

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЯТОРА ОБОРОТІВ ВІЛЬНОЇ ТУРБІНИ НАСОСА-РЕГУЛЯТОРА ТИПУ НР-3

Литвяк Олександр Миколайович, к.т.н., доцент  
Національний університет цивільного захисту України  
Харків, Україна

Дурсєв В'ячеслав Олександрович, к.т.н., доцент  
Національний університет цивільного захисту України  
Харків, Україна

Чігрін Валентин Семенович, к.т.н., професор  
Національний аерокосмічний університет «ХАІ»  
Харків, Україна

Малярєв Мурад Всеволодович, к.т.н., доцент  
Національний університет цивільного захисту України  
Харків, Україна

**Анотація** – Представлені результати експериментальних досліджень статичних характеристик регулятора оборотів вільної турбіни агрегатів типу НР-3, що застосовуються на двигунах типу ТВ3-117

**Ключеві слова** – турбовальний газотурбінний двигун типу ТВ3-117; система автоматичного управління; регулятор оборотів вільної турбіни; коефіцієнт підсилення; статизм регулятора; гістерезис статичної характеристики регулятора

## I. ВСТУП

Одним із елементів системи автоматичного управління (САУ) силової установки турбовального газотурбінного двигуна типу ТВ3-117 являється гідромеханічний насос-регулятор НР-3. При моторних випробуваннях агрегату типу НР-3 у складі турбовального газотурбінного двигуна типу ТВ3-117 часто фіксуються несправності, які проявляються як сталі коливання параметрів двигуна з постійною амплітудою (автоколивання). Коливання або автоколивання відносяться до динамічних режимів роботи. При дослідженнях несталих (динамічних) режимів роботи газотурбінних двигунів [1, 2] основна увага уділяється роботі автоматів прийомистості. Динаміки роботи регуляторів на сталих режимах не приділяється достатньо уваги. На сталих режимах передбачається, що характеристики регуляторів відповідають розрахунковим характеристикам [2] і для роботи двигуна досить забезпечити потрібні витрати палива. Тому при прийнятно-здавальних випробуваннях НР-3 на заводі виробнику основна увага приділяється тільки настроювальним точкам насоса-регулятора, без перевірки характеристики регулятора обертів вільної турбіни (РОВТ) в цілому. Однак, як показує практика, для газотурбінних двигунів з вільною турбіною типу ТВ3-117

проблеми динаміки стоять особливо гостро не тільки на режимах прийомистості або скидання газу, але і на режимах стабілізації в області роботи РОВТ.

Таким чином, практичний інтерес представляє експериментальне дослідження статичних характеристик РОВТ агрегатів типу НР-3.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ТА ЇЇ РІШЕННЯ

Ставиться завдання провести експериментальні дослідження і виконати порівняльний аналіз статичних характеристик РОВТ агрегатів типу НР-3. Дослідження виконувалось на сертифікованому стенді ДП ХМЗ «ФЕД».

Розрахункова статична характеристика РОВТ показана на рис 1.

ТВ3-117  
РУКОВОДСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

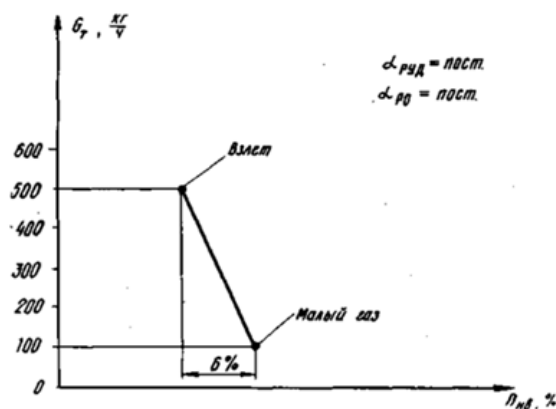


Рисунок 1 – Розрахункова статична характеристика РОВТ

Величина зміни оборотів РОВТ  $\Delta n_{ст}$  при заданій зміні витрати палива  $\Delta G_T$  називається статизмом регулятора, який згідно з протоколом приймально-здавальних випробувань (ПЗВ) заводу виробнику агрегатів типу НР-3 ДП ХМЗ «ФЕД» повинен знаходитися в межах (140 ... 260) об/хв.

