

УДК 629.33

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2021.51.141-146>

Л.Г. Малай, доц., канд. техн. наук, В. С. Попеску, доц., канд. техн. наук, Анжела Попескул, доц., канд. пед. наук, Я.В. Валуца, препод.

*Государственный аграрный университет Молдовы, г. Кишинёв, Молдова*

*e-mail: leondanus@mail.ru, v.popescu@mail.ru, popescula@mail.ru, valutamd@rambler.ru*

## Внедорожное транспортное средство на базе импульсно-фрикционного двигателя

В работе представлено описание результатов экспериментальных исследований условие сборки планетарной трансмиссии с некоторыми сателлитами которые выполняется в предположении, что все скоростные передачи нулевые, без перемещения инструмента. Это условие сильно ограничивает кинематические возможности передачи. Предлагается способ сборки спутников с произвольным передаточным числом планетарного (или просто соосного) механизма путем изготовления колес со смещенным прибором offset. Проблема решена как для сателлитов с одной, так и с двумя коронками.

**планетарный механизм, уникальные спутники, двойные спутники, делительные окружности колёс, начальные радиусы центральных колес, начальные радиусы спутников**

**Постановка проблемы.** Излагаемое в статье техническое новшество относится к транспортной технике, в первую очередь – для условий влажной и пересеченной местности.

Традиционные вездеходы основаны на касательном взаимодействии колесной или гусеничной ходовой части с землей. Их движение по снегу, грязи и мокрой дороге, особенно на подъеме, затруднено из-за недостаточности и без того большого сцепного веса. Это приводит к общеизвестным явлениям буксования и интенсивного износа шин и траков гусениц. Известно также, что гусеница – самая уязвимая часть боевой машины.

**Анализ последних исследований и публикаций.** У огромного класса наземных машин – тракторов - ключевым техническим показателем их тяговых возможностей является усилие «на крюке» [1]. И чем больше пассивная масса машины, тем выше этот показатель.

Небесные тела Марс, Венера и особенно Луна неблагоприятны для привычных средств передвижения, которые взаимодействуют с почвой посредством касательного тягового усилия. Этот недостаток проистекает из низкой гравитационной силы и разнообразия почв. В стремлении минимизировать массу межпланетной станции мы существенно понижаем тяговые качества «лунного трактора».

Однако в желании улучшить тяговые свойства двигателя инженерная мысль угнетена закостенелой идеей касательного контакта с дорогой. Так, изобретено вспомогательное колесное устройство к гусеничному ходу для обката встретившегося препятствия [2]. А для более глубокого погружения в грунт между двумя обычными ведущими колесами установлено эллипс образное колесо [3]. По замыслу авторов все это позволяет повысить ходовые свойства машины.

*Импульсно-фрикционный движитель (ИФД)* основан на отталкивании от земли под углом к направлению движения, подобно движению по земле людей и большинства хордовых животных, вследствие чего здесь отпадает гравитационное условие движения. В отличие от ноги в органическом мире, механический импульсатор генерирует колебания значительной частоты, измеряемой десятками циклов в секунду.

Назовем *виброходом* транспортное средство, приводимое в движение импульсно-фрикционным движителем. Все составные части виброхода могут быть отнесены к трем категориям: вибрирующие элементы ИФД, остов машины и передающие звенья. А важнейший показатель качества машины это отношение вибрирующей массы  $m_i$  к общей массе машины  $m$ :

$$k_m = m_i / m. \quad (1)$$

И чем ниже этот *показатель масс*, тем благоприятней он сказывается на всех нормативах виброхода - скоростных, энергетических, эргономических и пр.

ИФД сочетает в себе вибровозбудитель направленного действия и связанный с ним рабочий орган, например, опорную плиту, взаимодействующую с грунтом. Каждый цикл колебаний состоит из двух обычно равных интервалов. На *активном* интервале сила отталкивания увлекает плиту вперед и вверх, а на *пассивном* интервале плита прижата к земле и остается неподвижной благодаря значительной силе трения.

