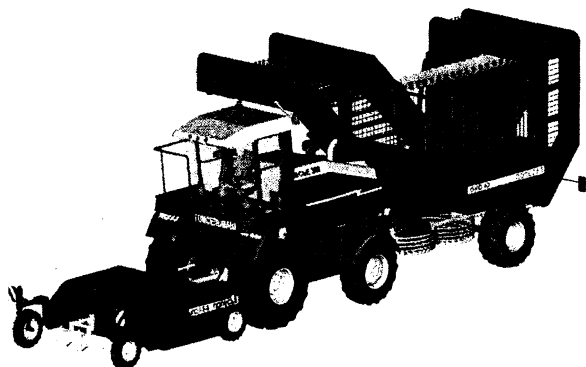


## Приложение 7

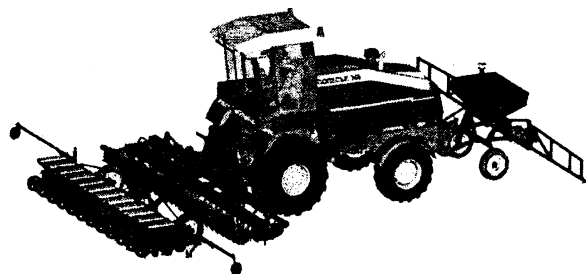
## Комплекс для уборки сахарной свеклы на базе УЭС «Полесье-350»



Состав комплекса:	УЭС-350
- энергосредство	КСН-6-5
- комбайн свеклоуборочный	ОНС-10
- очиститель-накопитель свеклы	
Ширина междурядий, см	45
Количество убираемых рядков, шт.	6
Производительность за час основного времени, га/ч	до 2
Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	10
Количество обслуживающего персонала, чел.	1

## Приложение 8

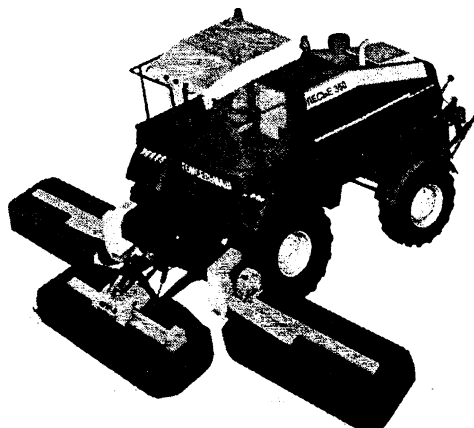
## Комбинированный агрегат для предпосевной обработки почвы, внесения удобрений и посева пропашных культур на базе УЭС «Полесье-350»



Состав комплекса:	УЭС-350
- энергосредство	БНР-6
- борона ротационная	СУ-12
- сеялка для внесения удобрений	СТВ-12
- сеялка точного высева	
Производительность, га/ч	до 5,5
Ширина захвата, м	5,4
Глубина рыхления, мм	до 120

## Приложение 9

## Комплекс для скашивания трав на базе УЭС «Полесье-350»



Состав комплекса:	УЭС-350
- энергосредство	КПР-9
- косилка-плющилка ротационная	
Ширина захвата, м	9
Минимальная высота среза, мм	50
Производительность по основному времени, га/ч	до 10
Скорость движения, км/ч:	
- рабочая	до 12
- транспортная	до 40
Ширина одинарного валка, м	0,8...2

## КОЛЕСНО-ШАГАЮЩИЕ МАШИНЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ И СИЛЫ ТЯГИ

*Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук  
Минск, Беларусь*

Колесо является движителем практически любого современного транспортного сухопутного средства. Исключением являются устройства с приводом мускульной силой животных или человека, такие как, например, конная тележка или карета, ручная тачка, детская коляска и т.п., где колесо не является движителем, а является лишь опорой, обеспечивающей малую силу перемещения груза по опорной поверхности. Сделаем замечание, относящееся к теме настоящего сообщения, о том, что древнейшее изобретение человечества колесо было изобретено не как движитель, а как средство, облегчающее перемещение грузов с помощью мускульной силы животных или человека. На протяжении почти трех тысячелетий сухопутные колесные транспортные средства использовали лишь ведомые колеса. Сегодня и ведущие и ведомые колеса любой транспортной машины являются одновременно опорой машины и средством ее взаимодействия с поверхностью опоры, обеспечивают требуемое направление движения, реверсирование и торможение.