Дійсна характеристика РОВТ складніше, тому що містить явно виражений гістерезис (рис. 2), обумовлений наявністю сил тертя в гідроприводі основний дозуючої голки (ОДГ) насоса регулятора.

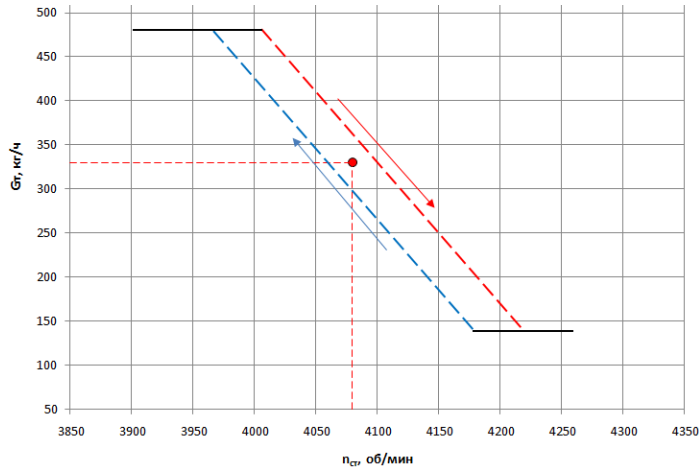


Рисунок 2 – Дійсна статична характеристика РОВТ

Гістерезис дійсної характеристики також обговорений протоколом ПЗВ. Згідно протоколу ПЗВ «ФЕД» гістерезис РОВТ  $\Delta n_{гіс}$  не повинен перевищувати 40, об/хв.

На статичній характеристиці РОВТ показана розрахункова точка (РТ), яка відповідає другому крейсерському режиму роботи двигуна:

$n_{тк} = 3740$  об/хв (приводу НР);  $n_{ст} = 4080$  об/хв (приводу НР);

$G_T = 330$  кг/год.

Налаштування регуляторів РОТК і РОВТ задавалися відповідно до розрахункової точкию:

$\alpha_{руд} = 85^\circ$ ;  $\alpha_{рост} = 66^\circ$ .

Для виключення впливу автомата прийомистості на статичну характеристику РОВТ, тиск що імітує тиск за компресором, задавалося рівним:

-  $p_2 = 9$  кг/см<sup>2</sup>;

- магнітний клапан автомату прийомистості (МКТ-163) включений.

При проведенні експерименту частота обертання приводу вільної турбіни змінювалася плавно, не допускаючи «зворотного ходу оборотів» між сусідніми точками вимірювань. В результаті експерименту визначалася величина - статизму РОВТ (рис.1), який характеризує кут нахилу статичної характеристики РОСТ або коефіцієнт підсилення РОВТ. А також величина гістерезису (рис.2) як різниця між оборотами ВТ при

фіксованому розході палива при прямому та зворотному ході оборотів.

Як виявилось, реальні статичні характеристики РОВТ сильно відрізняються один від одного навіть в межах допустимих значень протоколу ПЗВ «ФЕД».

На рис. 3...7 представлені статичні характеристики РОВТ п'яти агрегатів з явно вираженими недоліками. Пунктирною лінією на малюнках показана розрахункова точка РОВТ відповідно до протоколу ПЗВ «ФЕД».

