автоколебания).

УДК 536.24:621.039.584

ОПТИМИЗАЦИЯ ШИРИНЫ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ТРАКТА КОНТЕЙНЕРА ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Лунёв Д.И., студент

ХНУ имени В.Н. Каразина, физико-энергетический факультет

Хранение отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на Запорожской АЭС осуществляется сухим способом в вентилируемых бетонных контейнерах. Каждый контейнер содержит герметичную корзину с ОЯТ, охлаждение которой происходит, прежде всего, за счёт движения воздуха по вентиляционным каналам в результате возникновения естественной тяги. Скорость движения охлаждающего воздуха, а, следовательно, и интенсивность теплообмена, при неизменном тепловыделении в корзине зависит, прежде всего, от гидравлического сопротивления вентиляционного тракта. Очевидно, что изменение геометрических размеров вентиляционных каналов контейнера хранения ОЯТ приводит к изменению их гидравлических сопротивлений и, следовательно, к изменению условий охлаждения корзины с ОЯТ. Однако, в силу перехода СХОЯТ Запорожской АЭС на хранение альтернативных топливных сборок с повышенным остаточным тепловыделением тепловое состояние корзины хранения изменяется по сравнению с вариантом хранения традиционных топливных сборок. В связи с этим возникает целесообразность проверки – являются ли существующие геометрические размеры каналов охлаждения наилучшими с точки зрения максимального охлаждения хранящегося в контейнере топлива.

В работе решена серия сопряженных задач теплообмена, результаты которых позволили определить оптимальную ширину вентиляционного тракта контейнера хранения с точки зрения минимизации максимальных температур ОЯТ.

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАПРАВЛЯЮЧИХ ЛОПАТОК ПОТУЖНИХ ПАРОВИХ ТУРБІН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ОБЛАСТІ ВОЛОГОЇ ПАРИ

Сенецька Д.О., провідний інженер

*ІПМаш НАН України, відділ оптимізації процесів і конструкцій
турбомашин*

Однією з основних причин зниження ефективності та надійності останніх ступенів циліндрів низького тиску потужних парових турбін в процесі експлуатації є дія ерозійнонебезпечної крупнодисперсної вологи, що виникає у процесі конденсації та викликає механічний знос лопаткового апарату. На сучасному етапі розвитку турбінобудування використовують активні, пасивні та активно-пасивні методи захисту від ерозійного зносу лопаткових апаратів.

На основі аналізу методів захисту елементів проточної частини, що використовуються, запропоновано вдосконалену конструкцію направляючих лопаток, що дозволить зменшити концентрацію ерозійнонебезпечної вологи за направляючим апаратом (НА) вологопарового ступеня. Ця задача вирішується шляхом часткового відведення крапель вологи у камеру на вхідній крайці лопаток НА плівки конденсату, що надходить від попередньої ступені, та підведення гріючої пари до порожнини направляючої лопатки для випарювання плівки, що утворюється на поверхні. Зниження концентрації ерозійнонебезпечної вологи досягається підвищенням ефективної передачі тепла від гріючої пари до випарювальної плівки дробленням залишкової плівки з використанням енергії гріючої пари при його видуві через вихідні крайки направляючих лопаток. Такий підхід дозволить підвищити ККД ступені та знизити ерозійний знос робочих лопаток, подовжуючи їх ресурс.

УДК 621.165

ВИБІР ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТУРБІННИХ ЦИКЛІВ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ НА НИЗЬКОКИПЛЯЧИХ РОБОЧИХ ТІЛАХ

Сенецький О.В., к.т.н., с.н.с., **Сарапін В.П.**, к.т.н., н.с.
*ІПМаш НАН України, відділ оптимізації процесів і конструкцій
турбомашин*

Утилізація теплоти малого потенціалу та створення енергетичних установок малої потужності на біопаливі при застосуванні турбінних циклів на різних робочих тілах є все більш актуальною задачею. До складу таких теплових схем входить основне та допоміжне обладнання.

Результати розрахунків принципів теплових схем показують взаємний зв'язок між основними елементами енергогенеруючого об'єкту, напрямок, параметри і витрати потоків теплоти та робочого тіла у вузлових точках теплової схеми, але з них складно оцінити геометричні характеристики кожного елемента окремо. У зв'язку з цим виникла задача з оцінки теплових і масогабаритних характеристик теплообмінного, турбінного та іншого устаткування з урахуванням термодинамічних особливостей робочих тіл. На даному етапі розроблено розрахункову модель, що дозволяє визначати основні теплові та масогабаритні характеристики теплообмінного обладнання, що входить до теплової схеми енергетичної установки малої потужності.

