

Рассмотрим особенности оперативной вибродиагностики опасных дефектов в режиме реального времени. Первой особенностью оперативной вибродиагностики является ее выполнение в режиме реального времени, при этом к ней предъявляется требование быстроедействие при высокой достоверности постановки технического диагноза при обнаружении дефектов и отказов. Такая диагностика может быть реализована при параллельном измерении и анализе вибросигналов в ряде контрольных точек. При этом используются многоканальные on-line анализаторы вибрационных сигналов и тока с максимальной скоростью реакции на изменение состояния вращающихся элементов.

Другой особенностью оперативной вибродиагностики является необходимость применения компромиссного подхода между высокой скоростью измерения и глубины получаемого технического диагноза. Здесь необходим переход на обнаружение неисправностей и дефектов не с момента их зарождения, а с того момента, когда дефект начинает реально влиять на техническое состояние и работоспособность объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рынкевич, С. А. Концептуальные основы диагностики гидрофицированных трансмиссий карьерной техники / С. А. Рынкевич // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы международной научно-технической конференции. Сборник трудов. – Тюмень, – 2018. – С. 237–241.

2. Рынкевич, С. А. Автоматизация диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий / С. А. Рынкевич // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сборник научных трудов в 2-х томах / Белорусский национальный технический университет; редкол.: отв. ред. Д. В. Капский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 46–50.

*Поступила 02.11.2023*

**УДК 629.373.3**

**Скойбеда А. Т., Жуковец В. Н.**

### **ВЫБОР КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕЙ ХОДОВОЙ СИСТЕМЫ НАЗЕМНОГО ДРОНА**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

*В статье выполнен обзор перспектив развития беспилотной наземной техники различного назначения. Рассмотрены области практического применения проектируемого беспилотного наземного аппарата, использующего колесно-шагающую ходовую систему. Описаны варианты конструктивной схемы колесно-шагающей ходовой системы, предназначенной для беспилотной наземной техники.*

Беспилотные сухопутные аппараты (наземные дроны) – транспортные средства, перемещающиеся по поверхности Земли (или поверхности небесного тела), выполняющие свои функции без присутствия на борту человека-оператора. Беспилотная сухопутная техника применяется [1; 2]:

- в космических исследованиях (аппараты-планетоходы);
- в сельском хозяйстве при использовании технологий точного земледелия (механическая обработка почвы с использованием минеральных удобрений, применение химических средств защиты растений, полив выращиваемых культур, различные технологические этапы при уборке урожая);

- в качестве технического обеспечения функционирования системы образования (роботы-андроиды в музеях, выставочных комплексах и при проведении научных конференций);
- в горнорудной и добывающей промышленности (геологическая разведка полезных ископаемых, добыча руды открытым и шахтным способами, перевозка рудного концентрата после обогащения);
- для нужд коммунального хозяйства и при организации быта в личных домохозяйствах (косилки газонов, роботы для уборки помещений, мытья окон и исполнения поручений по дому);
- для работы в условиях чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера (дроны для тушения пожаров при биологическом, химическом или радиационном заражении, при поиске людей под завалами зданий после землетрясений или в условиях военного конфликта);
- при боевых действиях (роботы для обезвреживания неразорвавшихся боеприпасов, разминирования территорий, доставки грузов, поражения живой силы и техники противника, эвакуации раненых и прочее);
- для осуществления различных операций торгового и логистического характера (роботы-перевозчики для доставки товаров из складов и магазинов, наземные беспилотные машины при транспортировке на большие расстояния крупных партий грузов).

Беспилотные наземные аппараты (БНА) работают, как правило, при соблюдении следующих основных условий:

1. Анализ окружающей обстановки с помощью видеокамер (работают в разных диапазонах электромагнитного спектра), радара, датчиков химического или радиационного заражения.

2. Постоянная передача информации оператору, другому БНА, управляющей нейросети по радиосвязи или оптоволоконному соединению.