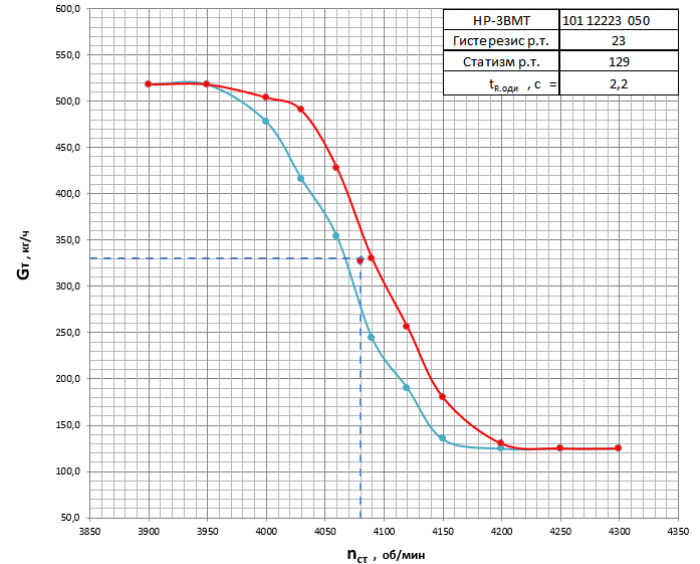


Рисунок 3 – Статична характеристика РОВТ агрегату № 1

Агрегат № 1 в області РТ має надмірно «крутий» нахил характеристики. Статизм РОВТ в цій області - 129 об/хв. Гістерезис в розрахунковій точці 23 об/хв.

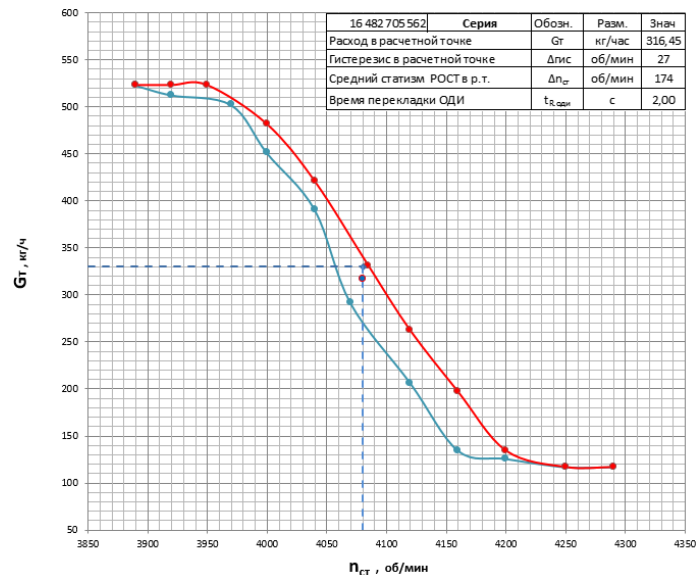


Рисунок 4 – Статична характеристика РОВТ агрегату №2

Агрегат № 2 має досить «пологу» характеристику. Середній статизм РОСТ – 174 об/хв. Гістерезис в розрахунковій точці 27 об/хв. В області розрахунковій точці має місце злам характеристики при «прямому» ході (см.рис.2). Оскільки точки знімалися дискретно, то такий злам може свідчити про розрив характеристики РОВТ в даній області.

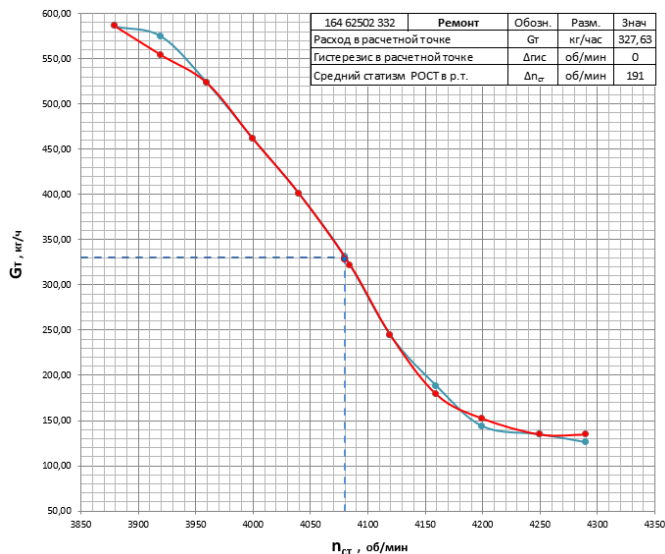


Рисунок 5 – Статична характеристика РОВТ агрегату № 3

Агрегат № 3 має «пологу» характеристику. Статизм РОВТ - 191 об / хв. Гістерезис в розрахунковій точці нульовий - 0 об/хв. У нижній області характеристики має місце негативний гістерезис. Оскільки сили тертя не можуть бути спрямовані по ходу руху гідроприводу ОДГ, то таке протікання характеристики РОВТ може свідчити про можливі розриви характеристики у всьому діапазоні режимів роботи.

