

7. Устройство свинцово-кислотных аккумуляторов. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.e-bike.com.ua/viewarticle/id/81/>
8. Конструкция и работа стартерных аккумуляторных батарей [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://lik.uch.net/akum/info.htm>
9. Электрохимические способы рециклинга свинца [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://knigi.link/ekologiya/elektrohimicheskie-sposobyiretsiklinga-svintsa-62901.html>
10. Морачевский А.Г. Отработанные свинцовые аккумуляторы – важнейший источник вторичного свинца / Научно-техн. ведомости Санкт-Петерб. политех. уни-та. 4 (207), 2014. – С. 127
11. Погосян А.А., Бессер А.Д., Сорокина В.С. Переработка использованных аккумуляторов — основа рециклинга свинца. - М.: ФГУП «ЦНИИАтоминформ», 2005. - 256 с.

УДК 669.432/436

**К ВЫБОРУ УПРУГОЙ ЛИНЕЙНОЙ МУФТЫ ДЛЯ  
СУПЕРГАРМОНИЧЕСКОГО ПРИВОДА КОЛЕБАНИЙ  
ИНЕРЦИОННОЙ ВИБРОМАШИНЫ**

**Букин С. Л.**, проф. каф. ОПИ ГОУВПО «ДОННТУ», к.т.н., доцент;  
**Коваленко А. Р.**, студент группы КПОМО - 14 ГОУВПО «ДОННТУ».  
эл. адрес: [s.bukin08@gmail.com](mailto:s.bukin08@gmail.com)

**Аннотация.** Для выбора оптимального варианта конструкции супергармонического вибропривода инерционной вибрационной машины рассмотрены конструкции упругих линейных муфт. Одной из функций таких муфт является защита машин от резонансных крутильных колебаний. В противоположность этому упругая муфта в составе трансмиссии супергармонического вибропривода должна обеспечить усиление супергармонических колебаний. Из-за невоз-

возможности использования типовых муфт возникает необходимость разработки оригинальной конструкции муфты.

**Ключевые слова:** вибрационная машина, супергармонический вибропривод, упругая муфта, линейная характеристика, упругие металлические элементы, конструкция.

**Abstract.** For choosing the optimal variant of the construction superharmonic vibrodrive of an inertial vibratory machine, constructions of elastic linear couplings are considered. One of the functions such couplings is to protect the machines from resonant torsional vibrations. In contrast, the elastic coupling in the transmission system of a superharmonic vibrodrive should ensure the amplification of superharmonic vibrations. Due to the inability to use typical couplings, it becomes necessary to develop an original design of the coupling.

**Keywords:** vibration machine, superharmonic vibro-drive, elastic coupling, linear characteristic, elastic metallic elements, design.

Вибрационные транспортно-технологические машины, (ВТТМ) осуществляющие в процессе транспортирования технологическую обработку полезных ископаемых, широко используются в угольной, горнорудной и других отраслях промышленности. К таким машинам относятся: горизонтальные виброконвейеры; вертикальные виброконвейеры и подъемники; вибрационные питатели и дозаторы; вибрационные грохоты; вибрационные сепараторы; вибрационные мельницы непрерывного действия; вибрационные сушилки и др.

Накопленный до настоящего времени отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из резервов повышения эффективности вибромашин разного технологического назначения является использование полигармонических законов колебаний [1-3]. В ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» предложен простой и доступный вариант модернизации, серийно выпускаемых ВТТМ с целью повышения динамического воздействия на обрабатываемый материал. Установлено, что упругая муфта в трансмиссии центробежного вибропривода (рисунок 1) с обоснованными параметрами по-

зволяет усилить супергармонические колебания вращающегося дебалансного вибровозбудителя и достичь эффективного вклада высших частот в спектр полигармонических колебаний рабочего органа [4].

