

УДК 621.8.031.3(088.8)

РЫЧАЖНЫЙ ИНЕРЦИОИД

© 2016 А.Г. Мудров

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Статья поступила в редакцию 17.03.2016

Предложен рычажный привод поступательного движения, который может использоваться в качестве двигателя транспортных средств. Устройство содержит два передаточных рычажных механизма, состоящих каждый из шатуна, двух пространственных кривошипов со скрещенными под углом осями шарниров и дебалансных грузов, закрепленных на валах ведомых кривошипов. За счет структурного расположения осей шарниров звеньев, ведомые кривошипы с дебалансами имеют встречное неравномерное вращение в пределах одного оборота. В результате образуется инерционная сила, большая при максимальной угловой скорости, чем при меньшей скорости, и приводящая в движение транспортное средство. Величину силы можно регулировать угловыми и линейными параметрами звеньев, частотой вращения и массой дебалансов.

Ключевые слова: *кривошип, шатун, шарнир, инерционная сила, инерциод, транспортное средство*

С древнейших времен человек использовал транспортные средства, приводимые в движение посредством колес, винтов, сопел и т.п. Колесо, например, было изобретено более 5000 лет назад и используется сейчас во многих транспортных средствах: повозках, автомобилях, тракторах, велосипедах, мотоциклах, поездах и других. Передача от источника энергии (двигателя) к колесам производилась через систему механических, гидравлических и электрических передач, что усложняло и удорожало конструкцию транспортного средства. По этой причине человек изыскивал принципиально новые средства передвижения транспортного средства по земле, которые были бы лишены недостатков известных устройств.

Появились различные идеи для создания толкающего воздействия на корпус транспортного средства. Один из принципов действия очень прост: два грузика вращаются синхронно в разных направлениях. Каждый из них на половине траектории разгоняется приводом, а на второй половине траектории привод выключается, вращение тормозится пружинным тормозом. Такой режим ускорения и замедления вращения позволяет передавать корпусу устройства инерционные силы, вызывая его движение рывком за цикл. Использовал этот принцип действия и томский инженер Толчин В.Н., который в 1930 г. построил тележку, на которой перемещались грузики - в одну сторону быстро, а в другую медленно. Хотя к колесам никакой силовой передачи не было, она перемещалась неравномерно направленно. В.Н. Толчин впервые применил к своему устройству термин «инерциод», он более 30 лет занимался исследованием и изготовлением более 20 таких устройств, и по праву считается одним из родоначальников инерциодов [1].

Появились устройства, использующие вибрацию корпуса устройства, которое, например, на упругих элементах опиралось на грунт (патент Германии №10467). Интенсивная вибрация воспринималась упругими элементами, толчки которых передвигали корпус. О реализации этой идеи сообщений нет. В 1965 г. в Англии патент получает Бернгарт Бейерлайн: его машина, как и все предыдущие конструкции инерциодов, тоже перемещалась медленно, толчками, с периодическими остановками-паузами. В 60-е годы в нашей

стране на основе вибрации широко изготавливали самоходные детские игрушки [2, 3]. Что касается реальных транспортных средств на основе вибрации, то сведений в литературе об их изготовлении не обнаружено.

Большинство из перечисленных авторов успешно испытали свои аппараты, однако существуют весьма веские доказательства теоретиков, утверждающих, что эти проекты в корне непригодны, например, для использования в космосе. Иными словами, данные проекты (безусловно работоспособные) имеют весьма ограниченную сферу применения. Возникали различные идеи использования инерциодов в движении космических тел, используя методы небесной механики [4]. Предлагал в молодые годы инерциод для космических полетов и К.Э. Циолковский, однако позже отказался от идеи полета с помощью инерциода, признав идею неработоспособной.

Работой над двигателем с безреактивной тягой занимались немцы в период до войны и в войну (Шаунбергер), этим занимался и С.П. Королев, позже ряд конструкторов, как советских, так и иностранных. В СССР, а потом и в России проводилось множество научных экспертиз по испытаниям таких двигателей в земных условиях, среди научных экспертиз не было дано ни одного отрицательного заключения, были даны заключения с продолжением таких испытаний, в том числе и в космосе.