Для спрощення вирішення поставленої задачі створено базу даних існуючого у нафтохімічній промисловості теплообмінного обладнання на основі ГОСТ 15119-79, ТУ 3612-144-13972650-2015 та ін. Результати, отримані при моделюванні теплообмінників, у автоматичному режимі порівнюються з наявними технічними рішеннями. У разі відсутності типової конструкції пропонується спроектувати новий теплообмінний апарат. В результаті визначаються основні показники теплообмінників, які необхідні для подальшої оцінки технічних і економічних можливостей реалізації теплових схем на різних робочих тілах.

УДК 628.543

ЭЛЕКТРОМЕМБРАННОЕ УМЯГЧЕНИЕ ПРИРОДНЫХ И ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ШАХТНЫХ ВОД

Антонов А.В., ведущий инженер
*ИПМаш НАН Украины, отдел нетрадиционных
энерготехнологий*

Большая часть вод Украины характеризуется высоким показателем минерализации. Поэтому умягчение данных вод является необходимым этапом в процессе водоподготовки воды для дальнейшего её использования в различных технологических процессах, подпитки тепловых сетей, котлов.

В настоящее время подготовка вод ведется реагентными методами с последующим ионообменным до умягчением. Данные методы хорошо изучены, легкодоступны, просты в применении. Однако они имеют и отрицательные стороны - высокая стоимость эксплуатации, большое количество жидких стоков, плохая управляемость (реагентный метод). Электрохимический метод лишен большинства этих недостатков, основной проблемой, которая тормозит его внедрение, является отсутствие недорогого, доступного и стойкого в различных средах анода. Для решения данной проблемы был разработан анод с односторонним покрытием двуокиси плюмбума, без подслоя из драгоценных металлов. Полученный анод недорогой, стойкий в разных средах особенно в смешанных сульфатно-хлоридных растворах.

Была собрана стендовая установка электромембранного умягчения на основе двуокисноплюмбитного анода. Установка состоит из ячеек, каждая ячейка в свою очередь состоит из катодной и анодной камеры разделённой катионообменной мембраной. Количество ячеек определяется источником питания. Установка электромембранного умягчения позволяет снижать общую жесткость до 0,3-0,4 мг-экв/дм³, что в 4,5 – 6 раз ниже чем содово-известковая обработка. Также исследовано, что большая минерализация (шахтных вод, отработанной жидкости гидроразрыва и пластовых вод) не влияет на ход процесса электромембранного умягчения.

УДК 661.96:622.276.6

СТВОРЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ВОДНЕВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДЕБІТУ ТА ГЛИБИНИ ВИЛУЧЕННЯ НАФТИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВОДЕНЬГЕНЕРУЮЧИХ НАНОСУСПЕНЗІЙ

Велігоцький Д.О., провідний інженер
ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

В ІПМаш НАН України створено науково-практичні основи технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів, яка базується на використанні водню як активатора процесів фільтрації під час термобарохімічного впливу на привибійні зони пластів (ПЗП) нафтогазових свердловин.

Запропоновано метод підвищення ефективності цієї технології шляхом використання в технологічному процесі суспензій з ультрадисперсною твердою фазою на основі нано- та мікропорошків гідрореагуючих речовин (ГРР).

Вперше з використанням гідрокавітаційної технології одержано зразки стійкої до стратифікації та седиментації воденьгенеруючої суспензії, в якій в якості дисперсної фази виступають мікро і - наночастки гідрореагуючої речовини - алюмогідриду натрію.

Екзотермічна реакція твердої фази з водою призводить до утворення гарячих водню та луги, які діють на пласт та флюїди, що сприятиме поліпшенню фільтраційних властивостей колектора, особливо в обводнених пластах.

Визначено залежність основних показників одержуваних суспензій (дисперсність твердої фази, стійкість до стратифікації, щільність, в'язкість) від режимів гідрокавітаційної обробки та вмісту ГРР.

Доведено високу хімічну активність суспензій (генерування тепла і водню), що підтверджує доцільність їх використання на реальних свердловинах.

Такі суспензії можуть бути використано як в процесі комплексної водневої термобарохімічної обробки ПЗП нафтогазових свердловин, так і окремо – як самостійна технологічна операція для покращення проникності гірської породи.