Не будет преувеличением сказать, что колесный привод, являясь идеальным средством скоростного перемещения колесных транспортных машин по твердому дорожному покрытию, не является таковым в качестве средства передвижения по мягким грунтам и бездорожью и, тем более, в качестве силового тягового средства в этих условиях. Такие присущие колесному приводу явления как скольжение, буксование, высокое давление на грунт, уплотнение почвы, недостаточное тяговое усилие являются его известными недостатками, осложняющими использование колесно-приводных машин на сельскохозяйственных работах, связанных с обработкой плодородной почвы и передвижением по сельскохозяйственным угодьям.

Упомянутые недостатки колесно-приводных машин сегодня являются причиной поиска способов и механизмов движения транспортных средств, лишенных этих недостатков или уменьшающих в той или иной степени отрицательные последствия контакта колеса с плодородной почвой. Главной альтернативой колесному приводу в этом смысле явился гусеничный движитель, радикально снижающий давление на грунт и повышающий силу тяги машины. Другим направлением поиска являются попытки создания шагающих мобильных машин, где изобретены механизмы, объединяющие в себе качества колесного и шагающего движителей [1-4]. В 20-м веке подобные устройства не нашли широкого применения. В наше время интерес к шагающим механизмам возрос в связи с развитием робототехники и мобильных устройств, предназначенных для космических целей (планетоходы, луноходы) [5]. Известны также экспериментальные работы по созданию гибридных мобильных роботов способных, в зависимости от дорожных условий, применять колесный либо шаговый принцип движения [6, 7].

Далее описаны колесно-шагающие транспортные и транспортно-тяговые устройства, разработанные в Объединенном институте проблем информатики (до 2002 года Институт технической кибернетики) Национальной академии наук Беларуси. Принцип действия этих устройств основан на использовании идей волнового способа движения некоторых живых существ, таких как садовая гусеница, дождевой червь,

змея, улитка и модификации этих способов движения путем применения колесной опоры шагающего устройства на грунт [4, 8-10]. Такие простые по конструкции колесно-шагающие устройства, не имеющие ведущих колес, обладают повышенной силой тяги, высокой проходимостью и мобильностью и, по мнению специалистов, могут оказаться перспективными для использования в таких областях как сельское хозяйство, землеройные и дорожные работы, работы в шахтах и карьерах, лесное хозяйство, бестраншейная укладка кабеля и т.п. Повышенная сила тяги таких устройств достигается тем, что опорные колеса здесь работают не в ведущем, а в "толкающем" режиме, обеспечивая тем самым повышенную силу тяги в сравнении с колесом, работающим в ведущем режиме [1, 2]. Низкое давление на грунт а, следовательно, меньшее деформирование почвы и высокая проходимость по пересеченной местности, обеспечиваются тем, что опорные колеса здесь могут быть сколь угодно большого диаметра, что невозможно при колесно-приводном движителе. Подобные колесно-шагающие устройства могут быть также использованы для создания самоходных платформ мобильных роботов для передвижения по поверхности планет [11], а также для создания легких простых транспортных средств высокой проходимости и мобильности с приводом мускульной силой человека [12].

#### Принцип действия колесно-шагающего механизма, использующего волновой биомеханический способ движения

Для пояснения разработанного нами принципа работы колесно-шагающих транспортных устройств рассмотрим рисунок 1.