Перемещение происходит за счет движения внутри аппарата жидкого или твердого рабочего тела по определенной траектории, напоминающей по форме торнадо. Для питания используется энергия солнечных батарей. Образец двигателя нетрадиционного типа уже прошел испытания на Земле и получил поддержку в Роскосмосе, где проходил экспертизу. Если испытания в космосе также увенчаются успехом, движители без выброса реактивной массы в дальнейшем могут найти применение не только для управления и коррекции орбит космических аппаратов и орбитальных станций, но и как индивидуальные средства передвижения космонавтов в открытом космосе. Инициатором использования инерциодов в космосе являлся Меньшиков В.А. - руководитель МАКСМ (Международная аэрокосмическая система мониторинга) от международной астронавтики.

За последние 30 лет было выдвинуто более сотни проектов инерциодов, кратко отметим другие наиболее известные конструкции:

Мудров Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Дорожно-строительные машины». E-mail: Alexmudrov42@rambler.ru

- инерциод с ускоряющимися грузами (порошковый аппарат Волкова А.В.), испытан не был;
- инерциод с действующими силами Кориолиса, с направленным дисбалансом на вращающемся диске. Испытан не был;
- инерциод с переменным рычагом, инерциод Фролова А.В. Устройство успешно двигалось по поверхности стола. Опытные испытания на подвесе или в невесомости пока не проводились.
- гидро и жидкостные инерциоды, выводы преждевременны, работы продолжаются.
- инерциоды с переменной массой. Выводы, сделанные по идеям и проектам в «Космопоиске» отрицательные.
- инерциоды-хранители (Гулиа Н.В. и др.), сведения об их использовании не обнаружены.
- инерциоды-диссипаторы с магнитами и колебаниями среди электрозарядов. Вероятно, этот класс неработоспособен, сведений об испытаниях нет.
- инерциоды короткого удара используют для тяги «короткий некомпенсируемый удар». Пока на практике ни один из аппаратов не демонстрировался.

Заключая краткий обзор можно отметить следующее. Инерциоды для перемещения по поверхности земли преимущественно обеспечиваются механическими устройствами, которые эффективны и работоспособны, другие типы инерциодов пока не оправдали надежд гарантированного передвижения корпуса тележки. Для гарантированного передвижения тележки необходимо соблюдать ряд условий. Первое – должна быть создана инерционная (толкающая) сила, которая значительно превосходит таковую силу в обратном направлении движению. Второе условие – силы должны изменяться от минимального до максимального значения в пределах одного оборота источника привода. Третье условие – устройство должно быть максимально простым по конструкции, надежным и долговечным, обладать большим диапазоном регулирования толкающей силы, простым в управлении и обслуживании. Устройство для сообщения вращающимся грузам неравномерной угловой скорости в пределах одного оборота должно быть простым, обеспечивающим регулируемый гарантированный толкающий эффект. Что касается инерциодов для космического передвижения, то пока их эффективность не доказана.

Таким образом, для эффективного инерциода необходимо изыскать устройство, обеспечивающее гарантированное передвижение простым и надежным преобразующим механизмом. Нами в качестве преобразующего механизма использована схема рычажного механизма с особым пространственным расположением геометрических осей шарниров звеньев. Первый механизм этой группы – сферический, был опубликован в 250 г. до новой эры, примерно в 1500 г., древнеегипетским ученым Филоном в его «Механике». Кардан применил механизм для подвеса морских компасов, еще через 200 лет Роберт Гук применил его для передачи движения. Теперь этот механизм широко используется в технике, например, карданный вал заднеприводных автомобилей. Других механизмов этой группы известно не было. И только в 1903 г. английский математик Беннетт опубликовал статью о четырехзвенном механизме [5]. Он пытался изготовить действующую модель, но звенья механизма не проворачивались, чем признал бесперспективность его использования в технике. Отечественные и зарубежные ученые активно теоретически исследовали этот механизм, но никто из них не мог изготовить ни модель, ни тем более натурный образец.

