

УДК 629.78

*В.С. Нічик, студент гр. ПМ-61, старший викладач Толочко Т.О.
КПІ ім. Ігоря Сікорського*

ОБЗОР И АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация. В статье приведены сведения о тягоизмерительных устройствах, предназначенных для измерения тяги импульсных энергетических установок.

Ключевые слова: энергетическая установка, тяга, импульс, измерительный преобразователь.

ВВЕДЕНИЕ

Тяга является одним из важнейших параметров энергетических установок (ЭУ), по которому оцениваются ее основные характеристики. Отделение тяги при различных режимах и эксплуатационных факторах является основной задачей испытания ЭУ.

Отличительной особенностью ЭУ является кратковременность их работы на установившемся режиме. Продолжительность работы ЭУ в период одного включения не превышает 0,1 секунды. Сюда входит запуск ЭУ, работа на установившемся режиме при теоретически постоянных давлении в камере сгорания и соотношении компонентов, а также ее выключение. Необходимость достоверного знания тяги не ограничивается только определением ее значений на установившихся режимах. С целью обеспечения динамической устойчивости и прочности энергетической системы необходимо знать характер нарастания тяги и ее экстремальную величину на участке запуска ЭУ, амплитуды свободных и вынужденных колебаний тяги на основном режиме, характер спада тяги на режиме выключения ЭУ и импульс последствия.

Измерение тяги импульсных ЭУ на всех режимах работы весьма затруднено. Это объясняется, главным образом, участием в процессе динамической передачи усилия на измерительный преобразователь тяги (ИПТ) силовой схемы крепления ЭУ, параметры которой, прежде всего жесткость, не обладают высокой стабильностью. Это приводит к появлению значительных по амплитуде свободных колебаний системы, существенно затрудняющих измерение исследуемых процессов. Данное обстоятельство обуславливает необходимость применения для определения тяги импульсных ЭУ специальных измерительных устройств, включающих звенья с высокой собственной частотой.

СВЕДЕНИЯ О ТЯГОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Основным узлом тягоизмерительной установки является станок, состоящий из неподвижной станины и рамы, к которой крепится испытуемая ЭУ. Рама, которая может быть подвижной, воспринимает тягу и передает ее на измерительное устройство и станину. В зависимости от конструкции станки подразделяются на четыре группы: 1) станки с минимальным трением; 2) станки с упругими связями между станиной и подвижной рамой; 3) жесткие станки; 4) специальные станки.

К первой группе относятся станки, у которых рама перемещается отно-

сительно станины с минимальным трением, это различного рода качалки, люнеты, тележки.

Ко второй группе относятся станки с подвижной рамой, подвешенной к станине на ленточных подвесках. С целью уменьшения измерительных усилий в практике испытаний находят применение станки рассматриваемой группы в виде устройств рычажного типа на упругих шарнирах.

К третьей группе станков (жестких) относятся устройства с неподвижной рамой. Эти станки конструктивно наиболее просты, отличаются минимальной массой и габаритными размерами. Схема станка жесткого типа приведена на рис. 1. На неподвижной раме 1 установлена испытываемая ЭУ 6. Тяга воспринимается измерительными преобразователями 2, установленными на станине 5, жестко закрепленной на несущей конструкции стенда.

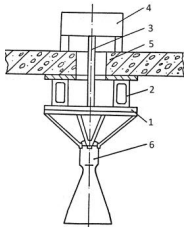


Рисунок 1. Схема тягоизмерительного станка жесткого типа

К четвертой группе станков относятся специальные устройства, обеспечивающие возможность измерения тяги ЭУ, имеющих такие конструктивные особенности, которые не позволяют произвести их испытания на указанных выше станках.

Подвижная рама в устройствах второй группы подвешивается либо с помощью шарикоподшипников, либо на упругих элементах. Применение шарикоподшипников приводит к увеличению моментов трения, наличию радиальных зазоров и неопределенности положения оси вращения подвижной рамы. В связи с этим наиболее целесообразны упругие шарниры и гибкие ленты. Преимущество упругих шарниров, в частности крестообразных, состоит в незначительном смещении центра вращения при передаче нагрузки, в надежности работы, долговечности, простоте конструкции.

В отдельных случаях, с целью повышения точности измерения тяги за счет уменьшения сил трения, предполагается применять аэростатические опоры [1], устанавливаемые под носовой частью подвижной рамы.

Измерение тяги осуществляется в основном с помощью электрических, гидравлических и механических измерительных преобразователей. Обладая достаточно высокой точностью измерения – $\pm 0,1\%$ от максимального значения тяги, гидравлические и механические преобразователи успешно применяются при стендовых испытаниях ЭУ с большой длительностью непрерывной работы. Для испытания импульсных ЭУ указанные преобразователи тяги не приемлемы.