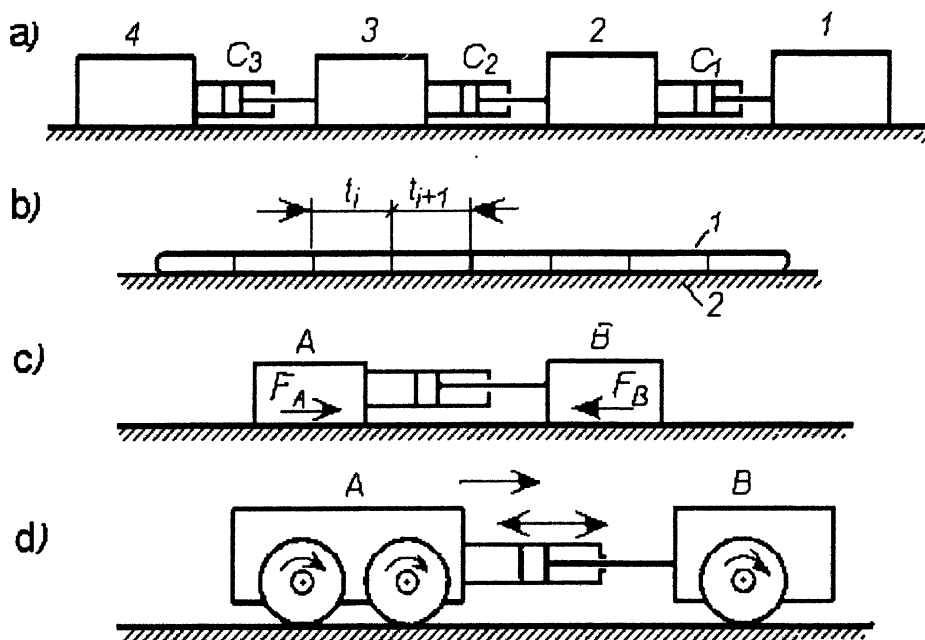


Рис. 1.

Массивные блоки 1, 2, 3, 4, (рис. 1, а) лежащие на опорной поверхности, связаны друг с другом гидроцилиндрами  $C_1, C_2, C_3$ . При определенной последовательности работы гидроцилиндров блоки и "поезд" в целом можно привести в движение в одном направлении. Если давление жидкости подать в левую часть цилиндра  $C_1$ , а все остальные цилиндры замкнуть, блок 1 переместится вправо, а остальные блоки будут неподвижны. Если теперь давление подать в левую часть цилиндра  $C_2$  и в правую часть цилиндра  $C_1$ , блок 2 сместится вправо, а остальные блоки будут неподвижны. Далее следует подать давление в левую половину цилиндра  $C_3$  и в правую половину  $C_2$  (блок 3 сместится вправо) и затем повысить давление в правой части  $C_3$  (блок 4 сместится

вправо). Во время одного описанного цикла работы цилиндров весь “поезд”, состоящий из четырех блоков, сместится на опорной поверхности на длину, равную ходу поршней цилиндров.

Этот способ движения является, по существу, техническим прототипом способа движения дождевого червя (рис. 1, *b*), который также перемещает свое тело “по частям”, последовательно сокращая и удлиняя соседние ( $i$ -й,  $i+1$ -й и т.д.) участки своего тела. Зададимся вопросом: возможно ли подобное движение “поезда”, состоящего лишь из двух блоков (рис. 1, *c*)? Ответ должен быть отрицательным: здесь будет иметь место лишь сближение и удаление блоков, но не их направленное перемещение по опоре. Однако, если два блока снабдить опорными колесами, оснащенные муфтами одностороннего вращения (муфтами обгона) или другими управляемыми механизмами для периодической фиксации колес, можно преобразовать двухблочный “поезд” (блоки которого связаны механизмом возвратно-поступательного движения) в простое самопередвигающееся колесно-шагающее устройство (рис. 1, *d*).

Отметим принципиальное отличие полученного нами самоходного колесного транспортного устройства от обычных колесно-приводных транспортных устройств: в обычных устройствах, чтобы двигаться нужно вращать колеса, а в нашем колесно-шагающем устройстве вращать колеса не требуется, а требуется приводить в поступательное движение оси колес. Особенностью движения такого транспортного устройства является шаговый характер перемещения. В дальнейшем приведены схемы колесно-шагающих механизмов, обеспечивающих непрерывное движение шасси устройства.