Проблема в изготовлении моделей заключалась в следующем. При теоретических исследованиях механизмов концы длин соединяемых звеньев на схемах пересекались в одной точке. Поскольку геометрические оси шарниров звеньев скрещены (не параллельны и нигде не пересекаются), то при оформлении шарниров подшипниками качения или скольжения длины звеньев уже не пересекаются в одной точке, в результате звенья не могли проворачиваться. Проблема изготовления моделей, а затем производственных устройств (ноу-хау) решена казанскими учеными Б.В. Шитиковым и П.Г. Мудровым [6]. Кстати, и сейчас нигде кроме Казани, модели и натурные образцы ни отечественные, ни зарубежные ученые изготовить в металле не могут.

Для преобразования вращательного движения источника привода в поступательное движение исполнительного органа устройств и в качестве инерциода используем как раз четырехзвенный механизм Беннетта, определенным образом сконструированный для этой цели. На рис. 1 показана кинематическая схема рычажного инерциода. Конструкция включает поворотную раму 1, на которой смонтированы приводные элементы устройства. Источник толкающего усилия инерциода образован из 2 пространственных механизмов Беннетта, соединенных симметрично между собой и имеющие соответствующие угловые и линейные параметры под данную функцию [7]. Первый механизм – правый на схеме, включает ведущий кривошип 2, шатун 3, ведомый кривошип 4. Второй механизм – левый на схеме, также имеет ведущий кривошип 5, шатун 6, ведомый кривошип 7. Ведущие кривошипы 2 и 5 механизмов объединены жестко через общий приводной вал 8, который расположен горизонтально в корпусе стойки 9, последняя жестко закреплена на поворотной раме 1. На валу 8 жестко закреплён шкив 10 клиноременной передачи, второй шкив 11 которой закреплён на валу источника привода 12 (электродвигатель или мотор-редуктор). Источник привода 12 установлен на поворотной раме 1.

Валы 13 ведомых кривошипов 4 и 7 шарнирно установлены в вертикально расположенных стаканах правого 14 и 15 левого механизмов. Стаканы закреплёны на поворотной раме 1. На ведомых кривошипах 4 и 7 закреплёны дебалансные грузы 16. Поворотная рама 1 связана шарнирно валом 17 с нижней рамой-опорой 18. Поворотное устройство рамы 1 может быть выполнено, например, в виде червячной передачи, включающей червяк 19, прикрепленный к рулевому колесу 20 и червячное колесо 21, прикрепленное к валу 17 корпуса 1. Нижняя рама-опора 18 может иметь самоустанавливающиеся колеса 22 или в качестве варианта иметь полозья.

Параметры (угловые и линейные) механизмов имеют под заданную функцию следующие значения. Кривошипы 2 и 4 правого механизма имеют скрещенные геометрические оси шарниров под углом α (скрещенные – это оси, которые не параллельны и нигде не пересекаются между собой). Так как оси расположены в пространстве, то на схеме рис. 1 угол α показан с некоторым искажением. Здесь же следует отметить существенное отличие от известных положений измерений длин звеньев. Как уже отмечалось, в теоретических исследованиях этой группы механизмов длины смежных звеньев на схемах пересекались в одной точке. Теоретически все логично и правильно. Но когда пытались изготовить модель механизмов, звенья их не проворачивались, т.е. механизм был неработоспособен.

Проблема в том, что длины материальных звеньев не равнялись теоретическим значениям, и они уже не пересекались в одной точке. Длина звена измеряется

не по телу, а расположена вне тела звена, как определить эту длину – это ноу-хау.