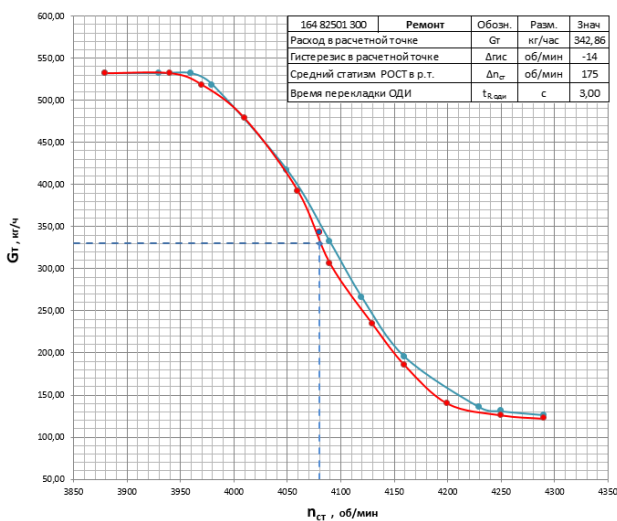


Рисунок 6 – Статична характеристика РОСТ агрегату № 4

Агрегат № 4 має негативний гістерезис в розрахунковій точці - (-14) об/хв. Що також свідчить про можливі розриви характеристики в даній точці.

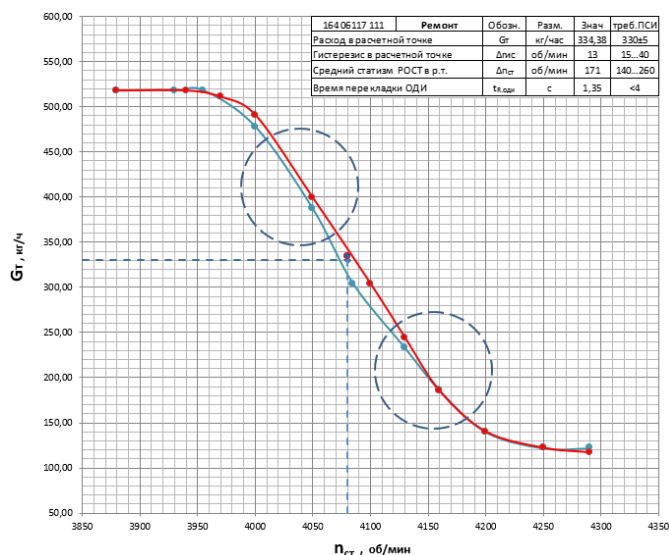


Рисунок 7 – Статична характеристика РОВТ агрегату № 5

Агрегат № 5 має малий гістерезис в області великих витрат палива і нульовий гістерезис в області малих витрат.

У таблиці 1 представлені значення параметрів РОВТ в розрахунковій точці агрегатів, які успішно пройшли випробування на моторних стендах «Мотор Січ».

Табл.1

№	Δ <sub>гис.дв</sub> , об/хв	Δ <sub>ст.</sub> , об/хв
1	25	206
2	40	242
3	20	187
4	35	164
5	15	213
6	16	172
7	20	152
8	35	190
9	35	185
10	16	162
11	10	244

З таблиці 1 видно, що агрегати які мають достатній гістерезис статичної характеристики РОВТ, та положу характеристику не схильні до розвитку коливань параметрів двигунів при моторних випробуваннях.

У таблиці 2 представлені значення параметрів РОВТ в розрахунковій точці агрегатів, які не пройшли випробування на моторних стендах «Мотор Січ» через розвиток коливань параметрів двигунів.