Вибровозбудитель направленного действия традиционно выполняют в виде пары неуравновешенных шестерен (рис.1), синхронно вращающихся в противоположные стороны [4]. Угол  $\alpha$  суммарной кинетической реакции  $F$  фиксирован заранее в зависимости от условий движения. Проекция переменной силы  $F$  на направление дороги  $x$  служит движущей силой в активном интервале движения.

$$F_x = \cos \alpha \quad (2)$$

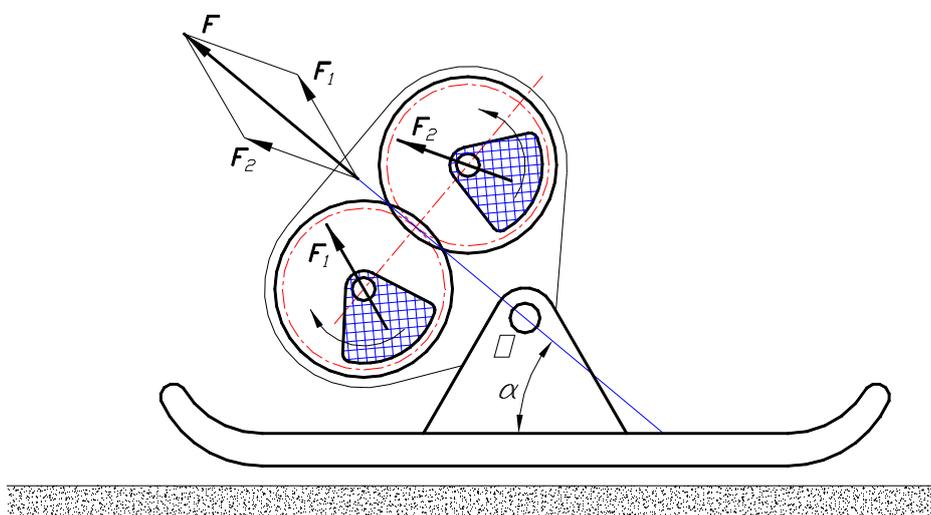


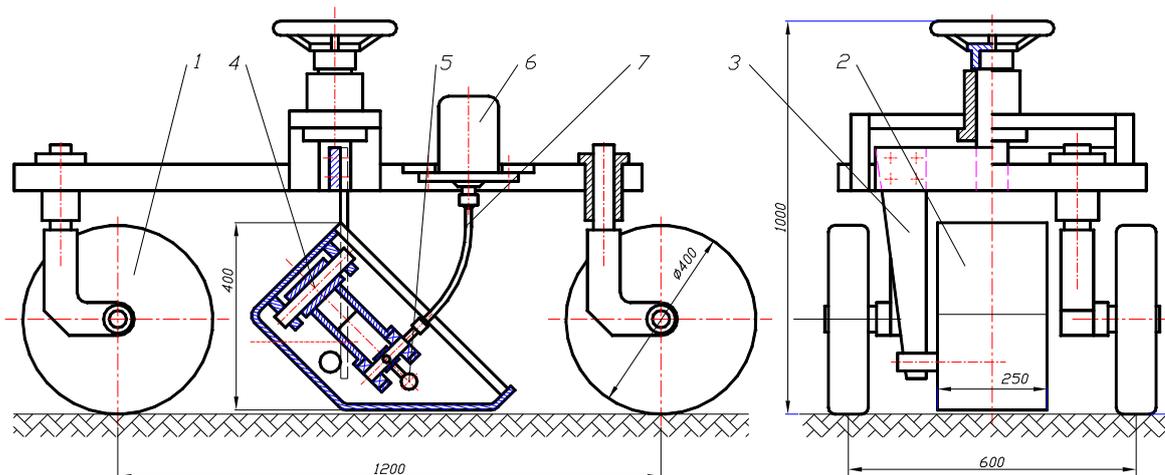
Рисунок 1 – Вибровозбудитель направленного действия

Источник: [4]

**Постановка задачи.** Для рассматриваемых условий зубчатая передача весьма массивна и шумно работает на больших частотах. Поэтому актуальной и перспективной задачей исследований является изыскание иных способов совершения вибраций, снижение шума и повышение общей эффективности работы машины, а также создание методики расчета основных параметров предложенного устройства.

