

УДК 629.76.036

Р.Ю. КРИВСУН, И.Б. БЕСКРОВНЫЙ, В.Г. КОРОЛЕВ*Государственное предприятие «КБ бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск***УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ РДТТ**

Показано, что одной из задач увеличения объема измерений параметров РДТТ при испытании является обеспечение измерения начальной, текущей и конечной массы двигателя, что позволило бы повысить точность расчета ряда параметров, связанных с массой двигателя. Решение этой задачи стало возможным благодаря применению кинематических связей в стапеле, комплексно обеспечивающих как перемещение двигателя в направлении действия измеряемых параметров при малых потерях, так и измерение с достаточной точностью реакций в этих связях. Дано описание конструктивной схемы стапеля для измерения массы РДТТ при испытаниях. Приведены конструкции измерительных узлов.

Ключевые слова: испытания, двигатель, стапель, измерение, датчик, тяга.

Введение

Основным этапом экспериментальной отработки РДТТ являются огневые стендовые испытания (ОСИ), которые проводятся на испытательной базе с использованием специального испытательного оборудования – стапелей, которые являются важным элементом системы измерения параметров двигателя.

Использование стапелей разработки ГП «КБ «Южное» для ОСИ большой номенклатуры РДТТ обеспечило выполнение требований технических заданий в части объема и точности измерения их силовых параметров. Но при ОСИ не была решена задача измерения массы двигателя на протяжении его испытания. (Это ограничивало точность расчетов ряда параметров, связанных со значением начальной, текущей и конечной массы двигателя). Не определялись также и возмущающие усилия (от углового перекоса вектора тяги и его эксцентриситета) [1].

1. Постановка задачи

Создание более совершенных схем РДТТ и расширение требования разработчиков ракетно-космической техники ставят задачу не только улучшения качества измерения параметров РДТТ, но и увеличения объема их измерения.

Одной из задач увеличения объема измерения параметров РДТТ является обеспечение измерения начальной, текущей и конечной массы двигателя при испытании. Решение этой задачи стало возможным благодаря применению в стапеля кинематических связей, которые комплексно обеспечивают как перемещение двигателя в направлениях действия измеряемых параметров при достаточно малых по-

терях, так и измерение с достаточной точностью реакций в этих кинематических связях.

2. Вариант решения поставленной задачи

Вариантом решения поставленной задачи является конструктивная схема стапеля, представленная на рис. 1. Стапель, представленной конструктивной схемы, состоит из стационарной части 8 на которой через гибкие ленты 7 закрепленная подвижная часть 6 с возможностью перемещения по линии действия тяги. На подвижной части 6 через три кинематические связи, выполненные в виде весоизмерительных узлов 5, закреплена рама 4, на которую устанавливается испытываемый двигатель 3, при этом, два весоизмерительных узла закреплены в районе заднего шпангоута двигателя в плоскости критического сечения сопла двигателя симметрично оси двигателя, а один в районе переднего шпангоута в вертикальной плоскости, проходящей через ось двигателя. По оси двигателя установлен тягоизмерительный узел 2.

Тягоизмерительный узел 2 состоит датчика силы 10, на опорных поверхностях которого установлены опоры 9, 11 так, что их внешние контактные поверхности образуют сферу. Это позволяет тягоизмерительному узлу, как шару большого диаметра, кататься (при малых потерях на трение) между рамой 4 и упором 1 при перемещении двигателя в вертикальной плоскости [2].

Весоизмерительный узел 5 состоит из датчика силы 14, который одной опорной поверхностью закрепляется на дне стакана 15, а на другую опорную поверхность опирается опора 12 мембраны 13, жестко закрепленной на верхней поверхности стакана

15. Такая схема закрепления датчика силы обеспечивает, при малых потерях на деформацию мембраны 13, передачу на датчик силы 14 только осевой составляющей нагрузки, действующей на измерительный узел 5 (от действия массы), защищая датчик силы 14 от боковых нагрузок.

При испытании тяга двигателя измеряется датчиком силы 10, установленным в тягоизмерительном узле 2, а масса определяется как суммарное значение измерений датчиков силы 14 трех весоизмерительных узлов 5 за исключением массы элементов крепления двигателя.

Анализ приведенной конструктивной схемы ступени свидетельствует, что использование в ста-

пеле кинематических связей в виде гибких лент, весо- и тягоизмерительных узлов обеспечивает перемещение двигателя при достаточно малых потерях в этих кинематических связях как в горизонтальной плоскости для замера тяги, так и в вертикальной плоскости для замера начальной, текущей и конечной массы двигателя.

Приведенная схема закрепления в ступени весоизмерительных узлов относительно двигателя также позволяет определить (оценить) и боковую составляющую возмущающих усилий двигателя, которая действует в плоскости критического сечения сопла (в которой закрепляются датчики силы двух весоизмерительных узлов).

