УДК 629.7.027

О.М. Яхно, д-р тех. наук,
А. М. Муращенко,
О.П. Губарев, д-р тех. наук
Національній технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
Р.І. Солонін, канд. тех. наук,
ДП «Антонов», м. Київ

ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИВОДА МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА ЛІТАКА

Рассмотрено понятие эксергии, которое используется для решения одной из взаимосвязанных оптимизационных проблем. В приводах механизации во время работы при разных температурных режимах эксплуатации в потоках рабочих тел происходят разные преобразования, что приводят к изменению реологических свойств. Эксергетический метод анализа даёт возможность связать технические и экономические показатели объекта исследования.

In this article the concept of exergy, this is used to solve one of the interrelated optimization problems. In the drive of mechanization during the work at different temperatures modes of operation in the flow of working fluids may be different transformations that lead to changes in rheological properties. Exergy method analysis makes it to link the technical and economic parameters objects of researches.

Вступ

Дана робота розвиває напрям підвищення енергетичної, економічної ефективності, в якій застосовується метод оптимізації. Нині проблема енергозбереження має важливе значення у транспортному машинобудуванні і особливо актуальна в умовах ринкової економіки при обмежених ресурсах енергоносіїв, таких як нафта та газ.

В основі ексергетичного аналізу лежить поняття ексергії. Ексергія — максимальна робота, яку може зробити термодинамічна система при переході з даного стану в стан рівноваги з навколишнім середовищем [1]. Ексергетичний аналіз є основою для ексергоекономічних розрахунків, в яких, крім ексергетичного к.к.д., потрібно враховувати питому ексергію. Ексергетичний підхід аналізу привода механізації крила літака дозволяє оцінити ступінь досконалості того чи іншого привода, виявити найслабкіще з точки зору ефективності місце, удосконалити процес і конструкції. Ексергетичний метод дозволяє зв'язати технічні та економічні сторони питання і вирішувати оптимізаційні завдання водночас з енергетики та економіки (ексергоекономічний аналіз). Цей підхід у вирішенні проблеми підвищення використання енергії, дозволяє ввести узагальнений параметр різних енергетичних витрат і якості різних видів енергії — ексергетичного показника, який є головною і єдиною характеристикою енергетичної ефективності для всіх приводів [1]. Найчастіше ексергетичний метод застосовується для аналізу процесів і установок, пов'язаних з використанням енергії і тепла в приводах систем керування.

Мета дослідження — підвищення ефективності використання енергії в авіаційних приводах механізації крила літака. Розроблення моделі ексергетичного аналізу під час роботи агрегата і його конкретне застосування для машинобудування, зокрема у авіації.

Поняття ексергії у цьому випадку може бути використано для вирішення трьох взаємопов'язаних оптимізаційних проблем — для оптимізації окремих вузлів устаткування, окремого енергетичного об'єкта, всього продуктивного ланцюжка від насосної установки до вихідної ланки (наприклад, у частині приводів — це вал привода механізації) [2]. Перша з цих проблем пов'язана з мінімізацією незворотних втрат і може вирішуватися методами термодинаміки необоротних процесів. Друга і третя вирішуються на основі інтегральних рівнянь ексергетичного балансу, дозволяють визначити оптимальні параметри робочого тіла й ефективність виробництва енергії.

Робочі рідини — масла, які використовуються у якості робочих тіл у приводах механізації, мають складну реологічну поведінку (високе значення в'язкості, наявність аномалії в'язкості та пружності). Течії високов'язких середовищ характеризуються невисокими швидкостями і відбуваються переважно в ламінарному режимі [2]. З метою інтенсифікації процесів тепломасообміну при використанні високов'язких робочих тіл застосовуються канали складної геометрії. У приводах механізації під час роботи в різних режимах експлуатації у потоках робочих тіл можуть відбуватися різні перетворення, що викликають зміну

хімічної формули речовини і реологічних властивостей. Названі особливості істотно ускладнюють аналіз гідромеханічних та тепломасообмінних процесів, що відбуваються в установках.

У даному випадку ексергія дає можливість кількісно визначити вплив нерівноваги термодинамічних процесів на ефективність перетворення енергії, тобто виділити ту частину енергії, яка не може бути використаною через газодинамічні явища, тертя, теплообмін. В основі однієї з інших формулювань ексергії лежить припущення про те, що енергію тіла можна представити сумою двох складових: $E = E_c + A$ [1]. Відповідно до цього, рівність ексергії — E_c визначається як частина енергії, яка в даних умовах оточуючого середовища може бути перетворена в будь-яку її форму. Другу складову A, яку називають анергією, ні в яку іншу форму енергії, включаючи механічну роботу, перетворити не можна.