#### Колесно-шагающая транспортно-тяговая платформа с двумя силовыми гидроцилиндрами

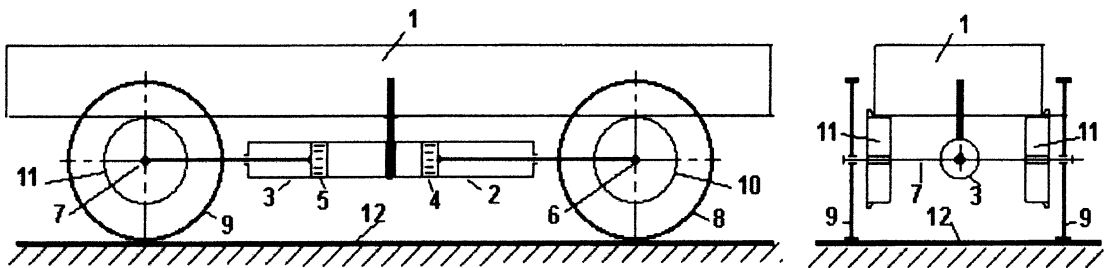


Рис.2

Колесно-шаговый способ движения транспортного средства иллюстрируется при помощи схемы гидрофицированного устройства, использующего этот способ передвижения (рис.2).

Устройство содержит корпус (шасси) 1 с прикрепленными к нему неподвижными цилиндрами 2 и 3 с подвижными поршнями 4 и 5. Шток цилиндра 2 соединен с осью 6 двух передних опорных колес 8 устройства (мы рассматриваем движение устройства слева направо, рис. 2), а шток цилиндра 3 – с осью 7 двух задних колес 9. На осях 6 и 7 закреплены обгонные муфты (на фигурах не показаны), обеспечивающие одностороннее вращение колес, т.е. позволяющие колесам 8 и 9 свободно вращаться вперед, т.е. по ходу перемещения устройства (вправо на рисунке 2), и препятствующие вращению колес в обратном направлении. Корпус 1 опирается на два передних (10) и два задних (11) опорных ролика, свободно вращающиеся на осях 6 и 7 опорных колес, что позволяет осям совершать возвратно-поступательные движения относительно корпуса устройства. Устройство передвигается по опорной поверхности 12.

Передвижение устройства происходит следующим образом. В исходном состоянии штоки поршней 4 и 5 выдвинуты из тяговых гидроцилиндров 2 и 3, оси 6 и 7 опорных колес 8 и 9 удалены на максимальное расстояние друг от друга. При подаче жидкости под давлением в наружные (штоковые) полости цилиндров 2 и 3 начинается встречное движение их поршней 4 и 5: поршень 4 движется назад относительно корпуса 1 (влево на рис. 2), поршень 5 движется в противоположном направлении, т.е. вперед относительно корпуса 1. В этой фазе движения задние колеса 9 свободно вращаются вокруг оси 7 и катятся вперед (вправо на рис. 2) по опорной поверхности 12 со скоростью  $V_1$ , относительно корпуса 1, равной скорости движения поршня 5 в цилиндре 3. Передние колеса 8 стремятся катиться назад под действием силы поршня 4, однако обгонные муфты колес 8 препятствуют их качению назад. Поршень 4, связанный с осью 6 неподвижного колеса 8, неподвижен относительно опорной поверхности 12 и под действием давления в правой полости цилиндра 2 цилиндр 2 будет перемещаться вперед (вправо) относительно опорной поверхности 12 со скоростью  $V_2$  движения поршня 4 в цилиндре 2, осуществляя тем самым движение с той же скоростью корпуса 1.

При выполнении условия, что скорость  $V_1$  поршня, движущего корпус 1 вперед (в рассматриваемой фазе движения это поршень 5), больше скорости  $V_2$  поршня, движущегося назад (это поршень 4), т.е. при условии, что  $V_1 > V_2$ , (это условие неравенства скоростей движения поршней обеспечивает гидросистема устройства, которая не показана на фигурах) поршень 5 цилиндра 3 придет в свое крайнее правое положение быстрее, чем поршень 4 цилиндра 2 придет в свое крайнее левое положение, поэтому реверсирование поршня 5 произойдет раньше, чем реверсирование поршня 4. После реверсирования поршень 5 под действием давления жидкости в правой полости цилиндра 3 приходит в движение назад по отношению к цилиндру 3 и неподвижно соединенному с ним корпусу 1 устройства, т.е. влево на фигуре 1, со скоростью  $V_2$ , меньшей скорости  $V_1$ . Ввиду того, что опорные колеса 9, ось которых 7 неподвижно связана с поршнем 5 цилиндра 3, не могут катиться назад, поршень 5 остается неподвижным относительно опорной поверхности 12, а его цилиндр 3 получает движение вправо со скоростью  $V_2$ , тем самым перемещая вперед (совместно с цилиндром 2) корпус 1 устройства со скоростью  $V_2$ . Таким образом в этой фазе движения происходит реверсирование одного тягового цилиндра (цилиндра 3) во время непрерывного равномерного движения корпуса 1 устройства под действием другого тягового цилиндра (цилиндра 2), что предотвращает краткий останов корпуса устройства и обеспечивает его равномерное движение во время реверсирования одного из тяговых цилиндров.

