

УДК.629.76.01:621.454.3.01

І. Б. Безкровний, М. Т. Лисенко, В. Г. Гергель

## КОЛИВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ У СТАПЕЛІ В МОМЕНТ ВИХОДУ РДТП НА ОСНОВНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ

Розглянуто схему стапеля, який призначено для закріплення ракетних двигунів твердого палива (далі двигуни) під час їх випробувань із забезпеченням вимірювання тяги датчиком сили. Встановлено, що стапель є важливою ланкою в ланцюгу вимірювань, яка безпосередньо впливає на вимірювання тяги, значення якої використовують для визначення найважливіших характеристик двигунів (наприклад, сумарного імпульсу тяги). Відзначено, що під час виходу двигуна на основний режим роботи на тяговимірювальну систему стапеля діє динамічне навантаження, спричинене тягою двигуна, яке призводить до появи коливальних процесів у стапелі, тому під час проектування стапелів та їх тяговимірювальних систем необхідно знати характер цих коливальних процесів, щоб оцінити їх вплив на вимірювання тяги. Показано, що за відсутності в наявній проектній практиці методи, що дозволяють визначити характер коливальних процесів у стапелі, доцільно їх характер прогнозувати шляхом аналізу експериментальних кривих залежності тяги від часу в момент виходу різних двигунів на основний режим роботи. Наведено для аналізу ряд експериментальних кривих залежності тяги і переміщення рухомої частини стапеля від часу в момент виходу на основний режим роботи чотирьох двигунів з різними балістичними й енергетичними характеристиками. Коливальні процеси у стапелі спотворюють фізичний характер тяги, що вимагає проведення додаткового аналізу інформації після випробування, втім, ураховуючи те, що коливання досить швидко згасають, вони істотно не можуть впливати на визначення сумарного імпульсу тяги. Відзначено також, що частота коливань рухомої частини стапеля, зареєстрованих датчиком переміщення, збігається з частотою коливань тяги, зареєстрованих датчиком сили, крім цього, стабільний характер коливальних процесів, зареєстрованих датчиком сили, одних і тих самих двигунів у момент виходу їх на основний режим роботи, вказує на стабільність характеристик цих двигунів і стабільність роботи стапеля.

**Ключові слова:** вогневі стендові випробування двигунів, вимірювання тяги, графіки залежності тяги двигунів і їх переміщення від часу.

*This paper describes the configuration of the rig, designed to fasten the solid-propellant rocket engine (hereunder referred to engine) during their testing, with engine thrust measurements by force transducers. It is determined that rig is the important link in the measurement chain, which directly impacts the thrust measurements, values of which will be used for calculation of the most important engine characteristics (for example, total burn). It was observed that when engine starts the basic mode of operation the thrust-measuring system of the rig is impacted by the dynamic loading caused by the engine thrust, which results in the occurrence of the oscillating processes in the rig, therefore it is important to know the behavior of these oscillating processes to estimate their impact on the thrust measurement during the design of the rigs and their thrust-measuring systems. It is shown that if there is no procedure in the design practice to define the mode of oscillations in the rig it is rational to do it analyzing experimental thrust – time curves when different engines start the basic mode of operation. Number of experimental thrust (displacement of the engine/rig moving part) – time curves are provided for analysis when four different engines with different ballistic characteristic and capabilities start the basic mode of operation. Oscillating processes in the rig distort the physical behavior of the thrust, which requires additional analysis of the data following the tests, but since the oscillations subside rapidly, they will not significantly affect the calculation of the total burn. It is also observed that frequency of oscillations of the moving part of the rig, registered by the motion sensor, coincides with oscillation frequency, registered by the force transducer, moreover stable behavior of the oscillating processes, registered by the force transducer of the same engines, when they started the basic mode of operation, indicate the stable behavior of those engines and stable performance of the rig.*

**Keywords:** firing rig tests of the engine, thrust measurement, engine thrust and displacement – time diagrams.

**Вступ.** Масив значень тяги, отриманий під час випробувань РДТП (далі двигун), використовують для визначення найважливіших характеристик двигуна (наприклад, сумарного імпульсу тяги). Тому питанню вимірювання тяги приділяють велику ува-

гу. Випробування двигунів проводять з використанням стапелів\*, які призначені для

\* Безкровний І. Б., Кириченко А. С., Балицкий И. П. и др. Опыт предприятия по проектированию и эксплуатации стапелей для испытаний РДТП/Космическая техника. Ракетное вооружение: Сб. науч.-техн. ст. – 2008. – Вып. 1. – Днепропетровск: ГП "КБ "Южное". – С. 119–127.

закріплення двигунів на стенді. Розглянемо стапель (рис. 1), який складається зі стаціонарної 6 і рухомої 5 частин, з'єднаних пружними стрічками 7. На рухомій частині закріплено двигун 4, на передньому бандажі якого змонтовано тяговимірювальну систему, яка складається з рами 3, датчика сили 2 й упора 1. Стапель є важливою ланкою в системі вимірювань, яка безпосередньо впливає на вимірювання тяги двигунів.