Найбільш наочно ексергію (і енергію) можна представити графічно.

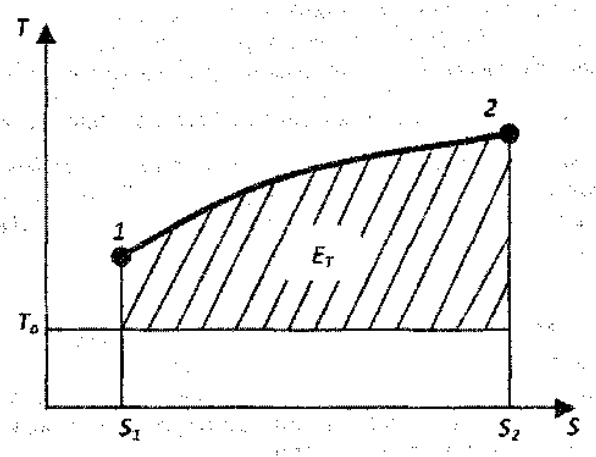

Рисунок 1 — Зображення графічного визначення ексергії.

На рисунку 1 зображено довільний процес теплообміну 1-2, в якому теплота передається деякому робочому тілу. Ексергія теплоти E_T вимірюється заштрихованою площею [1]. Непрацездатній частині теплоти, тобто анергії, відповідає площа під лінією T_0 = const, що дорівнює добутку $T_0*(S_1-S_2)$, де T_0 — температура навколишнього середовища; S_1 і S_2 — ентропія системи на початку і в кінці процесу.

Розрізняють два види: ексергію таких форм енергії, які не визначаються ентропією, і ексергію потоків речовини і енергії, які характеризуються ентропією.

Для аналізу КПМ використано вид ексергії, до якого належать форми енергії (наприклад, внутрішня енергія речовини, енергія хімічних зв'язків, теплового потоку), для кожної з яких ексергію вираховують індивідуально в залежності від наявності і виду матеріального носія — різних тіл або об'єктів. Для такого розрахунку потрібно детальний опис умов теплообміну на межах аналізованої підсистеми з іншими підсистемами привода.

Метод ексергетичних втрат базується на підрахунку ексергетичних втрат у межах кожної ділянки системи. Обумовлені теплообміном із зовнішнім середовищем втрати ексергії автоматично будуть враховуватися в балансі ексергії дисипативним доданком .

Гідравлічний об'ємний привод (гідропривод) — сукупність пристроїв, призначених для приведення в рух машин і механізмів за допомогою рідини. Гідропривод представляє собою свого роду "гідравлічну вставку" між приводним двигуном і навантаженням і виконує ті ж функції, що і механічна передача (рисунок 2). Передача потужності в гідроприводі відбувається завдяки приводному двигуну, що передає обертальний момент на вал насоса, який передає енергію до робочої рідини. Робоча рідина по гідролінії через регулюючу апаратуру надходить в гідродвигун, де гідравлічна енергія перетворюється в механічну. Після цього робоча рідина по гідролінії повертається або в бак, або безпосередньо до насоса.

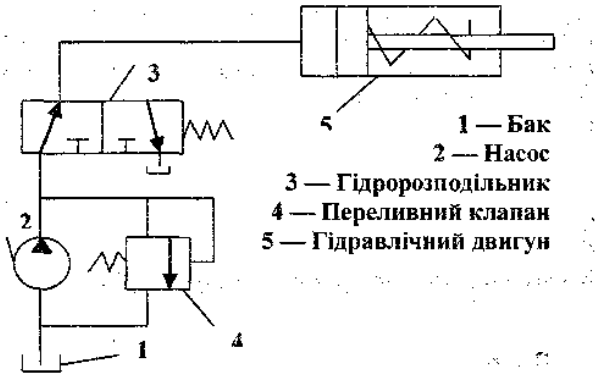

Рисунок 2 — Принципова схема гідропривода.

Рівняння ексергетичного балансу універсальне і повністю підходить для будь-яких термодинамічних систем незалежно від виду енергії, що є в процесі:

$$\Sigma E' \geq (\Sigma E'' + \Delta E),$$

де ΔE — прирощення ексергії системи між початковою та кінцевою точками процесу, E', E'' — ексергія вхідних і вихідних потоків речовини.