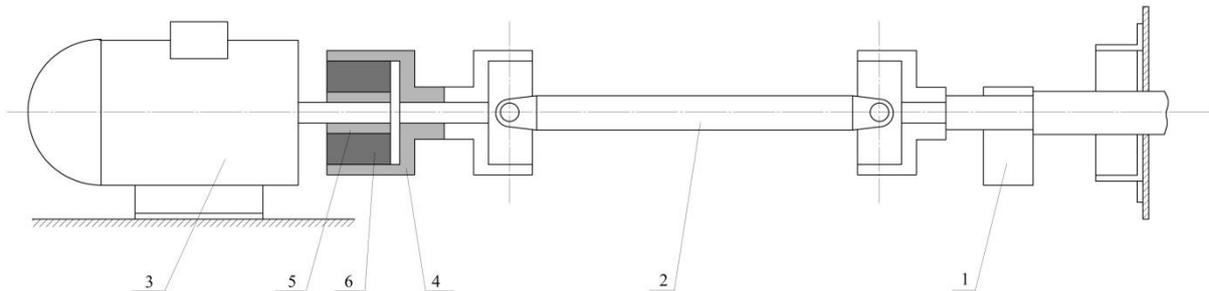


Рисунок 1 – Принципиальная схема трансмиссии супергармонического вибропривода:

1 – дебалансный вибровозбудитель; 2 – карданный вал; 3 – электродвигатель;  
4 – обойма; 5 – вал; 6 – упругий элемент муфты

Основным элементом супергармонического вибропривода является упругая муфта. Упругая муфта – нерасцепляемая механическая муфта, допускающая относительное смещение между полуосями, исключая относительный поворот [1]. Машиностроительная промышленность выпускает большое количество разнообразных видов упругих муфт, в которых передача крутящего момента осуществляется с геометрическим замыканием. Основным отличием упругих муфт от других типов механических муфт является наличие в её конструкции упругого элемента, за счёт деформации которого осуществляется взаимное перемещение деталей муфты, необходимое для компенсации смещения осей ведущего и ведомого валов. Обычно муфты такого класса предназначены для [4, 5]:

➤ смягчения (гашения) толчков и ударов. При этом кинетическая энергия удара частично поглощается и переходит в теплоту, частично аккумулиру-

ется упругими элементами, превращаясь в потенциальную энергию деформации;

- защиты от резонансных крутильных колебаний, возникающих вследствие неравномерности вращения;
- обеспечения сравнительно большие смещения осей соединяемых валов. При этом благодаря деформации упругого элемента, валы и опоры нагружаются малыми силами и моментами.

То есть, упругие муфты хорошо выполняют защитные функции, а также компенсируют осевое, радиальное и угловое смещение соединяемых валов. А муфты, которые предполагаются использовать в супергармоническом виброприводе инерционных вибрационных машин, как раз и должны обеспечить длительную работу в резонансном режиме. В этом и заключается основное отличие упругих муфт, предназначенных для решения прямо противоположных задач.

Поэтому обоснованный выбор наиболее оптимальной упругой муфты для надёжной работы супергармонического вибропривода ВТТМ является важным этапом развития машин нового типа.

В ГОСТ Р 50371-92 [6] дана подробная классификация механических муфт общемашиностроительного применения, включая упругие. Согласно этому стандарту упругие муфты разделяют на линейные – упругие муфты, которые имеют линейную характеристику крутильной жёсткости соединительных элементов, и нелинейные - упругие муфты, которые имеет нелинейную характеристику крутильной жёсткости соединительных элементов (рисунок 2).

В линейной муфте крутящий момент  $M_{кр}$  пропорционален углу закручивания  $\varphi$ . Нелинейные муфты могут иметь жесткую или мягкую характеристику. Жёсткость нелинейных муфт обычно растет с увеличением деформации, поэтому мягкие (при небольших нагрузках) нелинейные муфты с увеличением нагрузки работают более жёстко - муфты с жёсткой характеристикой.