В момент прихода поршня 4 в крайнее левое положение происходит его реверсирование, давление жидкости подается в левую полость цилиндра 2 и поршень 4 начинает движение в цилиндре в противоположном направлении, т.е. вперед (вправо на рис.2) со скоростью  $V_1$ , большей скорости  $V_2$ . Это реверсирование движения поршня тягового цилиндра 2 происходит во время равномерного движения корпуса 1 устройства под действием силы поршня 5 тягового цилиндра 3.

В момент прихода поршня 4 и колеса 8 в крайнее правое положение происходит реверсирование движения поршня, жидкость под давлением подается в правую полость цилиндра 2 и, поскольку поршень 4 связан своим штоком с колесом 8, неспособным двигаться в обратном направлении, цилиндр 2 начинает движение вправо относительно своего неподвижного поршня 4, осуществляя (совместно с гидроцилиндром 3) движение вперед корпуса 1 устройства со скоростью  $V_2$ . Таким образом в этой фазе движения реверсирование одного тягового цилиндра (цилиндра 2) происходит во время непрерывного движения корпуса 1 устройства под действием другого тягового

цилиндра (цилиндра 3), что предотвращает краткий останов корпуса во время реверсирования одного из двух тяговых цилиндров. Далее устройство приходит к своему начальному положению и описанный цикл работы механизма повторяется.

При непрерывных противофазных возвратно-поступательных движениях поршней 4 и 5 и осей 6 и 7 относительно корпуса 1 будет осуществляться равномерное поступательное движение корпуса вперед. Реверсирование устройства осуществляется изменением направления одностороннего вращения опорных колес.

Особенность данного способа передвижения заключается в том, что здесь тяговый привод обеспечивается не путем вращения ведущих колес, а путем поступательного движения осей опорных колес. Устройство, работающее по описанному способу, обеспечивает равномерность движения корпуса (шасси) устройства в любой фазе работы привода. Отсутствие привода вращения опорных колес обеспечивает упрощение конструкции такого устройства, позволяет использование колес большого диаметра, что обеспечивает низкое удельное давление на грунт и высокую проходимость в условиях бездорожья. Величина тягового усилия такого устройства определяется усилием поршней тяговых гидроцилиндров, которое может быть весьма значительным. Эти качества устройств, работающих по предлагаемому способу, позволяют применять их на работах, требующих повышенного тягового усилия при умеренных и малых скоростях движения (пахотные и другие сельскохозяйственные работы, перевозка тяжелых грузов, трелевка леса, работы в условиях бездорожья, в шахтах, мобильные роботы и т.д.). Использование гидропривода в данном способе движения при малых скоростях движения не требует применения в приводе понижающих механических редукторов и соответственно снижает потери мощности в этих механизмах привода.

Приведенное гидрофицированное устройство (рис. 2) является не единственным примером возможности реализации описанного колесно-шагового способа передвижения. Возможны варианты с приводом от пары винт-гайка, от пневматики, от тяговых электромагнитов и т.п. Одностороннее вращение опорных колес устройств, работающих по описанному способу, может осуществляться муфтами обгона, установленными в ступицах опорных колес, управляемыми тормозами, периодическим односторонним стопорением (якорением) колес с помощью подкатных роликов либо тормозных башмаков, предотвращающих обратное качение опорных колес.

Транспортные устройства, использующие предложенный способ, обладают высоким тяговым усилием, повышенной проходимостью в условиях мягких грунтов, низким удельное давлением на грунт, простотой конструкции.