У тих галузях сучасного виробництва приводів, де робочі середовища мають велику в'язкість, створення нового агрегата, в якому енергія використовуватиметься по максимуму, є одною із актуальних проблем, оскільки процеси теплообміну в таких середовищах характеризуються досить малими коефіцієнтами тепловіддачі і невисокою ефективністю. За даними В.М. Бродянського, вплив параметрів навколишнього середовища під час процесу приймають як постійні, а з боку вирішення авіаційних задач (наприклад, експлуатація літака у зимовий та літній часи, висота над рівнем моря), значення параметрів стає змінним (рисунок 3). Було визначено, що вплив температури значно більше впливає на ексергію, ніж вплив зміни тиску навколишнього середовища.

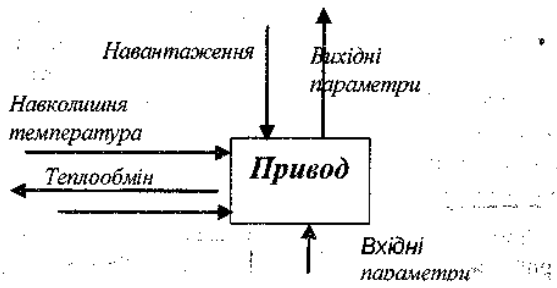

Рисунок 3. Схема взаємодії привода з середовищем експлуатації.

Розрахункова схема механічної частини привода

Механічна частина електромеханічної системи включає у себе всі пов'язані маси, які рухаються: двигуна, передавального пристрою і виконавчого механізму машини. До ротора двигуна при швидкості *w* прикладений електромагнітний момент *M*, під дією якого механічна частина приводиться в рух і на робочому органі машини виконується передбачена технологією механічна робота [4]. Безпосереднє уявлення про рухомі маси установки і механічні зв'язки між ними дає кінематична схема електропривода.

Усі сили і моменти навантаження, прикладені до механічної частини привода, перетворюються на сили і моменти механічних втрат та сили і моменти, які представляють корисне навантаження виконавчого механізму. Рівняння має вигляд:

$$M_c = \Delta M_\Sigma + M_{кор.\Sigma},$$

де $\Delta M_\Sigma = \sum_1^p \Delta M_{p1} + \Sigma$ — сумарний приведений момент втрат; *p, q* — кількість моментів і сил у системі, які характеризують механічні втрати; $M_{кор.\Sigma}$ — сумарний приведений момент корисного навантаження.

За характером взаємодії з приводом усі сили та моменти поділяються на активні і реактивні. Навантаження привода типа в'язкого тертя на практиці зустрічається рідко, найчастіше його можна спостерігати у вигляді слабкої лінійної складової в навантаженні типу сухого тертя [4]. Істотний вплив на динамічні процеси у механічній системі надають сили внутрішнього в'язкого тертя, пропорційні швидкості деформації валів, канатів, муфт і інших елементів.

На рисунку 4 показано схему розподілу втрати енергії в системі привода механізації на ділянках та у вузлах при нормальних умовах експлуатації (*t*=60°С робочої рідини) при злеті літака з використанням робочої рідини АМГ-10.