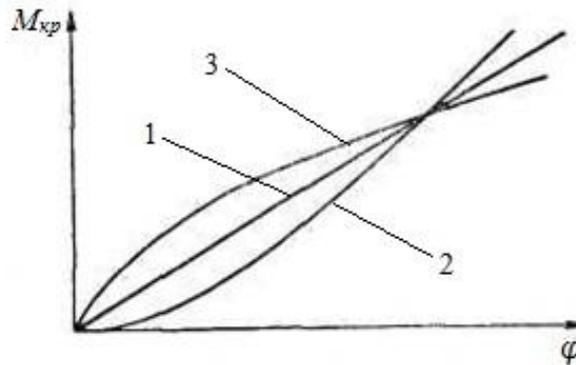


Рисунок 2 – Характеристики упругих муфт:

1 – линейная; 2 – нелинейная жёсткая; 3 – нелинейная мягкая

Упругие муфты изготавливаются с металлическими и неметаллическими (из резины, полиуретана и других эластомеров) упругими элементами

Муфты с металлическими упругими элементами отличаются высокой несущей способностью и возможностью работы в широком температурном интервале, однако они сложны по конструкции, дороги и обычно требуют постоянного контроля при эксплуатации. Муфты с неметаллическими, преимущественно резиновыми, упругими элементами получили весьма широкое распространение в современном машиностроении благодаря сравнительной простоте конструкции и дешевизне изготовления, отсутствию высоких требований к уходу при эксплуатации, хорошими компенсационными свойствами, демпфирующим и электроизолирующим способностям. Однако из-за низкой прочности резин и пластмасс по сравнению с металлами эти муфты обычно применяются для передачи малых и средних крутящих моментов. Долговечность резиновых элементов ниже, чем стальных. Резина постепенно теряет свои упругие свойства - стареет.

По этим причинам ограничимся рассмотрением только линейных муфт с металлическими упругими элементами (рисунок 3), анализ конструкций которых позволяет произвести первоначальный выбор наиболее подходящих для рассматриваемой цели.

