

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА-ГЕКСАПОДА ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ МАССО-ИНЕРЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ В АТМОСФЕРЕ

В.А. Смирнов, Л.Н. Петрова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)

Рассмотрим объект, находящийся в гравитационном поле, на который действует некоторая внешняя сила  $\vec{P}_{\hat{A}i\hat{a}\phi}$ . Направление и точку приложения этой силы будем считать известными. Примером такого объекта может быть, например, спускаемый аппарат, движущийся в атмосфере планеты (рис. 1): на тело действует внешняя аэродинамическая сила, приложенная в центре давления, а так же сила тяжести, приложенная в центре масс объекта.

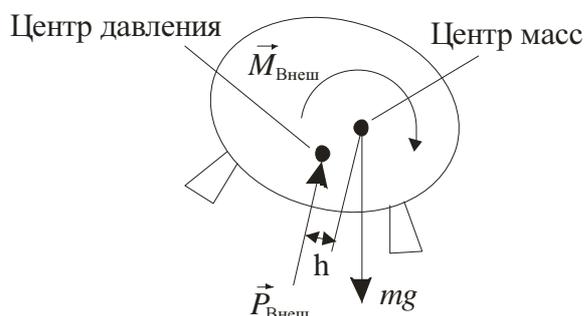


Рис. 1 Пример объекта для рассматриваемой задачи

В показанном на рис. 1 общем случае линия действия внешней силы не совпадает с линией, на которой расположены центры давления и масс. В результате этого на объект будет действовать момент  $\vec{M}_{\hat{A}i\hat{a}\phi} = \vec{P}_{\hat{A}i\hat{a}\phi} h$ , вызывающий нежелательный разворот объекта вокруг центра масс.

Уменьшить величину момента  $\vec{M}_{\hat{A}i\hat{a}\phi}$  до нуля можно совмещением линии, на которой расположены центры давления и массы, с линией действия внешней силы: при этом  $h = 0$ . Если принять, что направление линии действия внешней силы и точка ее приложения (центр давления) известны и неизменны, то осуществить такое совмещение можно только за счет изменения пространственного положения центра масс объекта.

Если положение центра масс в системе координат объекта является неизменным, то изменить пространственное положение центра масс можно только за счет поворота объекта (рис. 2, а). Однако такое решение не всегда приемлемо.

Одним из возможных вариантов изменения положения центра масс объекта является перемещение внутри него массивного тела, которое будем называть грузом. В качестве груза могут выступать какие-то элементы конструкции объекта: аккумуляторы, измерительное оборудование и т. п.

Для показанного на рис. 2, б плоского случая необходимо обеспечить перемещение груза по двум координатам; в пространственном случае потребуется перемещать груз по трем координатам.

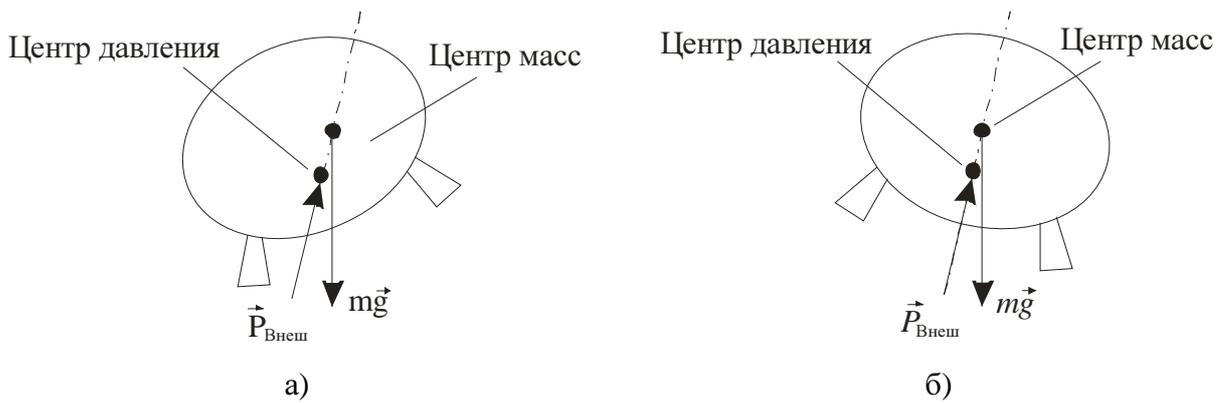


Рис. 2. Варианты совмещения центра масс с линией действия силы: а – разворот всего объекта, б – изменение положения центра масс внутри объекта

При управлении движением объекта помимо совмещения центра масс объекта с линией действия внешней силы может потребоваться коррекция его тензора инерции [1], которую можно осуществить путем поворота груза вокруг трех осей. Таким образом, возникает задача перемещения груза по шести координатам: трем линейным и трем угловым. При этом координаты должны быть независимы.

Перемещение груза по 6-ти независимым координатам потребует введения в конструкцию объекта 6-ти приводов; при решении этой задачи необходимо учитывать возможные весовые и энергетические ограничения, характерные для летательных аппаратов. С учетом этих ограничений будет являться целесообразным использования для перемещения груза устройства, построенного на базе механизма с параллельной кинематикой – гексапода. Как известно [2], в гексапode за счет изменения длин его штанг осуществляется перемещение выходного звена по 6-ти независимым координатам, что отвечает условиям задачи. В качестве выходного звена будет выступать груз (рис. 3), движение которого по 6-ти координатам необходимо обеспечить. Штанги гексапода связаны с несущими элементами объекта.