**Изложение основного материала.** В ходе проведения анализа нами были предложены иные принципы вибрации, направленного действия. По маятниковой схеме [5, 6] совершающий быстрое вращение дебаланс помещен на конце стержня, наклоненного под заданным углом  $\alpha$  к направлению дороги. Положение стержня фиксировано мягкой пружиной кручения, вследствие чего он совершает синхронные колебания малой угловой амплитуды  $2\beta$ . При этом кинетическая реакция  $F$  строго направлена вдоль стержня.

Остов машины это тележка на колесах, но *не ходовых*, а в качестве обыкновенной опоры качения. Первый опытный образец виброхода изображен на рис.2.



1 – тележка на роляных колесах, 2 – импульсатор, 3 – плоская пружина, 4 – ось маятника, 5 – дебаланс, 6 – двигатель, 7 – гибкий вал

Рисунок 2 – Схема экспериментального образца виброхода

Источник: [4]

Здесь двигатель, помещенный на остов машины, вращает дебаланс движителя посредством гибкого или карданного вала. В результате машина приобрела плавность хода, и степень ее эффективности выросла в основном за счет того, что лишь десятая часть устройства взаимодействует с дорогой ( $k_m \approx 0.1$ ).

Толчковые движения рабочего органа передаются машине разными способами. Когда механизм передачи содержит несколько весомых звеньев, как, например в [7], это отрицательно сказывается на показателе  $k_m$ .

Наиболее простая связь ИФД с машиной реализована посредством упругих элементов с мягкой характеристикой. Это могут быть горизонтально установленные пружины, либо, как здесь показано, вертикальные пластины в форме балок равного сопротивления.

Алгоритм расчета ходовых свойств.

Основными характеристиками ходовых качеств импульсного вездехода являются скорость движения  $v$  и сила тяги на крюке  $F$ . А исходными данными служат следующие показатели экспериментального образца [8-14]:

- масса дебаланса  $m_d = 2,9 \text{ кг}$ ;
- радиус дебаланса  $r = 0,062 \text{ м}$ ;
- угловая скорость дебаланса  $\omega = 300 \text{ рад / с}$ ;
- масса толкателя (суммарная)  $m = 6 \text{ кг}$ ;
- угол наклона толкателя  $\alpha = 45^\circ$ .

Порядок расчета.

Окружная скорость дебаланса

$$v_d = \omega r = 300 \cdot 0,062 = 18, m/s . \quad (3)$$

Средняя окружная скорость дебаланса (за полупериод)

$$v_{med} = v_c / \pi = 18,6 / \pi = 6 m/s , \quad (4)$$

а ее проекция на направление движения –

$$v_\alpha = v_{med} \cos \alpha = 6 \cdot \cos 45^\circ = 4,24 m/s . \quad (5)$$

Коэффициент массы

$$\lambda_m = m_c / m = 2,9 / 6 = 0,48 . \quad (6)$$

Скорость перемещения толкателя определяется исходя из закона сохранения импульса

$$mv = m_d v_\alpha ,$$

откуда

$$v = m_d v_\alpha / m = \lambda_m v_\alpha = 0,48 \cdot 4,24 \approx 2 m/s . \quad (7)$$

Статический момент дебаланса

$$S = m_d r = 2,9 \cdot 0,62 = 0,18 kg \cdot m , \quad (8)$$

и его центробежная сила

$$F_d = \omega^2 S = 300^2 \cdot 0,18 = 16200 N . \quad (9)$$

Среднее значение центробежной силы (за полупериод)

$$F_{med} = F_d / \pi = 16200 / \pi = 5160 N , \quad (10)$$

а ее проекция на направление движения (сила тяги) –

$$F = F_{med} \cos \alpha = 5160 \cdot \cos 45^\circ = 730 N . \quad (11)$$

Мощность толкателя

$$P = Fv = 730 \cdot 2 = 1460 W \approx 1,5 kW . \quad (12)$$

Для предстоящих натурных исследований взаимодействия толкателя с тележкой выбран принят двигатель мощностью  $P_m = 2 kW$ .

Достоинства новой самоходной машины следующие.

Абсолютная проходимость. Оталкивание от земли под углом исключает буксование на месте. Машина не нуждается в пассивной массе для сцепления с дорогой.

Тяговая способность не зависит от веса машины и ее распределения по колесам.