#### **Варианты кинематических схем колесно-шагающих машин**

Описанный способ движения позволяет создать различные модификации колесно-шагающих устройств (КШУ). На рис.3 показаны кинематические схемы 4-х вариантов КШУ. Привод машин осуществляется силовыми гидроцилиндрами 4, которых может быть один (рис.3, *a*), два (рис.3, *b*, *c*) или 4 (рис.3, *d*). Все колеса вариантов

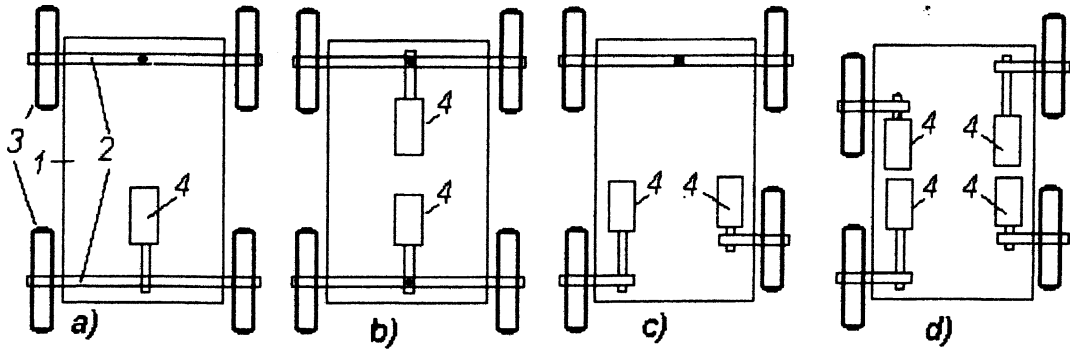


Рис.3

КШУ оснащены муфтами обгона или управляемыми фиксаторами (на рисунке не показаны). Последовательность работы гидроцилиндров определяет "походку" КШУ.

### Схема транспортно-тяговой платформы высокой проходимости и силы тяги

На рисунке 4 изображено двухосное КШУ, привод которого осуществляется двумя тяговыми гидроцилиндрами. Шасси устройства выполнено в виде трубчатой рамы, на которую опираются ролики ползун, благодаря чему ползуны получают возможность совершать возвратно-поступательное движения вдоль шасси. К ползунам крепятся оси опорных колес, оснащенных муфтами обгона (на рисунке не показаны). Опорные оси колес имеют возможность поворота вокруг вертикальной оси (рулевая опорная ось) или горизонтальной (такой поворот опорной оси позволяет четырехколесной машине адаптироваться к неровностям опорной поверхности).