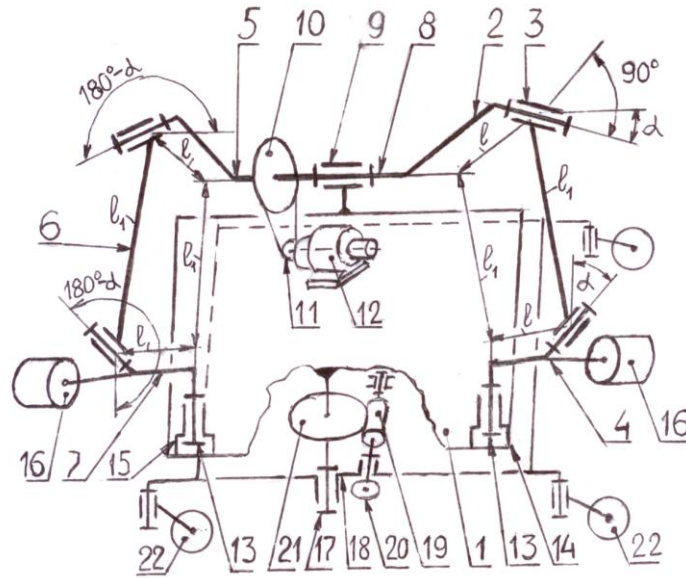


Рис. 1. Схема рычажного инерцоида

У кривошипов 2 и 4 длина их обозначена l и расположена вне тела (рис. 1). Угол α скрещивания осей шарниров может принимать значения от 10 до 65°, длина l в зависимости от длины шатуна и угла α . Шатун 3 правого механизма имеет геометрические оси отверстий, расположенные под углом 90° на расстоянии l_1 друг от друга, у шатуна длина измеряется по телу звена. Параметры звеньев левого механизма Беннетта имеют равные параметры с правым механизмом кроме угла скрещивания осей шарниров кривошипов 5 и 7. Этот угол равен разности $(180^\circ - \alpha)$. Длины l , l_1 и угол α связаны соотношением

$$l = l_1 \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Что касается расположения геометрических осей стойки 9 и вертикальных стаканов 14 и 15, то они расположены под углом 90°, так же как и у шатунов, а кратчайшее расстояние l_1 между этими осями находится вне тел стойки 9 и стаканов 14 и 15. Это расстояние равно длине l_1 шатунов 3 и 6, на схеме это расстояние расположено вне тел.

Рычажный инерцоид работает следующим образом (рис. 1). От источника привода 12 через клиноременную (или иную передачу) вращение передается ведущему валу 8 с кривошипами 2 и 5, которые передают вращение через шатуны 3 и 6 ведомым кривошипам 4 и 7 с дебалансными грузами 16. За счет особого расположения осей шарниров кривошипов, скрещенные под углом α правого механизма и под углом $(180^\circ - \alpha)$ левого механизма, под углом 90° геометрических осей ведущего вала 8 и валов 13 ведомых кривошипов 4 и 7, равномерное вращение ведущего вала 8 с кривошипами 2 и 5 преобразуется в неравномерное в пределах одного оборота вращения ведомых кривошипов 4 и 7 с грузами 16, при этом вращение осуществляется в противоположных направлениях.

Максимальное значение $\omega_{\max}$ угловой скорости грузов 16 определится выражением

$$\omega_{\max} = \frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha} \omega, \quad (2)$$

минимальное значение $\omega_{\min}$

$$\omega_{\min} = \frac{\cos \alpha}{1 + \sin \alpha} \omega, \quad (3)$$

где α – угол скрещивания осей шарниров кривошипов; ω – постоянная угловая скорость ведущих кривошипов.

При вращении каждого из грузов 16 возникает инерционная сила P , передаваемая через кривошпы 4 и 7 на поворотную раму 1. Величина силы определяется выражением

$$P = mr\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}, \quad (4)$$

где m – масса дебалансного груза, кг; r – радиус вращения груза (расстояние от центра массы груза до оси вала ведомого кривошипа), м; ω – угловая скорость вращения груза, 1/с; ε – угловое ускорение вращения груза, 1/с².

В результате сложения векторов инерционных усилий вследствие симметричного вращения грузов в противоположные стороны, силы, направленные перпендикулярно к оси симметрии взаимно уравновешиваются и на корпус 1 не действуют, а составляющие этих усилий, направленные параллельно оси симметрии складываются и действуют на корпус. При этом максимальное по величине усилие, соответствующее максимальной угловой скорости вращения грузов, направлено в сторону перемещения, а минимальное по величине усилие, соответствующее минимальной угловой скорости вращения грузов направлено в противоположную сторону.