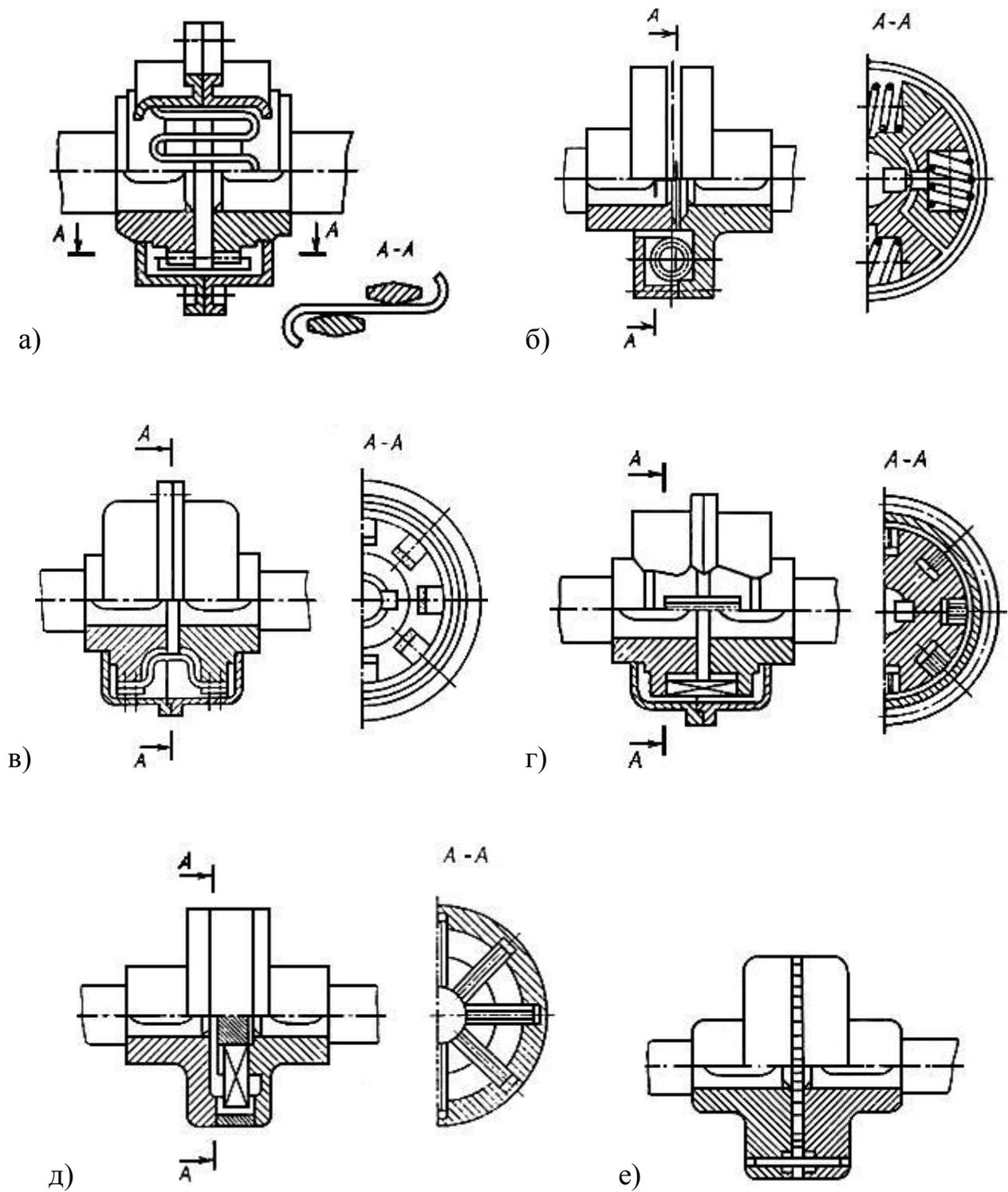


Рисунок 3 - Линейные упругие муфты с металлическими упругими элементами:  
 а – со змеевидной пружиной; б – с винтовыми пружинами; в – с фасонными пружинами; г - с пластинами, параллельными оси; д – с радиальными пакетами пластин; е – со стержнями, параллельными оси

К ним относятся, прежде всего, упругие элементы, изображённые на рисунках 1 а, б, д, е. Рассмотрим эти муфты более подробно с целью дальнейшего отбора наиболее оптимального варианта конструкции.

**Муфты с винтовыми пружинами.**

Одной из таких муфт является муфта «Карделис» фирмы «Гохройтер Баум» (ФРГ), представленная на рисунок 4, а [7, 8]. Полумуфты 1 и 4 соединяются винтовыми пружинами сжатия 5, которые опираются на сегменты 2, посаженные на пальцы 3 с зазором. Пружины 5 ставятся с предварительным натяжением и при действии крутящего момента работают через одну. Сегменты изготавливаются из износостойких пластмасс. Поверхность контакта сегмента с пальцем смазывается пластичной графитной смазкой.

На рисунке 4, б [9] приведен ещё один вариант упругой муфты с цилиндрическими пружинами, несколько отличающаяся от предыдущего варианта.