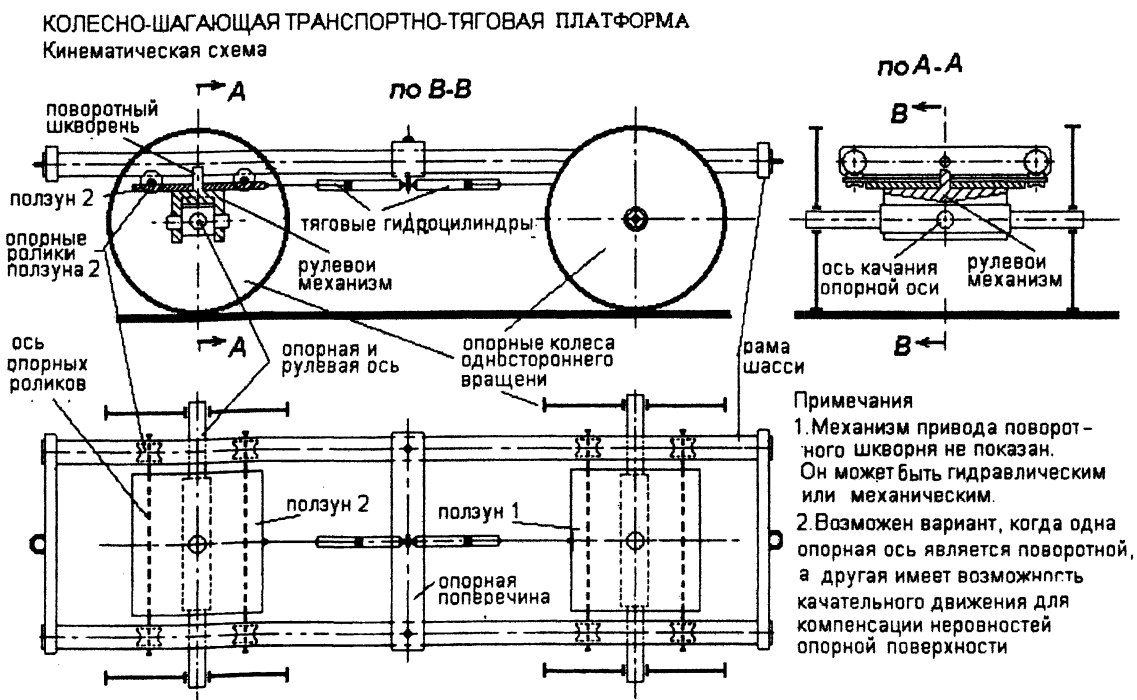


Рис. 4.

### Велотележка с приводом мускульной силой человека

Транспортное средство содержит раму 1 (рис.5), опирающуюся на опорные колеса 2 и 3, снабженные стандартными муфтами обгона (на рисунке не показаны). Оси 6 и 7 вращения колес смонтированы на ползунах 8 и 9, способных совершать возвратно-

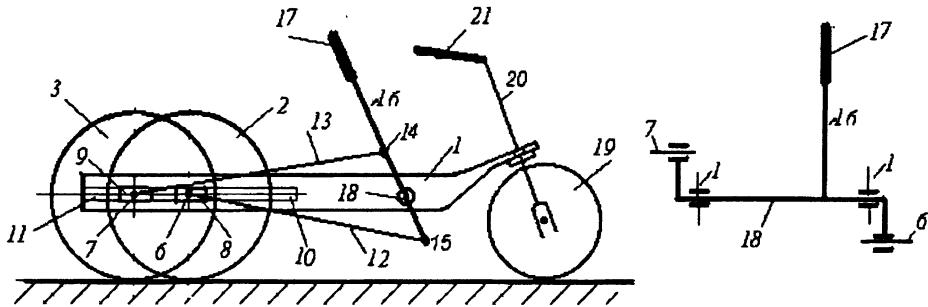


Рис. 5.

поступательные движения в направляющих 10 и 11, смонтированных на раме 1. Ползуны 8 и 9 шарнирно соединены с концами тяг 12 и 13, которые другими своими концами

соединены шарнирами 14 и 15 с приводным рычагом 16 с рукояткой 17, имеющим возможность вращения вокруг опорной оси 18, смонтированной в раме 1. Рулевое колесо 19 размещается на рулевой колонке 20, управляемой рукояткой поворота 21. На рис.5 отдельно показан ручной приводной рычаг 16.

Устройство обладает простотой конструкции и высокой проходимостью и мобильностью. Оно может быть использовано как легкая грузовая велотележка для сельской местности или как коляска для людей с нарушениями опорно-двигательного аппарата.[12].

### Колесно-шагающая платформа робота-планетохода повышенной проходимости [11].

На рисунке 6 изображена двухосная самоходная колесно-шагающая платформа, привод которой осуществляется электродвигателем 14, вращающим через ременную передачу 15 ходовой винт 9, закрепленный на шасси 1 и имеющий правую и левую резьбу на своих концах. Шасси устройства выполнено в виде трубчатой рамы, которая опирается на ролики 6 ползунов 4 и 5. На ползунах закреплены гайки 10 и 11 ходового винта 9. Благодаря наличию на ходовом винте левой и правой резьбы, ползуны при вращении винта 9 получают возможность совершать возвратно-поступательное движения взаимно противоположных направлений вдоль шасси 1. К ползунам крепятся оси 7 и 8 опорных колес, оснащенных реверсивными муфтами одностороннего вращения (на рисунке не показаны). Опорные оси 7 и 8 колес имеют возможность поворота вокруг вертикальной (рулевая опорная ось) или горизонтальной оси (поворот относительно горизонтальной оси