Непосредственная передача энергии от двигателя к движителю. Устранена традиционная трансмиссия в виде коробки передач, дифференциала и пр. Движение управляется непосредственно частотой вращения двигателя. Скорость можно регулировать также углом импульсации (направление колебаний). При столкновении с препятствием или на крутом подъеме происходит автоматическое замедление движения в соответствии с воспринимаемой энергией.

Свободная маневренность. Колеса рояльного типа придают машине нулевой радиус поворота вплоть до разворота на месте. Более того, транспортное средство

способно перемещаться в поперечном и обратном направлениях. Такие маневры выполняются простым поворотом движителя вокруг вертикальной оси.

Отсутствие тормозных устройств. Для остановки машины достаточно замедлить вращение мотора или приблизить угол пульсации к вертикали. Устройство оставляет возможность двигаться по инерции: достаточно приподнять движитель, нарушив контакт с дорогой.

Долговечность. Исполнительным органом движителя служит опорная плита, практически не изнашиваемая. В итоге - значительная экономия резинового покрытия ведущих колес и гусеничных лент.

Перечисленные преимущества компенсируют сравнительно низкий КПД, обусловленный пассивной частью циклической работы движителя.

#### **Выводы.**

1. В отличие от традиционных наземных транспортных средств вездеход взаимодействует с дорогой не по касательной, а под острым углом; и это исключает пробуксовку на месте независимо от влажности опорной поверхности.

2. Машина, опирающаяся на четыре рояльных колеса, отделена от импульсного движителя мягким упругим элементом, вследствие чего она перемещается плавно и не испытывает вибрационных воздействий.

3. По сравнению известными виброзондами здесь КПД неизмеримо выше, потому что масса движителя существенно меньше общей массы машины.

4. Трансмиссия вездехода предельно проста: движение от двигателя передается гибким или карданным валом, а скорость движения регулируется углом наклона импульсатора.

#### **Список литературы**

1. Силаев Г.В. Конструкция автомобилей и тракторов: учебник для вузов: 3-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2018. 369 с.
2. J. Zuchoski, J. Bernard, S. Pilette. Track assembly for an all-terrain vehicle (ATV) or other tracked vehicle. US patent № US9033430B2. 2015.
3. Фролов М.Ф. Ходовая часть транспортного средства. Патент России: RU2504481C2 . 2012.
4. Блехман И.И. Вибрация изменяет законы механики. *Природа*. 2003. № 11.
5. Мор Е.Г., Сусян Л.А. А.С. СССР № 768690 по кл. В 62 D 57/00/. 1980.
6. Мор Е.Г. А.С. СССР № 998211 по кл. В 62 D 57/00/ . 1983.
7. Grossfild K. Traction devise. US patent № 3.365.012 . 1968.
8. Клімов Е.С. Щодо питання визначеності вагового стабілізуючого моменту . *Вісник КДПУ*. 2009. Вип. 1.54 . С. 61-65.
9. Черненко С.М., Клімов Е.С., Черниш А.А. Рулевые приводы транспортных средств с двумя управляемыми мостами. *Наукові нотатки* . 2018. Вип. 62. С 220-225.
10. Кравець В.В., Зіборов К.А., Бас К.М. та ін. Математичні моделі складових силової установки гібридного транспортного засобу. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. Вип 56. С. 117-136.
11. Гуревич Л.В., Меламуд Р.А. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств: Устройство и эксплуатация. М.: Транспорт, 1988. 224 с.
12. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобили. Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989. 237 с.
13. Гришкевич А.И. Автомобили. Теория. Минск: Вышэйшая школа, 1986. 229 с.
14. Грубель М.Г., Назаркевич С.М., Зіркевич В.М. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: курс лекцій . Львів: вид-во Академії сухопутних військ, 2011. 153 с.

#### **References**

1. Silaev, G.V. (2018). *Konstruktziya avtomobiley i traktorov: uchebnik dlya vuzov [The design of cars and tractors: a textbook for universities]*. Moskva: Yurayt [in Russian].