На рис. 2 обозначены: результирующее инерционное усилие P , получаемое в результате сложения векторов инерционных усилий, сила трения $F_{\text{в}}$ опоры о поверхность, по которой она перемещается, в направлении движения устройства (вперед), сила трения $F_{\text{н}}$ опоры о поверхность по которой она перемещается, препятствующая движению устройства в противоположном направлении (назад); время $t_{\text{об}}$, соответствующее одному обороту грузов 16. Площадь,

ограниченная кривой $P=f(t)$ и находящаяся над осью абсцисс графика, представляет собой импульс силы P в направлении движения опоры, а площадь, ограниченная кривой $P=f(t)$, находящаяся под осью абсцисс представляет импульс силы P в противоположном направлении. В соответствии с законом сохранения количества движения величины этих импульсов равны.

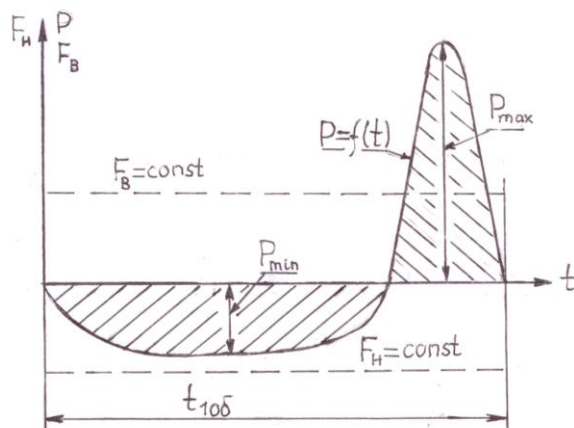


Рис. 2. График изменения силы

Однако вследствие неравномерности вращения грузов и существенного повышения амплитуды силы P в направлении перемещения опоры по сравнению с амплитудой этой силы в противоположном направлении при обеспечении величины силы трения F_H , равной или большей амплитуды силы P , движение опоры в противоположном направлении не происходит. А сила P в направлении движения лишь уменьшается на величину силы трения F_B , так как максимальное значение силы P в этом направлении существенно превышает величину F_B . В итоге полезный движущий импульс предлагаемого инерцоида отображается на графике рис. 2 площадью, ограниченной сверху кривой $P=f(t)$, а снизу – прямой $F_B=const$. В моменты, когда угловая скорость вращения грузов 16 принимает максимальное и минимальное значения, угловое ускорение равно нулю. Поэтому максимальное и минимальное значения силы инерции от двух грузов с учетом выражений (2), (3) и (4) соответственно равны:

$$P_{\max} = 2mr \frac{\cos^2 \alpha}{(1 - \sin \alpha)^2} \omega^2, \quad (5)$$

$$P_{\min} = 2mr \frac{\cos^2 \alpha}{(1 + \sin \alpha)^2} \omega^2. \quad (6)$$

Примем для примера значения: $m=15$ кг, $r=0,15$ м, $\omega=20$ с⁻¹ (1200 мин⁻¹), угол $\alpha=20^\circ$ ($\sin 20^\circ=0,342$; $\cos 20^\circ=0,939$), $\ell_1=200$ мм, $\ell=68,4$ мм. Максимальное значение силы $P_{\max}=3679,2$ Н, минимальное значение силы $P_{\min}=883,0$ Н. Примем угол $\alpha=60^\circ$ ($\sin 60^\circ=0,866$; $\cos 60^\circ=0,5$), $\ell_1=200$ мм, $\ell=172,05$ мм. Максимальное значение $P_{\max}=25139,7$ Н и минимальное значение силы $P_{\min}=129,3$ Н. Если принять массу всего устройства, равной 200 кг, при опоре на полозьях, коэффициент трения по грунту 0,4-0,5, то сила трения $F_B=F_H=2000 \cdot 0,5=1000$ Н. При приведенных примерах минимальная инерционная сила, действующая против движения равна 883,0 Н в первом случае, и 129,3 Н во втором случае, т.е. движения назад устройства не будет. Максимальная движущая сила вперед будет равна разности максимальной силы $P_{\max}$ и силы трения F_B , в первом случае движущая сила равна $P_{\max}-F_B=3679,2-$

$1000=2679,2$ Н; во втором случае эта сила равна $P_{\max}-F_B=25139,7-1000=24139,7$ Н.

