

XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників:

Тези доповідей. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2023 – 65 с.

Представлено матеріали пленарних та секційних доповідей XXVIII Міжнародного конгресу двигунобудівників. Обговорено основні науково-технічні досягнення в галузі двигунобудування. Представлені роботи, які висвітлюють актуальні питання двигунобудування: робочі процеси, управління і діагностика, конструкція і міцність, технологія і виробництво, а також загальні тенденції розвитку двигунобудування, наукові дослідження вітчизняних і зарубіжних авторів.

Затверджено до друку вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», протокол 1 від 23.08.2023 р.

ПРЕЗИДІЯ:

Нечипорук М.В.	перший проректор Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», д.т.н., професор
Клименко Л.П.	ректор ЧНУ ім. Петра Могили, д.т.н., професор
Кравченко І.Ф.	керівник ДП «Івченко-Прогрес», Генеральний конструктор, чл.-корр. НАНУ
Марченко А.П.	проректор НТУ «ХПІ» д.т.н., професор
Попов В.В.	голова правління АТ «ФЕД», д.т.н.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР:

Білогуб О.В.	д-р техн. наук, проф.
---------------------	-----------------------

ЧЛЕНИ ПРОГРАМНОГО КОМІТЕТУ:

Балушок К.В.	канд. техн. Наук;
Білогуб О.В.	д-р техн. наук, проф.;
Варбанець Р.А.	д-р техн. наук, проф.;
Грицюк О.В.	д-р техн. наук, проф.;
Дмитрієв С.О.	д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України;
Долматов А.І.	д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України;
Єпіфанов С.В.	д-р техн. наук, проф.;
Кулик М.С.	д-р техн. наук, проф., лауреат Державної премії України;
Мацевитий Ю.М.	академік НАНУ;
Мітрахович М.М.	д-р техн. наук, проф.;
Парсаданов І.В.	д-р техн. наук, проф.;
Пилипенко О.В.	академік НАНУ, чл.-корр. НАНУ, лауреат Державної премії України;
Пильов В.О.	д-р техн. наук, проф.;
Пржисова Р.	д-р техн. наук, проф. ITWL, Польща;
Радковські С.	д-р техн. наук, проф.;
Русанов А.В.	академік НАНУ, чл.-корр. НАНУ, лауреат Державної премії України;
Строков О.П.	д-р техн. наук, проф.;
Терещенко Ю.М.	д-р техн. наук, проф.;
Тимошевський Б.Г.	д-р техн. наук, проф.;
Тимошенко В.І.	чл.-корр. НАНУ, лауреат Державної премії України;
Халатов А.А.	академік НАНУ, лауреат Державної премії України

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", 2023 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

О.Е. Хрулев

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ
МІКРОТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ
МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ9

В.В. Нерубаський

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГТД
ДЛЯ ВАЖКИХ ГЕЛІКОПТЕРІВ.....9

О.Є. Пушилін, В.В. Логінов¹⁰

АНАЛІЗ СТАНУ ЩОДО СТВОРЕННЯ ГІБРИДНИХ
ТУРБОЕЛЕКТРИЧНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК
ДЛЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ЛІТАКІВ У СВІТІ..... 10

ТЕОРІЯ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ

О.Г. Андрієць, О.А. Шевченко, В.М. Охмакевич, М.В. Хижняк

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ
У ТЕПЛОВИХ ДВИГУНАХ..... 12

В.І. Тимошенко, Ю.В. Книшенко, В.М. Дураченко

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ
РІЗНОМАСШТАБНИХ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ МАЛОЇ ТЯГИ
З ЄДИНОГО ПАЛИВНОГО ДЖЕРЕЛА 12

В.І. Тимошенко, В.П. Галинський

МАРШОВІ АЛГОРИТМИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСІВ
У ПРЯМОТОЧНОМУ ПОВІТРЯНО-РЕАКТИВНОМУ ДВИГУНІ
РАКЕТИ-НОСІЯ З КІЛЬЦЕВИМ ТОРОВИДНИМ КРИЛОМ..... 13

В.В. Коробко, А.П. Шевцов

ЗАСТОСОВУВАННЯ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ СИСТЕМ
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СУДНОВИХ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВКАХ З ПАЛИВНИМИ КОМІРКАМИ 14