2. Zuchoski, J., Bernard, J. & Pilette S. (2015). *Track assembly for an all-terrain vehicle (ATV) or other tracked vehicle*. US patent № US9033430B2.
3. Frolov, M.F. (2012). *Hodovaya chast transportnogo sredstva [Chassis of the vehicle]*. Patent Rossii: RU2504481C2.
4. Blehman, I.I. (2003). *Vibratsiya izmenyaet zakony mehaniki [Vibration changes the laws of mechanics]*. *Priroda – Nature, 11* [in Russian].
5. Mor, E.G. & Suslyan, L.A. (1980). *Avtorskoe svidetelstvo SSSR № 768690 po kl. B 62 D 57/00/* [in Russian].
6. Mor, E.G. (1983). *Avtorskoe svidetelstvo SSSR № 998211 po kl. B 62 D 57/00/* [in Russian].
7. Grossfeld, K. (1968). *Traction devise.- US patent № 3.365.012*.
8. Klimov, E.S. (2009). *Schodo pitannya viznachenosti vagonogo stabilizuyuchogo momentu [On the question of the certainty of the weight stabilizing moment]*. *Visnik KDPU 1.54 – Bulletin of the KGPU 1.54*, 61-65 [in Ukrainian].
9. Chernenko, S.M., Klimov, E.S. & Chernish, A.A. (2018). *Rulevyie privodyi transportnyih sredstv s dvumya upravlyaemyimi mostami [Steering gears of vehicles with two steering axles]*. *Naukovi notatki – Scientific notes 62*, 220-225 [in Russian].
10. Kravets, V.V., Zilborov, K.A. & Bas, K.M. et al. (2018). *Matematichni modeli skladovih silovoyi ustanovki gibridnogo transportnogo zasobu [Mathematical models of the components of the power plant of a hybrid vehicle]*. *Zbirnik naukovih prats Natsionalnogo girnichogo universitetu – Collection of scientific works of the National Mining University, 56*, 117-136 [in Ukrainian].
11. Gurevich, L.V., Melamud, R.A. (1988). *Pnevmaticheskii tormoznoy privod avtotransportnyih sredstv: Ustroystvo i ekspluatatsiya [Pneumatic brake drive of motor vehicles: Device and operation]*. Moscow: Transport [in Russian].
12. Litvinov, A.S. & Farobin, Ya.E. (1989). *Avtomobili. Teoriya ekspluatatsionnyih svoystv [Cars. Theory of operational properties]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
13. Grishkevich A.I. (1986). *Avtomobili. Teoriya [Cars. Theory]*. Minsk: Vyisheyshaya shkola [in Russian].
14. Grubel, M.G., Nazarkevich, S.M. & Zirkevich, V.M. (2011). *Avtomobili. Teoriya ekspluatatsiy vlastivostey avtomobilya: kurs lektsiy [Cars. Theory of operational properties of the car: a course of lectures]*. Lviv: vid-vo Akademiyi suhoputnih viysk [in Ukrainian].

**Leonid Malai**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Victor Popescu**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Angela Popescu**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Iacob Valuța**, assistant  
*State Agrarian University of Moldova, Chisinau, Moldova*

### **Off-road Vehicle Based on Impulse-friction Propulsion**

The paper considers the issues of improving the driving performance of ground vehicles, which are designed for conditions of wet and rough terrain. The analysis of existing propellers is carried out and their most promising type is proposed - a vibration exciter of directional oscillations. The connection of the proposed impulse-friction propulsion unit with the machine is implemented by means of elastic elements with a soft characteristic.

A description of the results of experimental studies of the assembly condition of a planetary transmission with some satellites is presented, which is performed on the assumption that all speed gears are zero, without moving the tool. This condition severely limits the kinematic possibilities of the transmission. A method is proposed for assembling satellites with an arbitrary gear ratio of a planetary (or simply coaxial) mechanism by manufacturing wheels with a displaced offset device. The problem has been solved for both satellites with one and two crowns.

Thus, the proposed all-terrain vehicle interacts with the road at an acute angle, which eliminates slipping, regardless of the humidity of the supporting surface. At the same time, the machine rests on four wheels and is separated from the impulse mover by a soft elastic element, as a result of which it moves smoothly and does not experience vibration effects. The proposed device has a simple transmission and high efficiency, since the mass of the propeller is significantly less than the total mass of the machine.

**planetary mechanism, unique satellites, double satellites, wheels splitting rays, the initial rays of the central wheels, the initial rays of the satellites.**

*Одержано (Received) 11.11.2021*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.11.2021*

*Прийнято до друку (Approved) 29.11.2021*