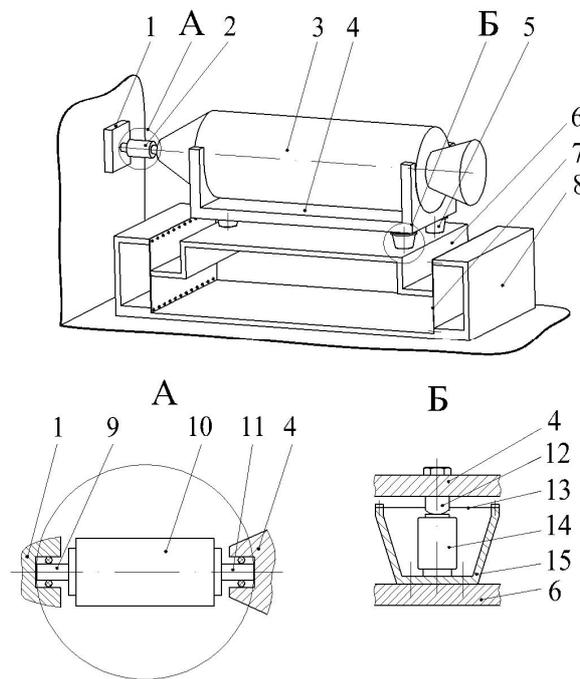


Рис. 1. Конструктивная схема ступени

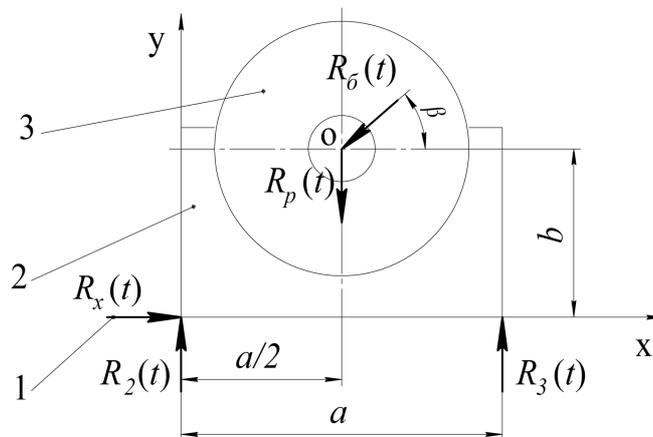


Рис. 2. Схема сил, которые действуют в плоскости критического сечения сопла двигателя:

- 1 – реакция связи (мембраны весоизмерительного узла);
- 2 – элементы крепления двигателя; 3 – двигатель

Модуль и направление действия боковой составляющей возмущающих усилий двигателя определяются путем решения уравнений равновесия системы «двигатель – элементы крепления двигателя» исходя из условия, что характер изменения массы двигателя эквивалентный характеру изменения расхода топлива и характеру изменения тяги двигателя (давления в двигателе):

$$\sum_{k=1}^n R_{kx} = R_x(t) - R_6(t) \cdot \cos \beta = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{k=1}^n R_{ky} = R_2(t) + R_3(t) - R_p(t) - R_6(t) \cdot \sin \beta = 0, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n M_0(R_k) = \frac{R_2(t) \cdot a}{2} - \frac{R_3(t) \cdot a}{2} - R_x(t) \cdot b = 0, \quad (3)$$

откуда:

$$R_6(t) = \sqrt{\left[\frac{a}{2 \cdot b} \cdot [R_2(t) - R_3(t)] \right]^2 + [R_2(t) + R_3(t) - R_p(t)]^2}, \quad (4)$$

где $R_6(t)$ – модуль боковой составляющей возмущающих усилий;

a – расстояние между измерительными узлами, закрепленными в районе заднего шпангоута двигателя;

b – расстояние от оси двигателя к плоскости расположения опорных поверхностей датчиков силы весоизмерительных узлов;

$R_2(t)$, $R_3(t)$ – показание датчиков силы весоизмерительных узлов, закрепленных в районе заднего шпангоута двигателя;

$R_p(t)$ – расчетное значение массы двигателя (от ее начального к конечному значению), определенное исходя из условия, что характер изменения массы эквивалентный характеру изменения расхода топлива двигателя:

$$R_p(t) = \int_0^t (R_2 + R_3) dt - \int_0^t G_p(t) dt, \quad (5)$$

где R_2 , R_3 – показание датчиков силы весоизмерительных узлов, закрепленных в районе заднего шпангоута двигателя, при определении начальной массы двигателя;

$G_p(t)$ – расчетное значение расхода топлива (от начального к конечному значению массы двигателя), определенное исходя из условия, что характер изменения расхода топлива эквивалентный характеру изменения тяги двигателя (давления в двигателе):

$$G_p(t) = \frac{(R_2 + R_3) - (R_2' + R_3')}{\int_0^t R(t) dt} \cdot R(t), \quad (6)$$

где $R(t)$ – характер изменения тяги двигателя (давления в двигателе);

R_2' , R_3' – показание датчиков силы весоизмерительных узлов, закрепленных в районе заднего шпангоута двигателя, при определении конечной массы двигателя.