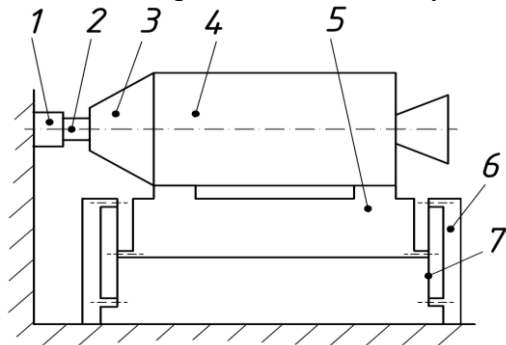


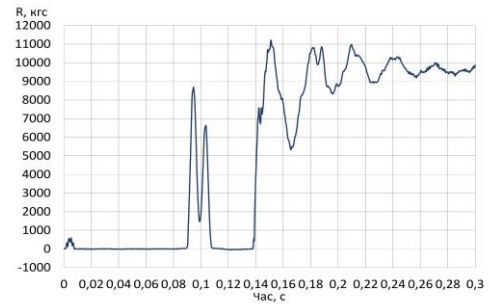
Рис. 1. Схема стапеля: 1 – упор; 2 – датчик сили; 3 – рама; 4 – двигун; 5 – рухома частина; 6 – стаціонарна частина; 7 – пружна стрічка

**Постановка завдання.** Під час випробувань, у момент виходу двигуна на основний режим роботи, на тяговимірювальну систему стапеля діє динамічне навантаження, спричинене тягою двигуна, яке призводить до появи коливальних процесів у стапелі, що впливають на вимірювання тяги на цьому відрізку. Тому під час проектування стапелів необхідно знати характер цих коливальних процесів, щоб оцінити їх вплив на вимірювання тяги.

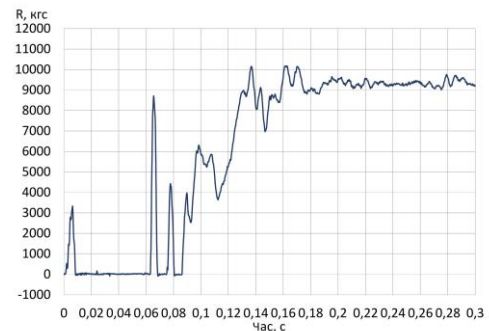
**Варіант вирішення завдання.** У зв'язку з тим, що в наявній проектній практиці відсутня методика, що дозволяє достовірно визначити характер коливальних процесів у стапелі, їх доцільно спрогнозувати шляхом аналізу експериментальних кривих залежності тяги від часу в момент виходу двигунів на основний режим роботи.

У зв'язку з цим розглянемо конкретні експериментальні криві тяги двигунів з різними балістичними й енергетичними характеристиками. На рис. 2, 5, 6 наведено криві, які зареєстровані датчиком сили під час випробувань серійних двигунів № 1, 3, 4. На рис. 3, 4 наведено криві, які зареєстровані датчиком сили під час випробувань двигуна № 2 у процесі його відпрацювання.

Випробування проводили на стапелі, схему якого наведено на рис. 1.

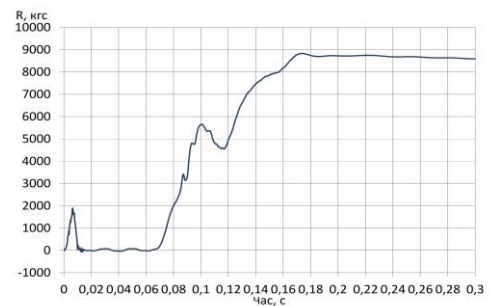


а

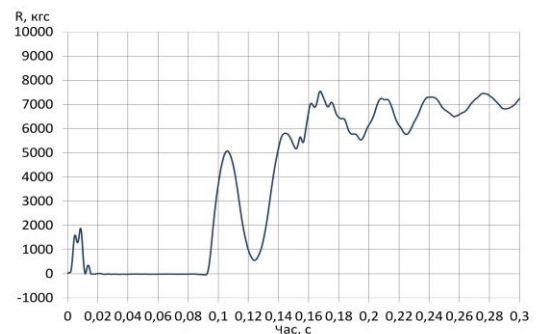


б

Рис. 2. Криві залежності тяги R від часу в момент виходу двигуна № 1 на основний режим: а – під час випробування № 1; б – під час випробування № 2



а



б

Рис. 3. Криві залежності тяги R від часу в момент виходу двигуна № 2 на основний режим: а – під час випробування № 1; б – під час випробування № 2