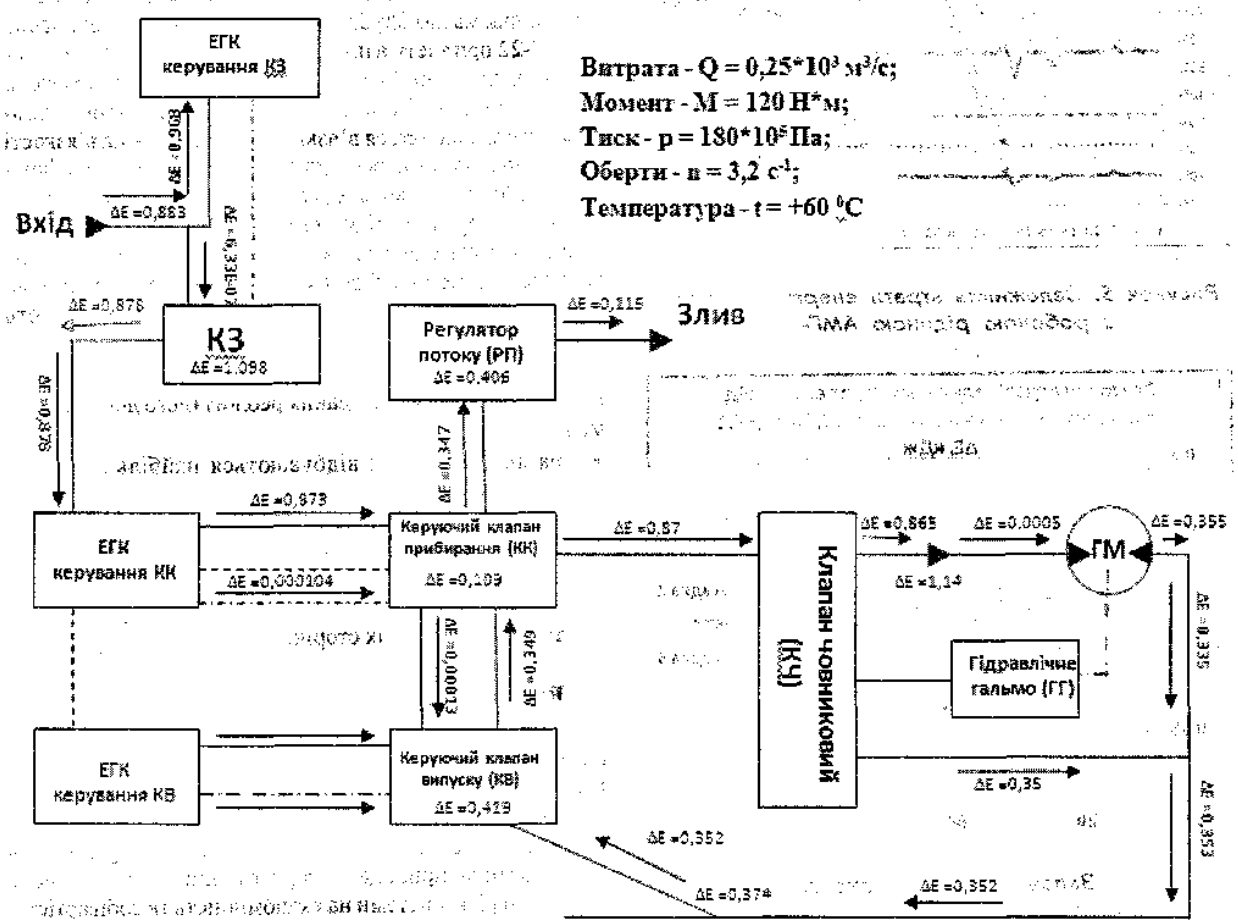

*Рисунок4 — Принципова схема привода механізації крила літака(ΔE= кДж*10⁻³).*

Воно заключається в методі ексергетичних втрат, що впливає на підрахунку ексергетичних втрат у межах кожної ділянки системи.

Відсоткову залежність втрат енергії відносно кожної ділянки системи представлено на рисунку 5. Аналізуючи залежність розподілу втрат енергії рідини в агрегаті системи при різних температурах робочої рідини під час злету та посадки літака, можна виділити найбільш виражені прояви втрати енергії. Позицією 1 на рисунку 5 позначено втрати енергії на моторі. У місцевих опорах (клапани, розподільники) та на ділянках різкої зміни геометричних форм у системі спостерігаються стрибки тиску. Це характеризується дисипацією енергії при переході з одного елемента привода до іншого, що призводить до нелінійного перепаду тиску в системи, яке пояснюється результатами розрахунку після проведеного експерименту по дослідженню реологічних залежностей рідини [5]. У таблиці 1 наведено розрахунки втрат енергії під час злету та посадки літака з різними робочими рідинами. Їх залежності від зростання температури показано на рисунку 6.

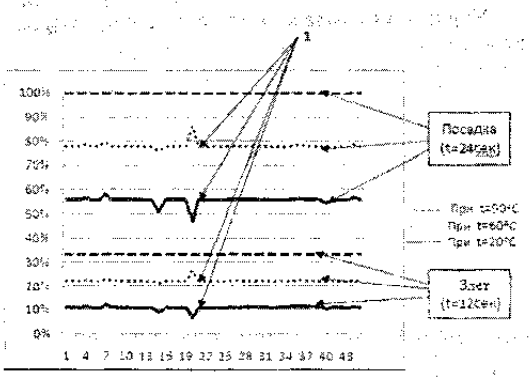

Рисунок 5. Залежність втрати енергії в системі з робочою рідиною АМГ-10.

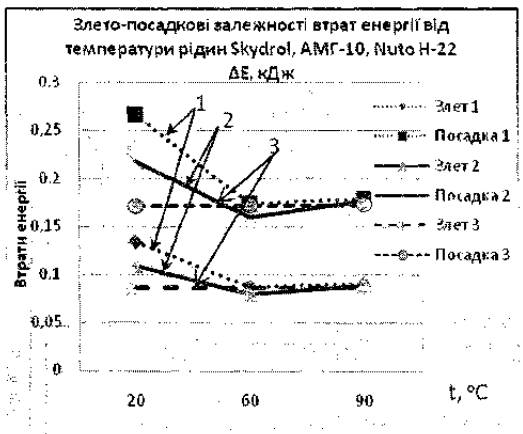

Рисунок 6. Залежність втрати енергії в системі з використанням різних робочих рідин при різних температурах на злеті та посадці.