Направление действия боковой составляющей $R_6(t)$ возмущающих усилий определяется по формуле:

$$\beta(t) = \arccos \frac{a}{2 \cdot b} \cdot \left(\frac{R_2(t) - R_3(t)}{R_6(t)} \right), \quad (7)$$

где $\beta(t)$ – угол наклона действия боковой составляющей возмущающих усилий.

Если при испытании двигателя центр масс системы «двигатель – элементы крепления двигателя» изменяется вдоль оси двигателя, тогда в формулах (4), (7) используются значения $R_2(t)$, $R_3(t)$ перечислены относительно центра масс этой системы, зафиксированного при измерении начальной массы двигателя, согласно условия:

$$\frac{R_2'(t)}{R_2(t)} = \frac{R_3'(t)}{R_3(t)} = \frac{R_2'(t) + R_3'(t)}{R_2(t) + R_3(t)}, \quad (8)$$

откуда:

$$R_2'(t) = \frac{c}{c+d} \cdot \frac{R_\Sigma(t) \cdot R_2(t)}{R_2(t) + R_3(t)}, \quad (9)$$

$$R_3'(t) = \frac{c}{c+d} \cdot \frac{R_\Sigma(t) \cdot R_3(t)}{R_2(t) + R_3(t)}, \quad (10)$$

где c – расстояние от весоизмерительного узла, закрепленного в районе переднего шпангоута к центру масс системы, зафиксированному при измерении начальной массы двигателя;

d – расстояние от центра масс системы, зафиксированного при измерении начальной массы двигателя, к плоскости закрепления двух весоизмерительных узлов в районе заднего шпангоута;

$R_\Sigma(t)$ – суммарное значение показаний датчиков силы трех весоизмерительных узлов [$R_1(t)$, $R_2(t)$, $R_3(t)$];

$R_2'(t)$, $R_3'(t)$ – перечисленные значения показаний датчиков силы измерительных узлов.

Заключение

Таким образом, зная реакции (показание датчиков силы) в кинематических связях, которыми в стапеле закреплен двигатель, а так же геометрические параметры размещения этих связей, и исходя из условия, что характер изменения массы двигателя эквивалентный характеру изменения расхода топлива и характеру изменения тяги двигателя (давления в двигателе), возможно определить (оценить) возмущающие усилия (при их наличии) и направление их действия на протяжении всего испытания. Определение возмущающих усилий и их направление

действия на протяжении всего испытания проводится с использованием специально разработанной компьютерной программы.

Исходя из приведенных материалов можно сделать вывод, что использование кинематических связей для закрепления двигателя в ступе в виде гибких лент, весо- и тягоизмерительного узлов позволяет решить задачу получения комплексной информации о тяге, массе двигателя и возмущающих усилиях, что расширяет технические возможности огневых стендовых испытаний РДТТ.

Поступила в редакцию 30.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

Рецензент: канд. техн. наук Н.П. Ушкин, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск.

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦІАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ РДТТ

Р.Ю. Кривсун, І.Б. Безкровний, В.Г. Корольов

Показано, що однією з задач збільшення обсягу виміру параметрів РДТТ при випробуванні є забезпечення виміру початкової, змінної та кінцевої маси двигуна, що дозволило б збільшити точність розрахунків ряду параметрів, пов'язаних зі значенням маси двигуна. Рішення цієї задачі стало можливим завдяки застосуванню кінематичних зв'язків у ступі, які комплексно забезпечують як переміщення двигуна у напрямках дії вимірювальних параметрів при малих втратах, так і вимір з достатньою точністю реакцій в цих зв'язках. Представлений опис конструктивної схеми ступі для виміру маси РДТТ при випробуванні. Наведені конструкції вимірювальних вузлів.

Ключові слова: випробування, двигун, ступель, вимірювання, датчик, тяга.

DESIGN IMPROVEMENT FOR SPECIAL EQUIPMENT OF SOLID ROCKET MOTOR TEST

R. Yu. Krivsyn, I. B. Beskrovniy, V. G. Korolyov

It is revealed that one of the tasks to increase the scope of SRM (solid rocket motor) parameters measured while testing is to ensure the measurement of the motor initial, variable, and final masses, which would enable improving the accuracy of calculation of a series of parameters related to the motor mass values. The task became solvable owing to the application in the jig of kinematic links, comprehensively providing the motor motion in certain directions of parameters measurement with small losses, as well as the measurement of reactions occurring in the links with sufficient accuracy. A structural layout of the jig for SRM mass measurement while testing is described. Measuring unit designs are provided.

Key words: test, motor, jig, measurement, sensor, thrust.

Кривсун Роман Юрьевич – инженер-конструктор Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Бескровный Иван Борисович – начальник группы Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.

Корольев Владимир Георгиевич – начальник отдела Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля», Днепропетровск, Украина.