В.В. Кузнецов, А.П. Шевцов

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І КОМПАКТНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ
УСТАНОВОК ІНТЕНСИФІКАЦІЮ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ В ЇХ ЕЛЕМЕНТАХ..... 15

О.С. Борцов, А.П. Шевцов

ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНТАКТНИХ ГАЗОПАРОТУРБІННИХ УСТАНОВОК
ПРИ ФОРСУВАННІ РОЗПОДІЛУ ФАЗ В ГАЗОРІДИННИХ ПОТОКАХ..... 16

О.В. Триньов, Д.Г. Сівих

ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ ПНЕВМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО БАГАТОКОНТУРНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ
ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ.....46

**М.Є. Рибальченко, Є.В. Білоусов, А.П. Марченко,
В.П. Савчук, В.П. Будко**

ОБРОБКА ІНДИКАТОРНИХ ДІАГРАМ У ЗАДАЧАХ ПОБУДОВИ
ЦИФРОВИХ ПРОФІЛІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ46

**Р.А. Варбанець, Д.С. Мінчев, І.В. Савельєва,
А.А. Родіонов, Т.М. Мазур, С.П. Псарюк, В.В. Бондаренко**

РОЗШИРЕНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ
ДВИГУНІВ: ДОСЯГНЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ІМО ЩОДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ.....47

А.П. Марченко, О.Ю. Лінков, В.В. Пильов, С.В. Ликов

ОЦІНКА ТЕПЛОНАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПОРШНІВ ДВЗ
З УРАХУВАННЯМ ПОРОГУ ПОВЗУЧОСТІ ЇХ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ48

В.О. Пильов, О.Ю. Лінков, С.В. Ликов

ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІННОГО В ЧАСІ ПОРОГУ ПОВЗУЧОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ
СПЛАВІВ АЛ25 ТА АК4 ПІД ВПЛИВОМ ТЕРМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ48

О.В. Білогуб

ПРОФІЛЮВАННЯ ЗОВНІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ПОРШНЯ49

Л.П. Клименко, О.Ф. Прищепов, В.І. Андрєєв, О.В. Щесюк, О.І. Случак

ЗАСТОСУВАННЯ ЛИТТЯ ВАКУУМНИМ ВСМОКТУВАННЯМ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ49

О.В. Грицюк, О.О. Сулима

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗВИТОК ОРГАНІЗАЦІЇ ВИКЛАДАННЯ
ДИСЦИПЛІНИ «ВИПРОБУВАННЯ ДВЗ» В УМОВАХ ЗАСТОСУВАННЯ
ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ.....50

**І.В. Грицюк, Д.С. Погорлецький, А.П. Полив'ячук,
І.В. Худяков, В.В. Черненко, О.В. Поліщук**

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ВИКИДІВ
ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
З СИСТЕМАМИ ПОДАЧІ БЕНЗИНУ І ГАЗУ (ДВИГУН АВТОМОБІЛЯ З
СИСТЕМАМИ ПОДАЧІ БЕНЗИНУ І ЗРІДЖЕНОГО НАФТОВОГО ГАЗУ).....51

АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ І ДІАГНОСТИКА

С.В. Єпіфанов, О.В. Бондаренко

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТУРБОРЕАКТИВНОГО
ДВОКОНТУРНОГО ДВИГУНА ПРИ АНАЛІЗІ Й СИНТЕЗІ
СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....52

С.В. Єпіфанов, О.В. Бондаренко

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ
ТУРБОВАЛЬНОГО ДВИГУНА 54

О.Е. Хрулев

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОЇ
КАТАПУЛЬТНОЇ СИСТЕМИ СТАРТУ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК
ДВИГУНА ТА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА..... 55

В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ РЕГУЛЯТОРІВ
З ВЛАСТИВОСТЯМИ РОБАСТНОСТІ 55

В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ВИПАДКОВОСТІ ТА ТРЕНДУ В ЧАСОВИХ РЯДАХ 56

Чан Мань Хунг

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК АГРЕГАТУ
НА ВИПРОБУВАЛЬНОМУ СТЕНДІ 57

А.Г. Буряченко

РОЗРОБКА КОНТРОЛЬНО-ПЕРЕВІРОЧНОЇ АПАРАТУРИ
ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ РЕГУЛЯТОРА
МАЛОРОЗМІРНОГО ГТД 57

А.Г. Буряченко

(A.G. Buryachenko)