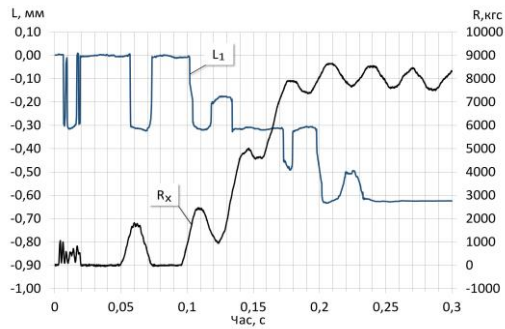
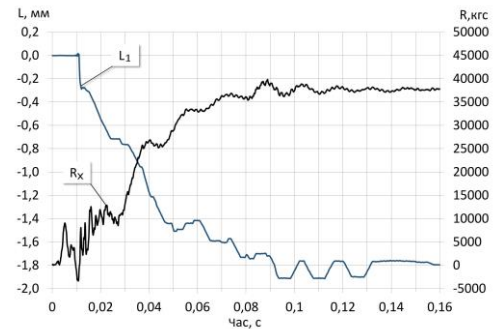
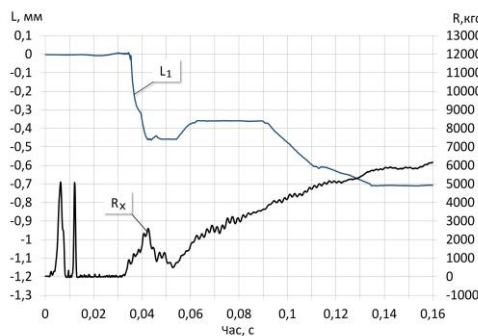


Рис. 4. Криві залежності тяги  $R_x$  та переміщення рухомої частини стапеля  $L_1$  від часу в момент виходу двигуна № 2 на основний режим під час випробування № 3

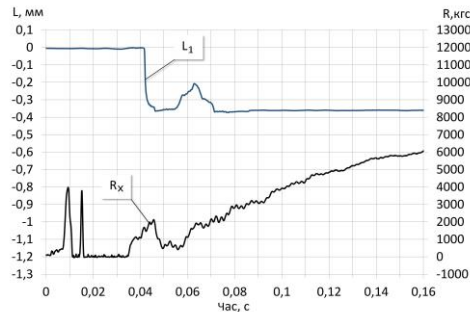


б

Рис. 6. Криві залежності тяги  $R_x$  та переміщення рухомої частини стапеля  $L_1$  від часу в момент виходу двигуна №4 на основний режим: а – під час випробування №1; б – під час випробування №2

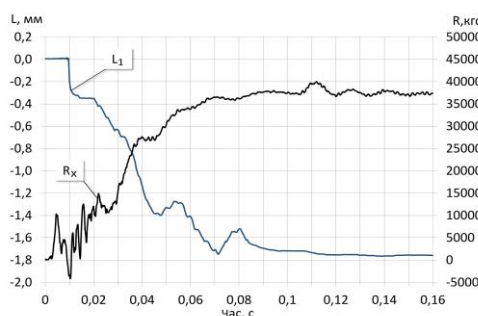


а



б

Рис. 5. Криві залежності тяги  $R_x$  та переміщення рухомої частини стапеля  $L_1$  від часу в момент виходу двигуна № 3 на основний режим: а – під час випробування № 1; б – під час випробування № 2



а

**Результати.** Аналіз вищенаведених експериментальних кривих залежності тяги від часу показує, що криві являють собою згаючі коливання, характер яких залежить від ряду взаємозв'язаних балістичних і енергетичних характеристик випробуваного двигуна та конструктивних особливостей стапеля.

Так, значення амплітуди цих коливань залежить від характеру зростання тяги в момент виходу двигуна на основний режим роботи та значення тиску вильоту його соплової заглушки. А частота коливань рухомої частини стапеля залежить від маси двигуна та рухомої частини стапеля й жорсткості тяговиміральної системи.

На рис. 4-6 наведено криві тяги і переміщення рухомої частини стапеля, виміряні в момент виходу двигуна на основний режим роботи. Аналіз цих кривих показує, що характер кривих переміщення рухомої частини стапеля відповідає характеру кривих залежності тяги від часу, зареєстрованих датчиком сили. Крім цього, частота коливань, зареєстрована датчиком сили, збігається з частотою коливань рухомої частини стапеля.

**Висновки.** Результати аналізу експериментальних кривих тяги і переміщення рухомої частини стапеля дозволяють зробити ряд практичних висновків:

– у момент виходу двигуна на основний режим роботи завжди спостерігаються коливання рухомої частини стапеля;

– частота коливань залежить від маси двигуна й рухомої частини стапеля і жорсткості тяговимірювальної системи;

– значення амплітуди коливань залежить від характеру зростання тяги в момент виходу двигуна на основний режим роботи та значення тиску вильоту соплової заглушки двигуна;

– частота коливань рухомої частини стапеля збігається з частотою коливань тяги, зареєстрованих датчиком сили;

– стабільний характер коливальних процесів, зареєстрованих датчиком сили, одних і тих самих двигунів у момент виходу їх на основний режим вказує на стабільність

характеристик цих двигунів і стабільність роботи стапеля.

У підсумку треба відзначити, що коливальні процеси у стапелі в момент виходу двигуна на основний режим роботи спотворюють характер тяги на цьому відрізку, що вимагає проведення додаткового аналізу інформації, отриманої після випробувань, втім, ураховуючи те, що коливання досить швидко згасають, можна стверджувати, що вони істотно не впливають на визначення сумарного імпульсу тяги.

Стаття надійшла 26.12.2018