Задача измерения тяги в ряде случаев решается с помощью компенсационных тягоизмерительных преобразователей. В частности для реактивных двигателей с малой тягой используется устройство, приведенное на рис. 2. Подвижная платформа 2 покоится на верхних призматических опорах трех вертикальных рычагов 4, подвешенных на призматических опорах 5. Регулируемые контргрузы 6 предназначены для компенсации веса подвижной платформы 2 с установленным на ней реактивным двигателем 1. Компенсация осуществ-

ляется таким образом, чтобы при незначительном горизонтальном перемещении платформы с двигателем отсутствовала бы горизонтальная составляющая суммарного веса. Горизонтальные перемещения платформы, обусловленные действием тяги двигателя, воспринимаются датчиком положения 3, дающим через сервоусилитель 9, сигнал на силовое компенсационное устройство 10. Усилие компенсационного устройства направлено противоположно тяге двигателя. В итоге, измерительное перемещение платформы сводится к минимуму. Величина сигнала, подаваемого на компенсатор, строго пропорциональна измеряемой тяге. Измерение данного сигнала осуществляется индикатором 8, проградуированном в единицах тяги. Массивная конструкция вертикальных рычагов способствует значительному уменьшению различных помех, обусловленных вибрациями фундамента и несущих стоек 7, воспринимающих вес всего устройства.

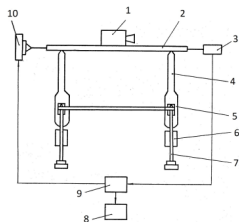


Рисунок 2. Тягоизмерительное устройство

Особое внимание при разработке тягоизмерительных устройств уделяется вопросам разгрузки ИПТ. В частности стенд для измерения тяги реактивного двигателя, содержащий подвижную платформу, рекомендуется оснастить дополнительным гидроцилиндром [2]. Шток гидроцилиндра соединен с платформой, а рабочая полость сообщается с магистралью высокого давления. В устройстве [3] возвращение подмоторной

рамы, подвешенной на гибких лентах и разгрузка тягоизмерителя осуществляется с помощью четырехзвенника с изменяемым передаточным числом плеч рычагов.

Основная трудность создания аппаратуры состоит в том, что она должна представлять собой колебательную систему с одной степенью свободы с высокой собственной частотой в то время как масса подвижной рамы и двигателя может быть весьма значительной. Для получения собственной частоты равной нескольким сотням герц система подвески рамы должна быть очень жесткой и перемещения рамы под действием измеряемой тяги настолько малы, что их измерение существующими измерительными преобразователями связано с большими трудностями. Учитывая, что жесткость колебательной системы связана с ее собственной частотой квадратичной зависимостью, при разработке устройства было решено пойти по пути уменьшения собственной частоты. Микродвигатель прикреплялся к системе пружина-масса, имеющей малое затухание и период колебаний около 30 мс. Инерционные силы, обусловленные большим периодом собственных колебаний учитываются при помощи компенсационной схемы. Микродвигатель 1 жестко прикреплен к плите 2.

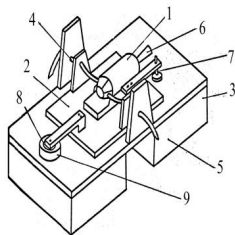


Рисунок 3. Стенд для определения тяги импульсных микродвигателей

Плита соединена с главной рамой тягомера 3 посредством двух торсионных трубок 4 из вольфрамо-ванадиевой стали. Через одну трубку 5 подается горючее, а через другую пропущены электровыводы. Горючее входит вдоль оси колебаний системы «платформа-двигатель» и давление горючего не вызывает появление крутящего момента при колебаниях системы. При истечении газов сопла 6 микродвигателя возникает момент стремящийся повернуть платформу 2 и уравниваемый упругими силами торсионных трубок. Угол поворота платформы измеряется при помощи емкостного преобразователя 7, закрепленного на раме 3. К другому концу платформы 2 прикреплена катушка 8, которая находится внутри кольцевого магнита 9, прикрепленного к раме 3. Пространство между катушкой и полюсами магнита заполнено маслом, обеспечивающим демпфирование системы. Катушка 8 и магнит 9 образуют электродинамический возбудитель колебаний, используемый для динамической градуировки преобразователя.

ВЫВОДЫ

Испытательные стенды для измерения тяги импульсных двигателей, длительность работы которых составляет десятки миллисекунд, должны удовлетворять дополнительным требованиям. Подвижная рама станков должна иметь минимальную массу при достаточной жесткости, так как большая присоединенная масса искажает зависимость тяги от времени на переходных режимах. Вектор тяги должен совпадать с направлением перемещения подвижной рамы, чтобы исключить появление боковой составляющей силы и дополнительные погрешности. Первостепенное значение для точности работы стендов, предназначенных для импульсных двигателей, имеет жесткость отдельных элементов и стенда в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Патент 316949 Стенд для измерения тяги реактивного двигателя/ Бирюков А. Л., Куприянов А. В., Нестеров В. С., — № 1439573/24-6; заявл. 08.05.1970; опубл. 07.10.1971, Бюл. № 30, 1971г.
2. Патент 328355 Стенд для измерения тяги/ Коробельников Л. М., Черемухин О. А., Баранов О. А., Осин А. А., — № 1384261/24-6; заявл. 11.12.1969; опубл. 02.11.1972, Бюл. № 6, 1972г.
3. Патент 280009 Стенд для замера силы реактивной тяги двигателя/ Зинин А. И., Калинин А. И., Гавриленков В. И., Степанов В. И., Васин Б. Е., Сычев А.П. — № 1332287/24-6; заявл. 21.04.1969; опубл. 26.08.1970, Бюл. №27, 1970г.