УДК 661.96:622.276.6

УСТАНОВКА ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРНОВ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

Велигоцкий Д.А., ведущий инженер, **Баштовой А.В.**, аспирант
*ИПМаш НАН Украины, отдел нетрадиционных
энерготехнологий*

УДК Создана экспериментальная установка для проведения комплексных исследований проницаемости кернов продуктивных пластов нефтегазовых скважин, позволяющая моделировать процессы фильтрации флюидов через горную породу в широком диапазоне температур и давлений, максимально приближенным к пластовым.

Созданная установка обладает рядом преимуществ перед существующими аналогами:

Разработана методология подготовки и технология изготовления модельных (искусственных) кернов различной пористости и проницаемости.

Разработана методика проведения исследований по определению влияния различных видов химического и термобарохимического воздействия (в том числе, агрессивными средами) на проницаемость и фильтрационные характеристики реальных и модельных кернов породы призабойной зоны пласта.

Результаты таких исследований позволяют сделать выбор наиболее эффективного метода обработки пласта, подобрать режимы и химические составы для его реализации.

Полученные экспериментальные данные по изменению проницаемости и фильтрационных характеристик породы продуктивного пласта вследствие различных видов воздействия, будут использоваться при 3-D моделировании и разработке дизайна обработок скважин, в том числе процесса комплексного водородного термобарохимического воздействия на призабойную зону скважин с целью интенсификации добычи нефти и газа.

621.564; 621.577

ТЕРМОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВАКУУМНО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Войтенко Е.Н., аспирант

*ИПМаш НАН Украины, отдел моделирования и идентификации
тепловых процессов*

Использование воды в качестве хладагента теплонасосных установок позволяет обеспечить высокие энергетические показатели цикла и все необходимые требования экологической безопасности по сравнению с синтетическими хладагентами.

Проведена термoeкономическая оптимизация режимно-конструктивных характеристик одноступенчатого водяного вакуумно-испарительного теплового насоса (ТН), оборудованного турбокомпрессором, испарителем контактного типа и кожухотрубным конденсатором. При построении термoeкономической модели ТН энергетические процессы, происходящие в нем, и стоимостные характеристики его основных элементов описаны развернутыми аналитическими зависимостями, формирующими целевую функцию приведенных затрат. Исходя из необходимости по условиям технологического процесса обеспечения постоянных параметров воды на выходе испарителя, переменными, оптимизирующими целевую функцию, являются среднеарифметический температурный напор и величина нагрева воды в конденсаторе теплового насоса.

В результате решения задачи оптимизации при варьировании тарифа на электроэнергию c_3 и числа часов работы ТН в году $\tau_{\text{экс}}$ удалось снизить приведенные затраты на создание и эксплуатацию теплового насоса от 13 % (при $c_3 = 0,02$ \$/(кВт·ч) и $\tau_{\text{экс}} = 2000$ ч в год) до 38 % (при $c_3 = 0,12$ \$/(кВт·ч) и $\tau_{\text{экс}} = 8000$ ч в год). Это связано с тем, что чем больше значения c_3 и $\tau_{\text{экс}}$, тем больший экономический эффект может быть получен от снижения потерь вследствие необратимости процессов в термодинамическом цикле ТН, увеличения его коэффициента преобразования (COP) и снижения эксплуатационной составляющей приведенных затрат.

УДК 62-634.8

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ Й СПАЛЮВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНОГО ПАЛИВА НА ОСНОВІ МАЗУТУ З ДОДАВАННЯМ МУЛОВИХ ОСАДІВ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД

Гоман В.О., провідний інженер
ІПМаш НАН України, відділ нетрадиційних енерготехнологій

Застосування технології спрямовано на збільшення енергетичних ресурсів України та вирішення екологічної проблеми за рахунок використання надлишкового активного мулу комунальних очисних споруд в якості складової рідкого композиційного палива.

В дослідницькій лабораторії ТОВ МВВФ «Енергетик» (м. Монастирище) на паровому котлі Е-1,0-0,9 М-3 проведено попередні експериментальні випробування гідрокавітаційного обладнання та дослідного зразка паливкового пристрою при приготуванні й спалюванні композиційного палива на основі мазуту з додаванням у якості паливної складової мулових осадів комунальних очисних споруд. Результати досліджень показали повну вогневу утилізацію мулових осадів і відповідність сучасним екологічним вимогам, що висуваються до енергетичних котлів. Економія вуглеводневого палива при цьому сягає 20%.