3. БНА военного назначения применяются в сложных дорожных и погодных условиях (рис. 1). Для этих машин необходимы: надежная связь с пунктом управления, высокая проходимость по пересеченной местности, простота в применении и техническом обслуживании.



Рис. 1. Российский гусеничный дрон «Уран-9» на выставке [2]

Тем не менее, многие разработки БНА все еще находятся на стадии компьютерных 3D-моделей (рис. 2) [2]. Следует отметить, что производство беспилотной техники сухопутного назначения находится на начальном этапе своего развития, серьезно отставая по

массовости использования от летающих или морских беспилотников. На данный момент, в мире имеется крупный свободный объем рынка, который следует насытить новыми образцами техники этого перспективного направления.



Рис. 2. Перспективная модель колесного БНА для запуска беспилотного летательного аппарата (БПЛА) от германской компании «Рейнметалл» [2]

Учитывая эти обстоятельства, приоритетное внимание нужно уделить созданию БНА повышенной проходимости, использующих комбинированные ходовые системы (колесно-гусеничного или колесно-шагающего типов), способные к трансформации [3; 4]. Среди перечня перспективных моделей БНА, следует упомянуть китайский наземный дрон военного назначения (рис. 3), обладающий треугольными колесно-гусеничными движителями. На данную комбинированную ходовую систему, можно устанавливать дополнительные узлы и функциональные модули для перевозки грузов [2].



Рис. 3. Китайский колесно-гусеничный военный БНА [2]

На современном этапе, представляется перспективным использование ходовых систем колесно-шагающего типа, сочетающих в себе преимущества этих двух способов передвижения [5; 6]. Созданные в БНТУ опытные образцы колесно-шагающего движителя применялись на мотоблоке (рис. 4). При этом, данная ходовая система продемонстрировала преимущества в проходимости, при сравнении ее с классической колесной системой.

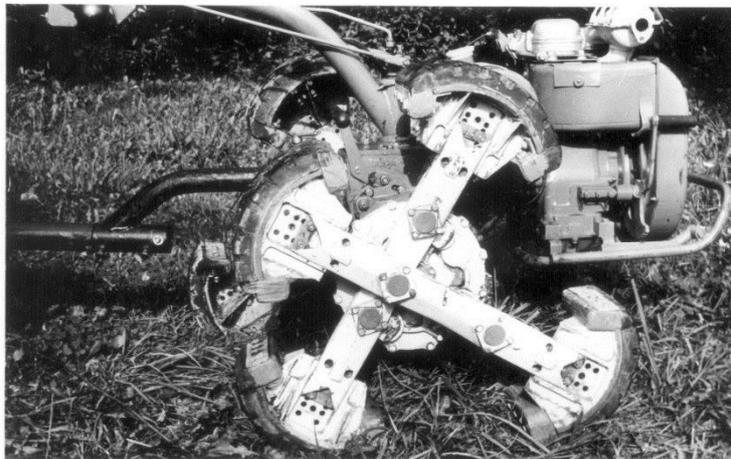


Рис. 4. Колесно-шагающий движитель

Среди причин высокой проходимости колесно-шагающей системы можно назвать дискретность колеи, которая представляет собой цепочку следов. Колесо образует сплошную колею, затрачивает дополнительную энергию на смятие грунта и не способно преодолеть сравнительно невысокие препятствия (траншеи, уступы, камни, бревна), которые колесно-шагающий движитель способен перешагнуть. Данные обстоятельства позволяют применять колесно-шагающий движитель в аграрном и лесопромышленном секторах экономики, для работ по добыче полезных ископаемых, для выполнения различных задач в условиях чрезвычайных ситуаций [3; 5; 6].