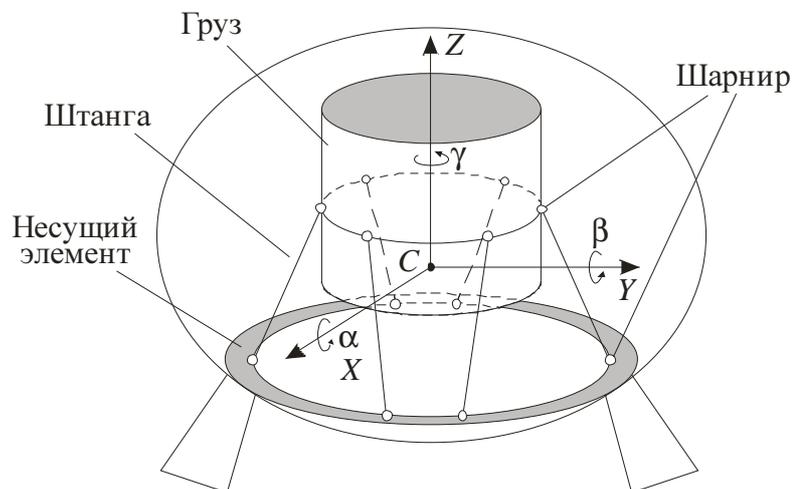


Рис. 3. Использование гексапода для перемещения груза

Кроме того, механизмы с параллельной кинематикой характеризуются высокой удельной жесткостью и меньшей, в сравнении с механизмами с последовательной кинематикой, выполняющими аналогичные функции, массой.

В работах [3–5] рассмотрены вопросы повышения энергоэффективности выполнения технологических операций при использовании оборудования с параллельной кинематикой. Показано, что можно обеспечить существенное, до нескольких десятков процентов, снижение затрат энергии на перемещение рабочего органа, что достигается за счет оптимизации управления.

Аналогичный подход может быть использован для снижения затрат энергии на перемещение груза как с целью совмещения центра масс объекта с линией действия внешней силы, так и с целью коррекции тензора инерции объекта.

При построении энергоэффективного управления гексаподом используется понятие избыточной выходной координаты, т.е. координаты, значение которой с точки зрения функционирования устройства не имеет значения. Для технологической операции фрезерования в качестве избыточной координаты выступает поворот платформы относительно продольной оси фрезы [3, 5].

Для рассматриваемой задачи так же необходимо ввести избыточную координату.

Если с помощью гексапода решается задача только совмещения центра масс с линией действия внешней силы, что достигается за счет смещения центра масс груза по трех координатам, то в качестве избыточных могут выступать все три угловые координаты  $\alpha, \beta, \gamma$  (см. рис. 3). В этом случае задача управления движением груза сводится к выполнению условия

$$P_{\text{идеа}}(\alpha, \beta, \gamma) \rightarrow \min ,$$

где  $P_{\text{идеа}}$  – потребляемая приводами мощность.

Задача коррекции тензора инерции дополнительно требует поворачивать груз. Однако в случае, если распределение массы груза симметрично относительно некоторой оси, поворот вокруг этой оси может рассматриваться как избыточная координата: этот угол поворота не влияет на тензор инерции груза. Таким образом, в этом случае избыточная координата вводится искусственно; управление движением груза должно осуществляться из условия

$$P_{\text{идеа}}(\gamma) \rightarrow \min .$$

Рассмотренные задачи могут рассматривать как частные случаи более общей задачи управления летательным аппаратом, спускающимся в атмосфере, за счет изменения его массоинерционных характеристик: изменения центра масс относительно линии действия внешней силы и изменения тензора инерции. Использование для перемещения груза механизма с параллельной кинематикой – гексапода в совокупности с соответствующими алгоритмами управления позволит снизить затраты энергии, необходимой для реализации управляемого спуска.

## Литература

1. Костров А.В. Движение асимметричных баллистических аппаратов / А.В. Костров. – М.: Машиностроение, 1984. - 272 с.
2. Глазунов В.А. Пространственные механизмы параллельной структуры / В.А. Глазунов, А.Ш. Колисков, А.Ф. Крайнев. – М: Наука, 1991. – 95 с.1.
3. Смирнов В.А. Рациональное расположение заготовки как фактор снижения затрат энергии при фрезеровании // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4; URL: [www.science-education.ru/98-4761](http://www.science-education.ru/98-4761).
4. Смирнов В.А. Энергоэффективное управление оборудованием с параллельными приводами // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 2; URL: [www.science-education.ru/96-4620](http://www.science-education.ru/96-4620).
5. Smirnov V. Energy efficient trajectories of industrial machine tools with parallel kinematics / V. Smirnov, V. Plyusnin, G. Mirzaeva // ICIT 2013 – 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (Cape Town, South Africa, 25-28 February, 2013). – P. 1267 – 1272.