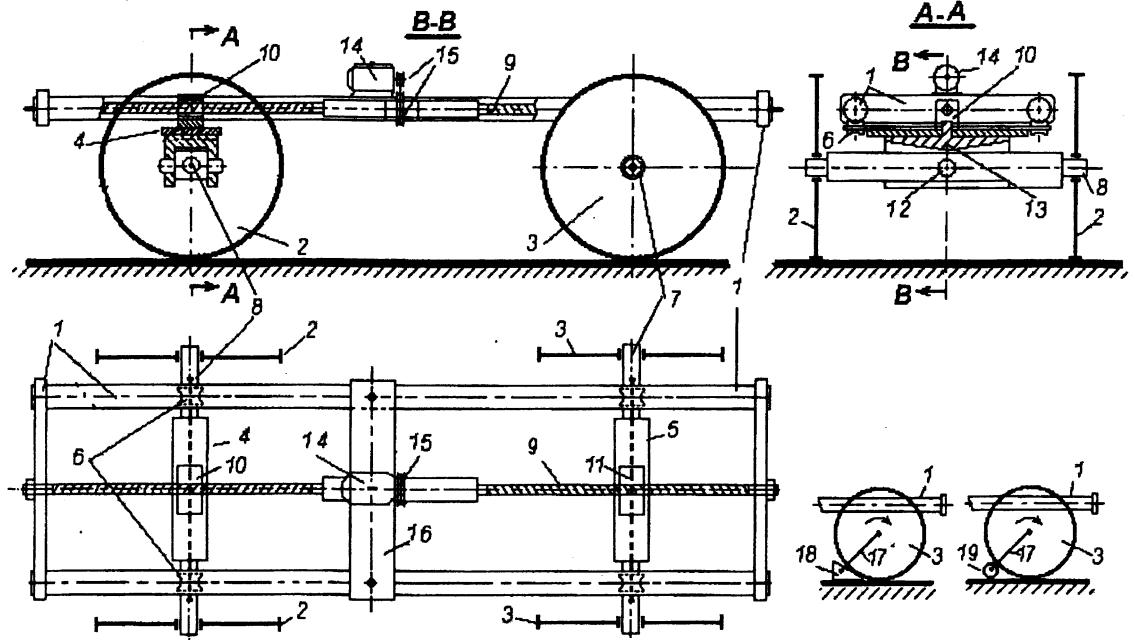


Рис. 6.

позволяет машине адаптироваться к неровностям опорной поверхности и легче преодолевать препятствия). Реверсивный электродвигатель 14 по команде от путевых выключателей (на рисунке не показаны), связанных с ползунами, совершает возвратно-вращательные движения. Поворот рулевой оси платформы осуществляется отдельным электродвигателем (на рисунке не показан).

На рис 6 (нижняя правая часть) изображен способ односторонней фиксации опорных колес планетохода при помощи скользящего клиновидного упора (башмака) 18, шарнирно соединенного со стержнем 17, качающимся на оси опорного колеса 3. Вместо башмака 17 может использоваться подкатной ролик 19. Заметим, что такой способ фиксации опорных колес обеспечивает высокую проходимость платформы и может быть использован в чрезвычайных ситуациях, связанных с непредвиденными препятствиями движению.

К преимуществам приведенной самоходной платформы можно отнести простоту конструкции, что обусловлено отсутствием механизмов привода вращения колес, высокую проходимость и низкое давление на грунт, обусловленные возможностью применять колеса сколь угодно большого диаметра, энергетическую экономичность по сравнению с существующими сегодня планетоходами, имеющими индивидуальный электропривод каждого опорного колеса небольшого диаметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. М., Машиностроение, 1973, 520 с;
2. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин.—М. Машиностроение, 1990.—345с;
3. Тракторы: Теория / Под общ. ред. В. В. Гуськова.-М. Машиностроение, 1988 – 376 с;
4. Добролюбов А.И. Колесно-шаговый способ движения транспортно-тяговых устройств. - Подъемно-транспортная техника и склады, М., 1989, N1, с. 53-54;
5. Планетоходы / Под ред. А.Л. Кемурджиана. – М.: Машиностроение. 1982. -320с;
6. Wong J.Y. Theory of ground vehicles. – John Wiley & Sons, Inc. Ottawa, Canada. 1993;
7. Leppanen I., Salmi S., Halme A. Work partner – HUT-automation's new hybrid walking