ОГЛЯД ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ РЕГУЛЯТОРА ВЕРТОЛІТНОГО
ТУРБУВАЛЬНОГО ДВИГУНА
(OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF THE HELICOPTER
TURBOSHAFTED ENGINE REGULATOR)..... 58

А.В. Дунай, С.Р. Вялов

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРИРУВАННЯ ВІДМОВ ДАТЧИКІВ
МАЛОРОЗМІРНОГО АВІАДВИГУНА ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО 59

С.Р. Вялов, А.В. Дунай

ПОШУК НАЙБІЛЬШ ОПТИМАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРОГРАМУВАННЯ
МІКРОКОНТРОЛЕРІВ СЕРІЇ STM32 ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В АВІОНІЦІ 60

І.В. Оганян, С.В. Єпіфанов

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ
ГІДРОМЕХАНІЧНИХ АГРЕГАТІВ 61

С.П. Борсук, О.М. Рева, Л.А. Сагановська

СТАТИСТИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ РІВНІВ ДОМАГАНЬ
У СТУДЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ ДИСПЕТЧЕРІВ 62

Я.С. Веклич, О.В. Бондаренко, С.В. Єпіфанов

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДВИГУНІВ
ВЕРТОЛІТНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ 63

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ДВИГУНОБУДУВАННЯ

УДК 629.7.036.3

О.Е. Хрулев

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМЕРЦІЙНИХ МІКРОТУРБОРЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ НА ВИСОКОШВИДКІСНИХ МАЛОРОЗМІРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

Технологічні успіхи, що дозволили до 90-х років минулого століття створити серійні комерційні мікротурбореактивних двигунів (ТРД) з тягою до 1,0 кН, поки не привели до широкого поширення двигунів цього типу в класі високошвидкісних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) масою до 200 кг. Проте, компанії військово-промислового сектора періодично показують нові розробки як окремих реактивних малорозмірних БПЛА, і мікро-ТРД їм. Тому застосування мікро-ТРД продовжує розглядатися як перспективне, і дослідженню цих двигунів присвячено велику кількість робіт. Однак у наявних дослідженнях нерідко спостерігається спрощений підхід, коли мікро-ТРД розглядається ізольовано від його можливого авіаційного застосування, або коли питання аеродинаміки БПЛА досліджуються у відриві від двигуна та його характеристик. Це може призвести до вибору неоптимальних параметрів та неправильних обмежень області застосування мікро-ТРД. Для усунення зазначених проблем з метою оцінки ефективності застосування серійних комерційних мікро-ТРД на високошвидкісних БПЛА була використана стандартна програма газодинамічного розрахунку газотурбінних двигунів GasTurb14, за допомогою якої проведено газодинамічні розрахунки, отримано конструктивну схему та виконано математичне моделювання характеристик мікро-ТРД. На підставі отриманих даних виконано аналіз умов та ефективності застосування розглянутого типу двигунів на високошвидкісних БПЛА, визначено можливі виробники та моделі двигунів, що випускаються ними серійно, а також їх комплектація. Виявлено, що для БПЛА даного класу двигун повинен мати ступінь підвищення тиску в компресорі в діапазоні 4,2-4,7, а польотний робочий режим мікро-ТРД доцільно вибрати на частоті обертання 92-95% від максимальної. Встановлено також, що БПЛА з мікро-ТРД, порівняно з поршневіми двигунами, легко забезпечують ту ж дальність польоту при тій же відносній масі палива коштом щонайменше втричі вищої швидкості. В результаті застосування мікроТРД виявляється найбільш ефективно при дальності польоту понад 300 км, а при швидкості польоту понад 150 м/с (540 км/год) мікро-ТРД забезпечує істотну перевагу перед поршневим двигуном для цілого ряду оперативного-тактичних завдань.

УДК 629.735.4

В.В. Нерубаський

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГТД ДЛЯ ВАЖКИХ ГЕЛІКОПТЕРІВ

Сегмент важких гелікоптерів з ГТД досить різноманітний і умовно може бути розділений на два класи: а) середньо-важкі масою 7...10 т (наприклад Bell 525, Sikorsky S-70, Leonardo AW189); б) важкі масою від 10 до 16 т (Airbus Helicopters H225, Mi-17, Mi-38, Leonardo AW101). Необхідно звернути увагу на той факт, що абсолютно нових *моделей* на ринку істотно менше, ніж існуючих. Так H225 – це оновлений Aerospatiale AS335, що надійшов у виробництво у 1980 р., Mi-17 – це модернізований Mi-8, що вперше злетів у 1962 р. Ці вертольоти безперервно вдосконалюються та відповідають найсучаснішим вимогам.