Створено експериментальний технологічний модуль з виробництва та спалювання в промисловому паровому котлі композиційного палива на основі некондиційних вуглеводнів та мулових осадів комунальних очисних споруд. Даний модуль дозволяє відпрацювати технологічні регламенти виробництва й спалювання композиційного палива, визначитися з основними показниками енергоефективності та екологічності створеної технології, надати рекомендації щодо її промислового використання з метою вирішення одночасно двох взаємопов'язаних проблем: розширення ресурсної бази рідкого органічного котельного палива та зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище за рахунок утилізації надлишкового мулу з очисних споруд та мулових майданчиків.

УДК 544.6.018.42

УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ВОДНЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЗМІННОЮ ВАЛЕНТНІСТЮ

Зіпунніков М.М., к.т.н., с.н.с.

ІПМаш НАН України, відділ водневої енергетики

Пошук альтернативних енергоносіїв є одним з найважливіших завдань сучасності. Технології отримання водню, що базуються на процесах розкладання води шляхом електролізу, широко застосовуються в різних областях сучасної техніки. У порівнянні з іншими методами отримання водню, електроліз відрізняється простотою технологічної схеми, доступністю вихідної сировини і відносною простотою обслуговування енергетичних установок. Істотним недоліком електрохімічного методу отримання водню є велика енергоємність процесу розкладання води.

В Інституті проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України розроблено технологію електрохімічного отримання водню (H_2) і кисню (O_2) високого тиску з використанням газопоглинаючого електрода в безмембранних конструкціях електролізерів. Розроблений електрохімічний метод розкладання води є циклічним, що складається з чергуючих в часі процесів виділення водню і кисню. Діапазон робочих температур розробленого процесу електролізу знаходиться в межах від 280 К до 423 К, а інтервал тисків становить 0,1 - 70 МПа.

Експериментальним шляхом було досліджено електрохімічну активність електродних пар: Ст.3 - Fe (губчасте), Ni - Fe (губч.), 08X18H10T - Fe. Оптимізація режимів роботи шляхом управління межами зміни напруги протікання електрохімічної реакції в діапазоні 0,3-1 В дає можливість мінімізувати питомі витрати електроенергії на процес отримання H_2 (O_2). Дана технологія дозволяє виключити витрати електричної енергії на перехідний опір розділових мембран в зв'язку з їх відсутністю. При цьому забезпечується генерація H_2 (O_2) під високим тиском.

УДК 621.577; 621.564

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ СКВАЖИН МЕТРОПОЛИТЕНА ДЛЯ ТЕПЛОНАСОСНОГО ОТОПЛЕНИЯ

Омеличкин С. Н., аспирант

*ИПМаш НАН Украины, отдел моделирования и идентификации
тепловых процессов*

Объемы централизованного теплоснабжения как действующих, так и новых станций могут быть существенно сокращены за счет использования теплового потенциала замораживающих грунтовых скважин, сохранившихся после завершения строительства станции метрополитена. Практика строительства таких станций обычно предусматривает консервацию этих скважин после начала эксплуатации станции.

В работе рассмотрена возможность извлечения теплоты из вмещающего тоннель грунтового массива с помощью теплонасосной технологии и интеграции ее в систему теплоснабжения подземных сооружений метрополитена. Оценен тепловой потенциал замораживающих скважин. Предложена схема кольцевого объединения нескольких групп скважин разной глубины (от 30 до 90 м), работающих попеременно для обеспечения возможности тепловой релаксации грунта в периоды максимального теплопотребления подземных станционных сооружений.

Разработана полуэмпирическая математическая модель парокomppressorного теплового насоса. Найдено оптимальное соотношение расходов теплоносителей через конденсатор и испаритель теплового насоса, обеспечивающее максимальный эксергетический КПД цикла.

Установлено, что при эксплуатации двух скважин глубиной 90 м в течение 8760 ч от начала отопительного периода средний теплосъем с грунта составляет 949550 кДж, коэффициент преобразования теплового насоса равен 3,42.