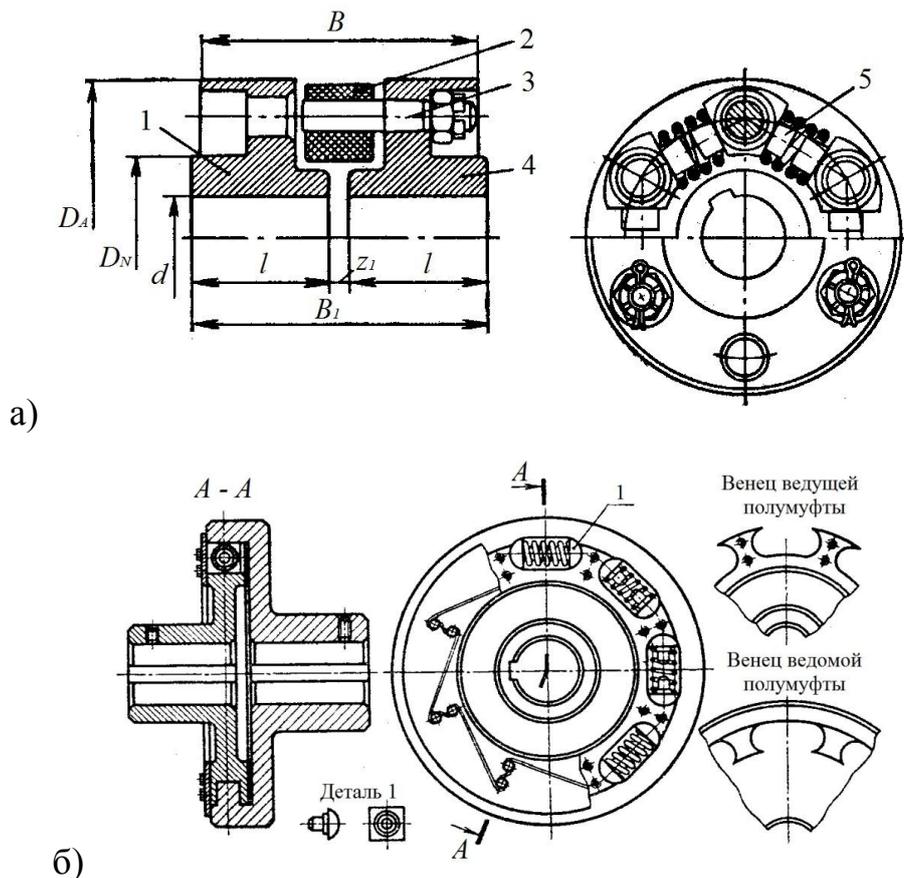


Рисунок 4 – Варианты упругой муфты с винтовыми пружинами:  
а - муфта «Карделис»; б - упругая муфта, выпускаемая в СССР

При применении стальных цилиндрических пружин постоянного шага и диаметра проволоки упругие муфты имеют линейную характеристику жёсткости и малое демпфирование. Путём подбора пружин жёсткость муфты на кручение изменяется весьма в широких пределах. Число пружин обычно 6...12.

Муфты с пружинами не сложны по конструкции, имеют невысокую трудоёмкость изготовления. К недостаткам следует отнести затруднения в определении вышедших из строя пружин (для некоторых типов муфт, например, приведенной на рисунке 4, б) и необходимость применения специального инструмента для установки предварительно сжатых пружин в гнезда.

***Муфты с упругими элементами в виде стержней.***

На рисунке 5 представлены два варианта исполнения муфты «Форст» фирмы «Рейншталь Вангейм» (ФРГ) [10]. В первом варианте (рисунок 5, а) полумуфты 3 и 5 соединены цилиндрическими пружинами 6. Боковые крышки 1 и 7 удерживают пружины от выпадания и препятствуют вытеканию смазки благодаря уплотнениям 2. Кожух 4 с уплотнением 2 специальной формы препятствуют вытеканию смазки из муфты при взаимном смещении полумуфт. Для уменьшения износа пружин и их гнезд в полумуфтах муфта через масленку 8 заполняется либо пластичной, либо жидкой смазкой с антизадирными присадками. Возможно исполнение с тормозным шкивом 9.

