

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ДОВІДНИКОВИХ ДАНИХ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИБОРУ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ ДЛЯ ВУЗЛІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Сучасний стан розвитку авіаційного двигунобудування характеризується постійним підвищенням вимог до питомих характеристик та надійності вузлів, що працюють у гарячому тракті. Процес проектування таких складних систем нерозривно пов'язаний з необхідністю точного підбору матеріалів, здатних витримувати екстремальні термічні та механічні навантаження протягом тривалого часу експлуатації. Традиційно інженери-конструктори використовують для цього розгалужену систему паперових довідників та нормативної документації, де зафіксовані результати багаторічних випробувань різних марок сталей та сплавів. Однак такий підхід має суттєві обмеження: ручний пошук інформації в таблицях є надзвичайно тривалим, існує висока ймовірність припущення механічних помилок при перенесенні даних, а статичний характер довідників не дозволяє швидко проводити порівняльний аналіз великої кількості альтернативних варіантів за декількома критеріями одночасно.[2]

Цифровізація довідникових даних є першим і критично важливим кроком на шляху до автоматизації інженерної діяльності. У рамках проведеного дослідження було розроблено методика структурування розрізненої інформації про жароміцні матеріали, що дозволило перетворити статичні табличні дані у динамічну базу знань. Основою для формування цієї бази стали результати систематизації хімічного складу, механічних властивостей та фізичних констант матеріалів на нікелевій та залізонікелевій основах, які є базовими для виготовлення лопаток турбін та камер згоряння. На відміну від простих цифрових таблиць, створена база даних орієнтована на подальше використання алгоритмами машинного навчання, що висуває особливі вимоги до чистоти та однорідності вхідної інформації.

Особливу увагу в роботі приділено розширенню переліку вхідних ознак для моделювання. Практика показує, що лише інформація про вміст основних легуючих елементів часто є недостатньою для точного прогнозування поведінки матеріалу в реальних умовах. Саме тому до структури даних було інтегровано такі фізичні параметри, як щільність матеріалу та його теплопровідність. Це дозволило моделі враховувати не лише хімічний склад, а й фізичну природу сплавів, що є надзвичайно важливим для деталей гарячого тракту, де температурні градієнти та вага

деталей прямо впливають на їхній ресурс. Такий підхід забезпечує створення так званого “цифрового паспорта” матеріалу, який об’єднує в собі всі критично важливі параметри в єдиному цифровому векторі. [1]

Наступним етапом дослідження стало впровадження методів інтелектуального аналізу даних. Використання алгоритмів, зокрема методу випадкового лісу, дозволило виявити складні нелінійні закономірності між структурою сплаву та його міцністю за різних температур. Алгоритм навчається на оцифрованих даних, поступово формуючи внутрішні правила прийняття рішень, що імітують досвід кваліфікованого матеріалознавця. Важливою перевагою такого підходу є можливість оцінки значущості кожного фактора впливу. Математична верифікація результатів навчання продемонструвала високу збіжність прогнозних значень із експериментальними даними, що підтверджується відповідними статистичними показниками точності. Це свідчить про те, що система здатна не просто відтворювати закладені в неї дані, а й проводити інтерполяцію результатів для умов, які прямо не описані в таблицях.

Реалізація інтелектуальної системи у вигляді інтерактивного програмного прототипу в хмарному середовищі забезпечує конструктору зручний інструментарій для повсякденної роботи. Використання графічного інтерфейсу з візуальними елементами керування, такими як випадаючі списки для вибору типу деталі та слайдери для встановлення робочих температур, робить процес підбору матеріалу інтуїтивно зрозумілим. Користувач миттєво отримує не лише прогнозу міцність для заданих умов, а й конкретну рекомендацію щодо оптимальної марки сплаву з бази даних, супроводжену повним переліком її характеристик. Це перетворює систему з пасивного сховища даних на активного помічника, який значно прискорює етап попереднього вибору матеріалів при проектуванні двигуна.

Практична цінність автоматизації вибору жароміцних сплавів полягає у суттєвому зниженні ризику припущення помилок, викликаних людським фактором. Централізація верифікованих технічних даних в єдиній цифровій системі гарантує використання актуальної та достовірної інформації всіма учасниками процесу проектування. Крім того, такий підхід створює надійний фундамент для подальшого розвитку системи, зокрема через додавання можливостей оптимізації за вартістю, технологічністю або екологічними параметрами виробництва. Впровадження подібних технологій цифровізації є невід’ємною частиною сучасної концепції цифрового виробництва в авіаційній промисловості, що дозволяє підвищити загальну конкурентоспроможність розробок та скоротити шлях від ідеї до реального виробу.

Варто зазначити, що процес оцифрування включав не лише перенесення числових значень, а й інтелектуальну очистку даних. У багатьох випадках

довідникові дані містили розбіжності або були представлені в різних одиницях виміру, що потребувало попередньої нормалізації. Створена система демонструє здатність до ефективного розділення матеріалів за їх цільовим призначенням: наприклад, вона чітко розрізняє вимоги до матеріалів лопаток, де критичною є тривала міцність і опір повзучості, та матеріалів камер згоряння, де на перший план виходить жаростійкість і стабільність структури при нагріві. Математичні графіки кореляції, отримані під час тестування моделі, наочно ілюструють високу прогностичну здатність системи, що робить її надійним інструментом для інженерних розрахунків. Таким чином, перехід від паперових методів роботи до інтелектуальних цифрових систем є неминучим етапом розвитку сучасного авіаційного матеріалознавства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Леошенко С.Д., Субботін С.О., Олійник А.О., Нарівський О.Е. Впровадження системи індикаторів у моделювання складних технічних систем. *Радіоелектроніка, комп'ютерні науки, управління*. 2021. № 1. Р. 117–126. doi: 10.15588/1607-3274-2021-1-12.
2. Нарівський О. та ін. Математичне моделювання корозійної поведінки аустенітних сталей у свинець-вісмутовій евтектиці. *Євразійський хіміко-технологічний журнал*. 2022. № 24 (2). Р. 296–300. doi: 10.18321/estj1473.