ЗМІСТ

Секція А. Механіка

Бахмутская Ю.О. Тепловое и термонапряженное состояние высокотемпературных роторов паровых турбин большой мощности на режимах предпусковой подготовки и пуска.....	4
Карпик А.О. Представлення сили, що виникає при обертанні аеродинамічної решітки компресору в нерівномірному газовому потоці.....	5
Крютченко Д.В. Власні та вимушені коливання рідини в призматичних та циліндричних резервуарах.....	6
Мисюра С.Ю. Анализ динамических характеристик крышки гидротурбины при ее рациональном проектировании.....	7
Науменко Ю.В. Вільні коливання пружних циліндричних та усічних конічних оболонок, частково заповнених рідиною.....	8
Ольховський А.С. Чисельний аналіз параметрів вільних та вимушених коливань лопаток п'ятої ступені з пошкодженнями.....	9
Постний О.В. Розрахунок температурних полів у багатошарових оболонках складної форми.....	10
Скрицький М.О. Методологія оптимізації геометрії лопатки газотурбінного двигуна для чисельних розрахунків.....	11
Успенський Б.В. Нелінійні крутильні коливання силової передачі дизельного генератора.....	12
Чешко К.Ф. Експериментальний і чисельний аналіз вільних коливань пологої оболонки.....	13

Секція В. Математичне моделювання та ідентифікація

Баранов І.А. Розвиток структурних методів для розв'язання крайових задач в областях з негладкою межею.....	14
Максименко-Шейко К.В. Математическое моделирование теплогидравлического процесса в активной зоне реактора при нарушении симметрии упаковки стержней с помощью R-функций.....	15
Мальшев С.Е. Математическое моделирование колебаний балок с трещинами.....	16
Нестеренко В. А. Створення програмного комплексу "PROMETHEUS".....	17
Стоян Ю.Е. Упаковка многогранников в выпуклый контейнер минимального объема.....	18
Хлуд О.М. Математические модели и методы решения задачи оптимальной упаковки эллипсоидов.....	19
Чугай А.М. Кластерное размещение невыпуклых неориентированных многогранников.....	20

Секція С. Енергетика

Бахмутская Ю.О., Алёхина С.В. Влияние конструкции и условий прогрева переднего концевой уплотнения ротора высокого давления на маневренные характеристики мощных паровых турбин.....	21
Бояршинов А.Ю. Выбор рациональной формы некоторых элементов рабочей лопатки в зоне стержневой бандажной связи.....	22
Гальцев О.О. Система акумуляції холоду заводу з переробки молочних продуктів.....	23
Демченко А.В. Численный анализ аэродинамических сил и упругих колебаний рабочих лопаток осевого компрессора при парциальном подводе.....	24
Лунёв Д.И. Оптимизация ширины вентиляционного тракта контейнера хранения отработавшего ядерного топлива.....	25
Сенецька Д.О. Вдосконалення конструкції направляючих лопаток потужних парових турбін, що працюють в області вологої пари.....	26
Сенецький О.В., Сарапін В.П. Вибір теплообмінного обладнання для турбінних циклів малої потужності на низькокиплячих робочих тілах.....	27

Секція Д. Машинобудування. Енергозбереження. Екологія.

Антонов А.В. Электромембранное умягчение природных и высоко-минерализованных шахтных вод.....	28
Велигоцький Д.О. Створення перспективної водневої технології підвищення дебіту та глибини вилучення нафти шляхом використання воденьгенеруючих наносуспензій.....	29
Велигоцький Д.А., Баштовой А.В. Установка для комплексных исследований проницаемости и фильтрационных характеристик кернов горной породы.....	30
Войтенко Е.Н. Термоэкономическая оптимизация вакуумно-испарительного теплового насоса.....	31
Гоман В.О. Вдосконалення технології виготовлення й спалювання композиційного палива на основі мазуту з додаванням мулових осадів комунальних очисних споруд.....	32
Зіпунніков М.М. Удосконалення електрохімічної технології отримання водню з використанням електродних матеріалів зі змінною валентністю.....	33
Омеличкин С. Н. Использование теплового потенциала строительных замораживающих скважин метрополитена для теплонасосного отопления.....	34

Сучасні проблеми машинобудування. Тези доповідей конференції молодих вчених та спеціалістів, присвяченої 100-річчю Національної академії наук України. Харків, 17-20 квітня 2018 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 наукових робітників вузів.

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

Відповідальний за випуск: Депарма Г.О.

Оригінал-макет підготовлено групою оргкомітета конференції "Сучасні проблеми машинобудування".

Тел. 94-27-74.

Комп'ютерну верстку виконали: Баранов І.А., Бояршинов О.Ю., Зіпунніков М.М., Місюра С.Ю.

Підп. до друку 11.04.2018 р. Формат 60x90 1/16. Пап. тип. №1

Ум. друк. арк. 1,5. Наклад 100 прим. Замовлення №

Ціна договірна

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є. М.
Свідоцтво № 24800170000040432 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Багалия, 16