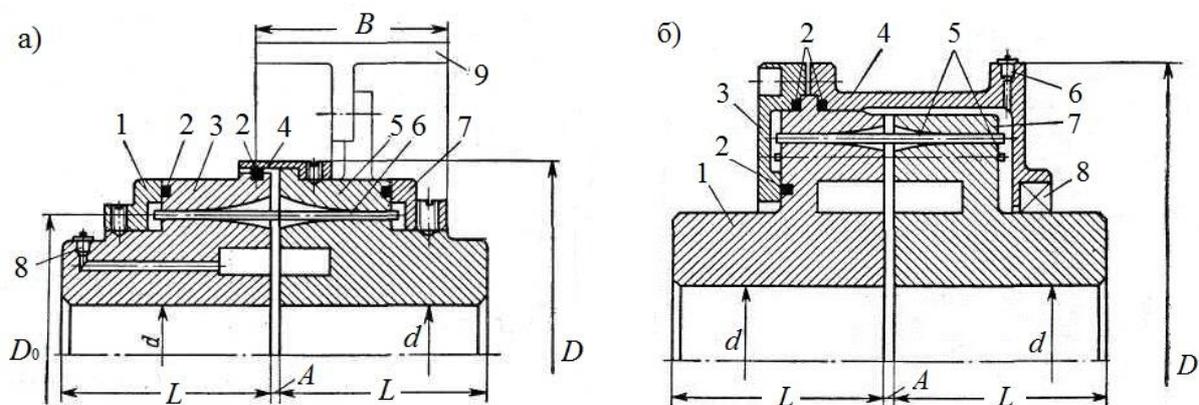


Рисунок 5 - Варианты исполнения муфты «Форст»

К положительным свойствам стержневых упругих муфт относится, прежде всего, простота изготовления и, соответственно, невысокая стоимость, а также возможность изготовления муфт с линейной и нелинейной характеристикой практически по одной и той же технологии. К недостаткам – высокий уровень напряжений в упругих стержнях в местах крепления (установки), трудности выявления вышедших из строя упругих элементов, небольшая передаваемая мощность.

***Муфты с пакетами пластинчатых пружин.***

Муфта с радиальными пакетами пружин показана на рисунке 6 [10]. Полу­муфты 1 и 5 соединены пакетами пружин (рессор) 8, работающих на изгиб при действии крутящего момента. С полу­муфтой 5 пакеты пружин соединяются через кольцо 3, имеющее продольные пазы, с помощью болтов 4. Внутренние концы пакетов пружин входят в радиальные пазы полу­муфты 1. Пакеты пружин фиксируются на полу­муфте 1 с помощью кольца 7 и трёх винтов. Крышка 2 с уплотнением 6 закрывает внутреннюю полость муфты, заполненную пластичной смазкой.

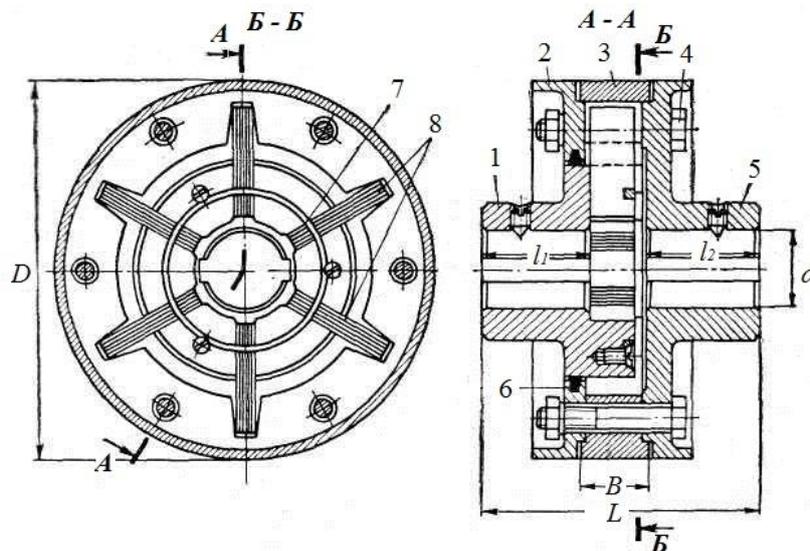


Рисунок 6 - Муфта с радиальными пакетами пружин

Муфты с пакетами пластинчатых пружин имеют высокую передаваемую мощность, простую конструкцию, возможность изготовления муфт с линейной

и нелинейной характеристикой. Недостатки – высокий уровень напряжений в упругих пластинах в местах крепления (установки), трудности выявления вышедших из строя упругих элементов.