Существующие образцы движителя были установлены на мотоблок, который приводился в действие двигателем внутреннего сгорания через сложную механическую передачу [5; 6]. На современном этапе развития производственных технологий, представляется более целесообразным электромеханический привод, когда каждый отдельный колесно-шагающий движитель получает мощность от собственного электродвигателя. Электродвигатели, в свою очередь, получают энергию либо от аккумулятора большой мощности, либо через электрогенератор от двигателя внутреннего сгорания. Таким образом, следует использовать опыт практического применения гибридных силовых установок на автомобильном транспорте, включая электронную систему управления работой движителей.

При разработке конструктивных схем колесно-шагающих ходовых систем для наземных дронов (рис. 5), следует также использовать опыт производства и эксплуатации планетоходов [4], а также специальной техники других областей применения [3]. Тем не менее, обобщая накопленный ранее опыт, следует его творчески сочетать с наиболее передовыми разработками современной мировой промышленности.

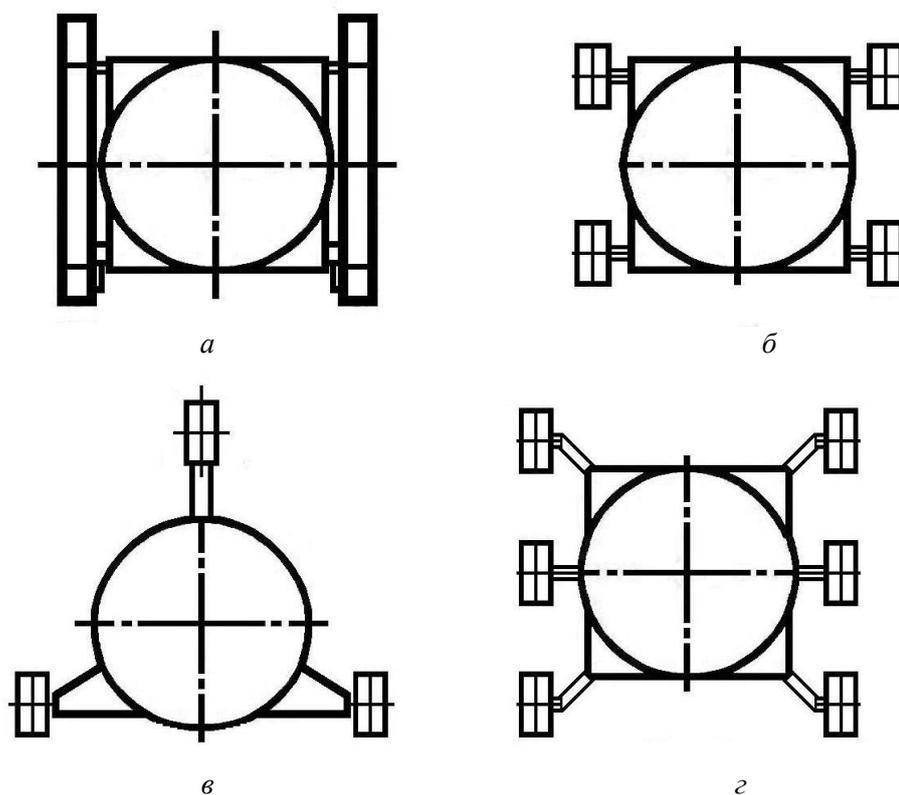


Рис. 5. Конструктивные схемы колесно-шагающих ходовых систем для беспилотных наземных аппаратов различного назначения:  
*а* – комбинированная колесно-шагающая система с гусеницами; *б* – колесно-шагающая система из четырех движителей; *в* – колесно-шагающая система из трех движителей; *г* – колесно-шагающая система из шести движителей