Масла, які використовуються в якості робочих рідин в приводі механізації, мають складну реологічну поведінку (високе значення в'язкості, наявність аномалії в'язкості і пружності), що дає пояснення характеру залежностей [5].

Таблиця 1

Тип робочої рідини	Температура t, °C	Злет	Посадка
		Час T, c	
		12	24
		ДЕ, *кДж*	ДЕ, *кДж*
Skydrol	20	0,13368	0,26736
	60	0,08679	0,17358
	90	0,08976	0,17952
АМГ-10	20	0,10911	0,21822
	60	0,07962	0,15924
	90	0,08811	0,17622
Nuto H-22	20	0,0855	0,171
	60	0,08583	0,17166
	90	0,08637	0,17274

При нормальних умовах експлуатації агрегата, а саме при температурі робочої рідини 60°С, виявлено, що робоче масло АМГ-10 призводить до втрат енергії на 8,26% менші, ніж масло Skydrol, та на 7,23% менші, ніж масло Nuto H-22 при злеті, а при посадці масло АМГ-10 призводить до втрат енергії на 8,26% менші, ніж масло Skydrol та на 7,23% менші, ніж масло Nuto H-22. При зростанні температури зменшується в'язкість мастил, а зміна в'язкості мастил впливає на перепад тиску в елементах гідравлічного авіаційного привода, що призводить до втрати енергії на транспортування рідини та додаткових втрат корисної роботи. Втрати енергії виникають на подолання сил в'язкого тертя. При роботі привода зі змінною температурою робочої рідини у порівнянні із стабілізованою виникають додаткові втрати енергії.

Таким чином, при проведенні теоретичних розрахунків з використанням даних реологічного дослідження можна виявити:

- на яких ділянках відбуваються найбільші втрати енергії, що дає змогу визначити конкретно, в якому елементі можна змінити конструктивні параметри;
- аналіз отриманих результатів роботи системи з різними робочими рідинами дає змогу підбору найефективнішого мастила для привода як із експлуатаційних, так і з економічних сторін.

Висновки

Поглиблення ексергетичного аналізу роботи привода механізації крила літака шляхом розрахунку втрат енергії для кожного елемента системи дозволяє виявити найбільш "вузькі" ділянки з боку енергозбереження елемента агрегата та запропонувати шляхи вдосконалення окремих вузлів системи чи привода. Ексергетичний аналіз дає змогу порівняти різні системи на економічність та собівартість.

Метод ексергетичного аналізу для багаторежимних приводів дає змогу прорахувати систему при виборі нових конструктивних параметрів, робочої рідини в залежності від її реологічних характеристик. Від типу вибраного масла, можна зберегти 7–8% енергії, здійснювати економію пального, тобто зменшити витрати, а цей показник займає першочергове місце у всіх галузях промисловості.

Література

1. Самсонов, А.И. Эксергетический анализ работы тепловых машин. Противоречия и неточности в учебниках по технической термодинамике // Кораблестроение, океанотехника. Вопросы экономики. — 2002. — Вып. 25. — С. 21—22.

2. Нейская, С.А. Эксергетический анализ необратимых потерь в тепловыделяющих элементах и теплообменном оборудовании АЭС: дис. канд. техн. наук: 01.04.14. — Екатеринбург, 2002 . — 136 с.

3. Адаменко, О.Е. Эксергетический анализ в технологии получения цементного клинкера: дис. канд. техн. наук: 05.17.11. — М., 1997. — 214 с.

4. Терентьев, Е.Ф. Эксергия как критерий оценки эффективности функционирования технологических систем / Е. Ф. Терентьев, С. И. Матвиенко // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: матер. междунар. конф., Архангельск, 17-22 июня 2002 г. — Т. 2. — Архангельск: Ин-т экол. пробл. Севера УрО РАН, 2002. — С. 230—233.

5. Яхно, О.М. Аналіз реологічних характеристик мастил і їх вплив на роботу гідропривода / О.М. Яхно, О.П. Губарев, А. М. Кириленко (Муращенко) // Гідравліка і гідротехніка: Наук.-техн. збірник. — 2010. — № 64. — С. 18—28.

Надійшла 17.06.2011 р.