***Муфты со змеевидными пружинами.***

Полумуфты соединяются упругим элементом, выполненным в виде змеевидной пружины, расположенной на цилиндрической поверхности (рисунок 7) [3, 10].

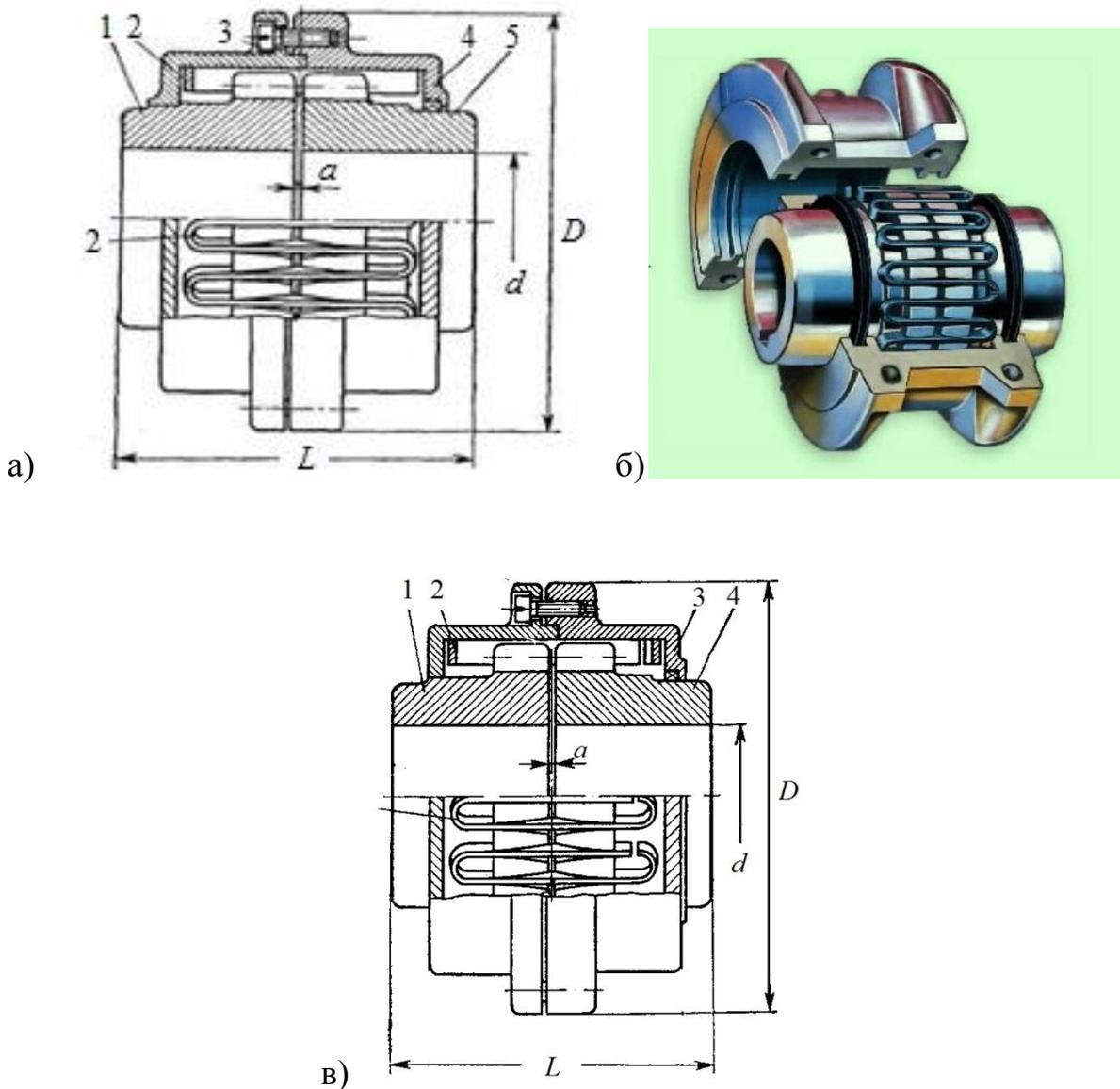


Рисунок 7 – Упругие муфты:

а, б - со змеевидными пружинами; в – с кольцевыми пружинами

На рисунке 7, а представлена муфта «Мальмеди» (ФРГ) [3, 10], состоящая из полумуфт 1 и 5 с зубьями специальной формы, между которыми свободно заложены секции ленточной змеевидной пружины 2. Кожух 4, состоящий из двух половин, стянутых винтами 3, предназначен для предохранения пружины от выпадания и удержания смазки (обычно пластичной). Пружина является наиболее ответственной деталью муфты. Она изготавливается из пружинной стали 65Г. В тяжёлых муфтах пружины устанавливаются в два-три ряда. Такие муфты, отличающиеся высокой надёжностью в работе и малыми габаритными размерами, применяются при передаче больших вращающих моментов.

Эти свойства и обусловили довольно широкое распространение их главным образом в тяжёлом машиностроении (прокатные станы, паровые турбины и т. п.), несмотря на сложность конструкции, нетехнологичность и необходимость контроля в эксплуатации. Муфты допускают смещение осей соединяемых валов: осевое - 4...20 мм, радиальное - от 0,5...3 мм, угловое - до  $1^{\circ}15'$  (бóльшие значения для больших муфт).

Развитием муфты со змеевидными пружинами является муфта с кольцевыми пружинами [3]. На рис. 7, б представлена конструкция этой муфты, в которой вместо сложной в изготовлении змеевидной пружины применены отдельные упругие элементы 2, вставленные во впадины зубьев полумуфт 1 и 4. Для уменьшения износа зубьев и пружин муфту заполняют антизадирной пластичной смазкой, которая удерживается корпусом 3.

## **Выводы**

Проведенный обзор упругих механических муфт с металлическими упругими элементами не позволил сделать однозначный выбор наиболее оптимальной муфты для использования её в составе супергармонического вибропривода. По всей видимости, потребуется разработка оригинальной упругой муфты с использованием технических решений отдельных элементов, используемых в рассмотренных выше конструкциях муфт.

## Список литературы

1. Букин С.Л. Интенсификация технологических процессов вибромашин путем реализации бигармонических режимов работы / С.Л. Букин, С.Г. Маслов, А.П. Лютый, Г.Л. Резниченко // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 36 (77) - 37 (78). – С. 81-89.
2. Применение вибрационной техники с бигармоническим режимом колебаний при обогащении углей / Е.Е. Гарковенко, Е.И. Назимко, С.Л. Букин и др. // Уголь Украины, май 2011. - С. 41-44.
3. Букин С.Л. Возбуждение полигармонических колебаний в одномассовой инерционной вибромашине с дебалансным вибровозбудителем и упругой муфтой / С.Л. Букин, В.П. Кондрахин, В.Н. Беловодский, В.Н. Хоменко // Физ.-техн. проблемы разраб. пол. ископ., №1, 2014. – С. 103-110.
4. Упругие подвижные муфты [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/710086/page:3/>
5. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник / Д.Н. Решетов. – М. Машиностроение, 1989. - 496 с.
6. ГОСТ Р 50371-92 «Муфты механические общемашиностроительного применения. Термины и определения».
7. Поляков В.С. Справочник по муфтам / В.С. Поляков, И.Д. Барбаш, О.А. Ряховский. – Л.: Машиностроение, Ленинград. отделение, 1979. – 344 с.
8. Упругие компенсирующие муфты [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://k-a-t.ru/detali\\_mashin/27-mufty\\_3/index.shtml](http://k-a-t.ru/detali_mashin/27-mufty_3/index.shtml)
9. Куклин Н.Г. Детали машин: Учебник / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина. – М.: Высш. школа, 1984. – 255 с.
10. Муфты [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/710080/page:2/>