В итоге, можно отметить, что сухопутное направление развития беспилотных машин находится на начальной стадии реализации своего потенциала, заметно уступая по широте применения воздушным и морским беспилотным аппаратам. Данная область рынка современной техники довольно слабо освоена во всем мире, поэтому необходима целевая концентрация производственных и финансовых ресурсов, чтобы обеспечить, в ближайшем будущем, для отечественной промышленности лидирующие позиции в производстве и продаже беспилотных наземных аппаратов различного назначения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. UAV-BPLA. – Режим доступа: <https://uav-bpla.com/bespilotniki>. – Дата доступа: 02.10.2023.
2. Жуковец В. Н. Повышение проходимости беспилотного наземного аппарата с колесно-шагающей ходовой системой / Вестник Тульского государственного университета. Проблемы и перспективы развития автоматизации технологических процессов: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 90-летию лауреата Госпремии СССР, доктора техн. наук, профессора Дмитриева Л. Б., 23 июня 2023 года. – Тула.: Издательство ТулГУ, 2023. – С. 227–233.
3. Котович С. В. Движители специальных транспортных средств. Часть I: Учебное пособие / МАДИ (ГТУ). – М., 2008. – 161 с.
4. Кемурджиан А. Л. Планетоходы. – М.: Машиностроение, 1993. – 400 с.

5. Скойбеда А. Т., Жуковец В. Н. Колесно-шагающие движители для транспортного средства высокой проходимости // Теоретическая и прикладная механика. Международный научно-технический сборник. – Выпуск 28. – 2013. – С. 228–233.

6. Скойбеда А. Т., Жуковец В. Н., Комяк И. М., Калина А. А., Давыдов В. С. Шагающие движители – перспективное направление создания агрофильных ходовых систем мобильных машин / Сборник научных трудов «Актуальные вопросы машиноведения». – Выпуск 3. – Минск, 2014. – С. 102–105.

*Поступила 02.11.2023*

**УДК 621.833.5:629.3.038**

**Скойбеда А. Т., Калина А. А., Жуковец В. Н.**

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗУБЬЕВ НЕКРУГЛОЙ  
СИММЕТРИЧНОЙ ВЕДУЩЕЙ ШЕСТЕРНИ В ПРИВОДЕ  
КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ**

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

*В статье обоснована рациональная конструкция силового привода колесно-шагающего движителя. Разработана методика расчета конструкции некруглых зубчатых колес, имеющих симметричные геометрические параметры. Вычислена функция переменного передаточного отношения в силовом приводе, созданы трехмерные модели некруглых зубчатых колес.*

Изготовленные в БНТУ образцы колесно-шагающего движителя (КШД) осуществляют перемещение комбинированным способом [1]. Одновременно происходит: прокачивание по поверхности опорных башмаков аналогично колесу, осуществляется перемещение ступицы движителя за счет поворота штанг и кривошипов по шагающему принципу. Ходовая система с КШД позволяет наземной технике перешагивать отдельные препятствия (камни, бревна, рывины, уступы), на что неспособна колесная ходовая система. Преимущества, в виде высокой геометрической и грунтовой проходимости, позволят широко задействовать машины с КШД в сельском хозяйстве, лесопромышленном комплексе, в качестве беспилотных наземных аппаратов (БНА), эксплуатируемых в обстановке чрезвычайных ситуаций [2; 3].

С другой стороны, даже при установившемся режиме работы КШД, возникают периодически действующие силы инерции. Результативным способом устранения этого недостатка, является применение в силовом приводе КШД некруглых зубчатых колес. В предыдущих публикациях [4; 5] были разработаны различные методы вычисления геометрических параметров этих колес. При этом, ведущая зубчатая шестерня имела несимметричную форму. Помимо наличия статического дисбаланса, при высокой частоте входного вала возникала значительная динамическая неуравновешенность, которая ухудшала работу зацепления.

Таким образом, возникла необходимость изменить общее передаточное отношение в приводе движителя за полный рабочий цикл. В приводном зубчатом зацеплении, несмотря на переменное от угла поворота передаточное отношение, за один выполненный полный оборот ведомого колеса будут совершаться два полных оборота ведущей шестерни приводного вала. Тогда, появляется возможность вычислить симметричные геометрические параметры ведущей шестерни. Ранее, ведущая зубчатая шестерня имела несимметричную форму тогда [4; 5], когда за один полный оборот ведомого колеса совершаются четыре полных оборота ведущей шестерни.