Табл.2

№	$\Delta_{гис.}, об/хв$	$\Delta_{ст.}, об/хв$
1	0	185
2	0	125
3	0	142
4	7	177
5	5	222
6	10	171
7	13	163
8	10	147
9	16	178
10	16	186
11	3	153

З таблиці 2 видно, що агрегати які мають недостатнє значення величини гістерезису, та мале значення статизму РОВТ схильні до розвитку коливань параметрів двигунів при моторних випробуваннях.

Як показав аналіз статичних характеристик, статизм РОВТ, визначений за протоколом ПЗВ «ФЕД», недостатньо характеризує схильність агрегату до розвитку коливань у складі двигуна. Статизм регулятора за протоколом визначається при зміні розходу палива від 480 кг/год, до 140 кг/год, та характеризує середній кут нахилу статичної характеристики. Для динаміки роботи системі автоматичного регулювання дуже важливим є кут нахилу характеристики регулятора у точці, що розглядається. Тому було введено поняття фактичного статизму РОСТ у розрахунковій точці, що визначається у околицях цієї точки, та приводиться до протоколу ПЗВ. Розрахункова точка вивідає розходу палива  $G_{т.р}=330$  кг/год, та оборотам вільної турбіни  $n_{ст.р}=4080$  об/хв. Для визначення фактичного статизму РОВТ діапазон зміни розходу палива необхідно задавати від 360 кг/год до 300 кг/год

Крім того гістерезис характеристики РОСТ, який визначається за протоколом ПЗВ не застосовується для аналізу роботі агрегатів типу НР-3 у складі двигуна. Згідно п.40 протоколу ПЗВ «ФЕД» гістерезис статичної характеристики РОВТ не повинен перевищувати 40 об/хв. Тобто агрегати з недостатнім гістерезисом статичної характеристики РОВТ (табл.2) відповідають вимогам протоколу ПЗВ.

Для остаточного висновку о схильності агрегату до розвитку коливань у складі двигуна необхідні не тільки мати достатні значення гістерезису та статизму РОВТ (табл.1), але і їх співвідношення. Для виявлення цих співвідношень необхідні додаткові розрахунково-експериментальні дослідження динаміки всієї системи автоматичного регулювання двигуна, включаючи динаміку турбокомпресора, вільної турбіни і регулятора.

### ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень та аналізу статистичних даних можна зробити висновок, що параметри статичної характеристики РОСТ являються одним з найважливіших критеріїв успішного проходження випробувань агрегатів типу НР-3 в складі двигунів типу ТВ3-117.

Розроблено методика визначення статичних характеристик РОСТ агрегатів типу НР-3.

Введено поняття фактичного статизму регулятора у розрахунковій точці.

Методика що запропонована, може бути використана при прийнятно-здавальних випробуваннях агрегатів даного типу.

### ЛІТЕРАТУРА

- [1] Сосунов, А. В. Неустановившиеся режимы работы авиационных газотурбинных двигателей / А. В. Сосунов, Ю. А. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1975. – 215с.
- [2] Идентификация систем управления авиационных газотурбинных двигателей / Под редакцией д-ра техн.наук В. Т. Дедеша. – М.: Машиностроение, 1984. – 193с.
- [3] Турбовальный двигатель ТВ3-117. Руководство по технической эксплуатации. Кн. 2. – 1986 – 204с.
- [4] Раздолин М. В. Агрегаты воздушно-реактивных двигателей / М. И. Раздолин, Д. Н. Сурнов. – М., Машиностроение. 1973. – 351с.
- [5] Безуглый С. В. Агрегаты систем авиационных двигателей: учеб. пособие / С. В. Безуглый, А. И. Скрипка, Б. Г. Нехорошев, Б. Я. Хмелик. – Харьков: ХАИ. – 2007 – 87с.
- [6] Гимадиев А.Г. Экспериментальное исследование колебательных процессов при испытаниях турбовинтового двигателя на гидротормозной установке. /А.Г. Гимадиев, В.А. Букин, П.И. Грещняков, А.В. Уткин // Материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. 22-24 июня 2016 г. Ч. 1, – Самара, Самарский национальный исследовательский университет. – 2016. С.20-21.