На наступних етапах роботи планується реалізувати моделі двигуна й дводвигунової силової установки з використанням характеристик реального двигуна, а також із урахування зворотних зв'язків, що накладає на двигуни система автоматичного керування.

УДК 629.7.085.24, 629.7.035.5, 621.431.75

О.Е. Хрулев

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОЇ КАТАПУЛЬТНОЇ СИСТЕМИ СТАРТУ З УРАХУВАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНА ТА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Незважаючи на значні успіхи у розробці сучасних безпілотних літальних апаратів (БПЛА), для них звичайно не прийнято використовувати універсальні пускові комплекси. Фактично кожен проєкт БПЛА вимагає своєї власної пускової установки, що у багатьох випадках є неефективним. Особливо це стосується порівняно важких тактичних та оперативно-тактичних БПЛА масою від 50 кг та більше, для яких застосовуються переважно пневматичні пускові системи. Для оцінки характеристик пускових катапультних установок БПЛА застосовують прості методи на рівні аналізу чинних сил, проте вони не дають можливості правильно вибрати тип та параметри катапульти для конкретних завдань у заданому діапазоні параметрів БПЛА. За відсутності необхідних методик це призводить до конструктивних помилок, які значно звужують область застосування пускової установки.

Для усунення зазначених проблем розроблено математичну модель пневматичної катапульти, складено та чисельно вирішено диференціальні рівняння руху та зміни газодинамічних параметрів елементів конструкції, виконано аналіз характеристик, обґрунтовано вибір конструктивної схеми та основних параметрів пневматичної катапульти. Шляхом моделювання показано, що для ефективного функціонування пускової установки не потрібно ніякого спеціального ущільнення поршня пневмоциліндра, виток повітря через зазор є контрольованими внаслідок малого часу процесу навіть при високих робочих тисках. Крім цього, визначена допустима мінімальна висота точки кріплення троса на візку над шківом блоку, нижче за яку різко збільшуються навантаження на трос і поршень.

Розроблена модель підтвердила універсальність застосування пневматичної катапульти схеми для оперативних і оперативно-тактичних БПЛА злітною масою від 50 до 250 кг, причому такий широкий діапазон забезпечується тільки регулюванням тиску повітря в ресивері та недоступний в системах інших типів. Водночас якщо підвищення тиску буде обмежено вимогами безпеки, можливість подальшого збільшення злітної маси БПЛА в схемі катапульти, що розглядається, зберігаються шляхом збільшення діаметра пневмоциліндра.

УДК 004.942

В.Ф. Миргород, І.М. Гвоздева

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДИКИ СИНТЕЗУ РЕГУЛЯТОРІВ З ВЛАСТИВОСТЯМИ РОБАСТНОСТІ

Створення та впровадження систем автоматичного керування контрольованих вихідних змінних стану силових та енергетичних установок, зокрема, побудованих на основі газотурбінних двигунів, складається з декількох етапів, при виконанні яких широко застосовуються засоби математичного моделювання. Одним з найбільш важливих таких етапів є відпрацювання створеної замкненої системи з регуляторами на напівнатурному стенді. Такий стенд містить, як правило, створений зразок системи з фізично реалізованими вимірювальними каналами, а об'єкт керування та виконавчі пристрої виконуються у вигляді комп'ютерної

XXVIII МІЖНАРОДНИЙ КОНГРЕС ДВИГУНОБУДІВНИКІВ

Тези доповідей

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі конструкції авіаційних двигунів
Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Відповідальний за випуск д-р техн. наук, проф. С.В. Єпіфанов

Підписано до друку 24.08.2023 р.
Формат 60х84^{1/16}. Друк цифровий
Умовн.-друк. арк. 1,4. Облік.-вид. арк. 1,62. Наклад. 100 прим.
Замовлення 24-08 Ціна вільна

Видавець

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<http://www.khai.edu>, e-mail: ntrio@khai.edu

Виготовлювач

ФОП Іванченко І.С.
Україна, 61135, Харків, пр. Тракторобудівників, 89-а/62,
тел.: +38 (050/093) 40-243-50

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців,
виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції сер.
ДК № 4388 від 15.08.2012
www.monograf.com.ua