Как видно из примера, движущая сила превышает силу трения, соответственно в 2,67 и 24,13 раза, что гарантировано для передвигания устройства в любых условиях. Тяговое усилие зависит от угла α скрещивания осей шарниров кривошипов, от массы дебалансных грузов и частоты вращения кривошипов.

Для изменения направления движения поворачивают рулевое колесо 20, в результате чего поворотный корпус 1 через червячное колесо 21 поворачивается червяком 19 относительно опоры 18. Этим достигается новое направление тягового усилия и направления движения устройства.

Предложенный инерцоид с успехом может использоваться в других разделах техники и технологий. Поворотную раму 1 можно устанавливать и вертикально, в этом случае устройство выполняет три функции: уплотнение грунта, асфальта, силоса и т.п.; забивание свай, шпунта и т.п.; извлечение из грунта свай, шпунта и т.п.

Выводы:

1. Механические инерцоиды успешно доказали возможность использования их для сообщения поступательного движения;
2. Для эффективного толкающего усилия необходим простой, надежный, с широким диапазоном регулирования силы, работоспособный и удобный в эксплуатации механизм создания импульсов;
3. Наиболее перспективный преобразующий механизм основан на использовании механизма Беннетта, определенным образом сконструированный. Он имеет минимальное число подвижных звеньев, преобразует угловую скорость в широких диапазонах, шарнирные соединения оформлены на стандартных подшипниках качения, следовательно, имеет высокий КПД (0,94-0,96);

Подробные сведения о пространственных механизмах с вращательными шарнирами можно получить в литературе [8-10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Толчин, В.Н. Инерцоид. Силы инерции как источник поступательного движения. – Пермь, Пермское книжное издательство, 1977. 99 с.
2. Сенюткин, А. Виброходы // «Юный техник». 1977. №6. С. 65-68.
3. Борисов, Ю. Виброход идет на свет // «Юный техник». 1978. №4. С. 72-73.
4. Белецкий, В.В. Очерки о движении космических тел. – М.: Изд-во ЛКИ, 3 изд. 2008. 426 с.
5. Bennett, G.T. A new mechanism Engineering. 1903. Vol.76. P. 777-778.
6. Мудров, П.Г. Пространственные механизмы с вращательными парами. – Казань: изд-во Казанского университета, 1976. 264 с.
7. Инерционный двигатель: авт. свид. №939817 СССР. М. К³ Ф 03 Г 3/00 / Мудров П.Г., Мудров А.Г.; заявитель и патентообладатель Казанский сельскохозяйственный институт им. М.Горького. №2872903/25-06; заявлено 22.01.80, опубл. 30.06.82. Бюл. №24. (Пч). – 3с.
8. Мудров, А.Г. Механизм Беннетта и использование его в технике. – Казань: изд-во КГСХА, 1999. 80 с.
9. Мудров, А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой. – Казань: РИЦ «Школа», 2003. 300 с.
10. Мудров, А.Г. Пространственные механизмы с особой структурой (Исследование). – Казань: РИЦ «Школа», 2004. 180 с.

LEVER INERAID

© 2016 A.G. Mudrov

Kazan State Architectural and Construction University

Proposed lever, the actuator reciprocating motion, which can be used as the engine of vehicle. The device comprises two transfer linkages, each consisting of connecting rod, crank two spatially crossed at the angle of the axes of the hinges and unbalanced loads attached to shafts of the driven cranks. Due to the structural arrangement of the axles of the hinge links, the slave crank with eccentric masses are unequal counter rotating within one revolution. The result is an inertial force, a large maximum angular velocity than at a lower speed, and propelling the vehicle. The magnitude of the force can be controlled linear and angular parameters of the links, the speed and mass of the eccentric weight.

Key words: *crank, rod, hinge, inertial force, ineraid, vehicle*