

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет
Машиностроительный факультет

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ
МАШИНОСТРОЕНИЯ В ОБЛАСТИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Материалы 77-й студенческой
научно-технической конференции
17 мая 2021 г.

Минск
БНТУ
2021

Редакционная коллегия:
Скойбеда А.Т., Куранова О.В., Дубовская Е.М.,
Николаенко В.Л., Швец И.В., Василенок В.Д.,
Комяк И.М., Капуста П.П.

Составители:
Робилко Е.М., Свиридова И.Г.

Издание включает материалы 77-й студенческой научно-технической конференции «Перспективные направления развития машиностроения в области мобильных машин, технологического оборудования и энергетических систем», прошедшей на базе кафедры «Машиноведение и детали машин», посвященной 100-летию БНТУ. В нем изложены основные направления повышения эффективности двигателей тягово-транспортных машин с использованием шагающего способа передвижения, основы криогенной технологии в электроэнергетике, капсульные гидрогенераторы, многогранные опоры энергетических систем, основы вихревой энергетики, понятие безизносности, электромобили будущего и др.

Содержание

Применение, монтаж и расчёт многогранных опор	5
Студенты гр. 10205119 Артёменко И.А., Усович А.	5
Способы упрочнения деталей, материалов	13
Студент гр. 10205119 Вишневская А.И.	13
Сухое трение материалов. Особенности сухого трения	17
Студент гр. 10203119 Филюта Е.	17
Применение металлоплакирующих смазочных материалов для повышения ресурса технологических механизмов и машин	20
Студенты гр. 10903119 Хилюк И.М., Кожеуров П.С.	20
Материалы, применяемые в глобоидной передаче.....	23
Студенты гр. 10706119 Ильющенко З.Я., Романов И.С., Лавринович А.А.	23
Передача редуктора РЧГ-270	26
Студенты гр. 10706119 Гайшун А.С., Бульков Н. Е.,.....	26
Криогенные технологии в электроэнергетике	28
Студент гр. 10602119 Матусевич П.А.	28
Капсульные гидрогенераторы.....	34
Студентка гр. 10602219 Коршун В.Н.	34
Технологии вихревой энергетики.....	43
Студент гр. 10602219 Ковалец И.В.	43
Глобоидный червячный редуктор МАИ.....	55
Студент гр. 10706119 Бульков Н. Е., Гайшун А.С.	55
Глобоидные редукторы заднего моста троллейбуса	57
и привода конвейера	57
Студент гр. 10706119 Гидревич А.С.	57
Гидроагрегаты	60
Студент гр. 10602219 Вадейко В.С.	60
Приливные электростанции	71
Студент гр. 10602119 Бандюкевич А.А.	71
Колесно-шагающий движитель тягово-транспортных средств	76
Студенты гр. 115011-18 Позняк С.И., Шафранский В.С.	76
Основные направления повышения эффективности движителей	80
тягово-транспортных средств	80
Студенты гр. 115011-18 Дагиль Р.С., Качура Н.И.	80
Реализация шагающего способа передвижения.....	84

в тягово-транспортных средствах.....	84
Студенты гр. 115011-18 Безручко А.А, Русин А.В.....	84
Создание ходовых систем тягово-транспортных средств.....	88
с шагающими колесами	88
Студенты гр. 11501118 Отвалко А.П., Онищук В.А.	88
Роботизированные коробки передач	93
Студенты гр. 10107218 Костюк Д.В., гр. 10107118 Овсянников Н.Ю.	93
Электромобили – из прошлого в будущее!	97
Студенты Прищепов Е.А., Алюшкевич Д.А., Гиль А.С.	97
Анализ выявления дефектов подшипников.....	104
Магистрант Путиловский В.А.	104
Исследование фазовых портретов с различными дефектами подшипников качения	108
Магистрант Путиловский В.А.	108
Оценка возможности определения дефекта подшипника.....	111
Магистрант Путиловский В.А.	111
Проблемы трения в современной технике.....	118
Студент гр. 10110118 Гремчук И.М.	118
Анализ модельного ряда и подходов к диагностике ГМП НА МЗКТ.....	125
Магистрант МСФ Дубовик А.В.....	125

Применение, монтаж и расчёт многогранных опор

Студенты гр. 10205119 Артёменко И.А., Усович А.

Научный руководитель – ст. пр. Куранова О.В.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Многогранная опора—это опора со стойкой (или же стойками), выполненными в виде полых усечённых пирамид из стального листа с поперечным сечением в виде правильного многогранника.

Подобный тип опор для Беларуси явление новое, но подобная технология изготовления и эксплуатации многогранных опор уже нашла широкое применение в мире и доказала свою эффективность.

Многогранные опоры в основном применяются в качестве опор для воздушных линий электропередач; опор освещения; транспортных опор контактной сети для наземного электротранспорта; мачт связи; опор для светосигнального оборудования и светофоров; стальных молниеотводов.

Стальные многогранные опоры можно эксплуатировать в населенной и ненаселенной местности в гололедных и ветровых районах. Допустимая температура воздуха – до $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Среди преимуществ многогранных опор над традиционными металлическими и железобетонными можно отметить их повышенную прочность, долговечность, экономичность, удобство монтажа и эксплуатации и широчайший спектр применения.

МО удобна в монтаже, возможна установка опор *методом падающей стрелы*. Не требуется большое монтажное пространство, что особенно важно в городе. Так же практика показывает, что несмотря на такие особенности климата и ландшафта как мерзлота, болотистая местность, песчаный грунт или скальная порода, многогранная опора не теряет своих характеристик. За счет применения нескольких видов фундамента, ее можно смонтировать практически где угодно. Полный комплекс монтажных работ по установке одной опоры у бригады может занимать около 30 минут. Бригада из 3 человек может установить за одну рабочую смену около 16 многогранных опор.

Металлические многогранные опоры могут быть смонтированы на фундаментах различного конструктивно-технологического решения, в зависимости от конкретных грунтовых условий согласно отчету о инженерно-геологических изысканиях и нагрузок от конкретной опоры.

Геодезические работы при сооружении фундамента следует выполнять в объеме и с точностью, обеспечивающими размещение элементов сооружения фундаментов опор, соответствие геометрических параметров проектной документации, требованиям строительных норм, правил и государственных стандартов. При бурении опор глубина отверстий может достигать 8 метров, а диаметр – 250-900 мм; при обустройстве уличного освещения глубина варьируется в пределах 0.5-5 метров, диаметр – 150-500 мм. В плане глубины и диаметра указаны ориентировочные диапазоны: конкретное значение зависит от нагрузок, испытываемых несущей конструкцией и вида грунта на участке. Например, если грунт склонен к пучению, то придется делать скважину глубже уровня промерзания. Соблюдение технологии бурения под опоры и грамотный выбор оборудования позволит сделать надежную скважину, которая выдержит климатические и механические воздействия.

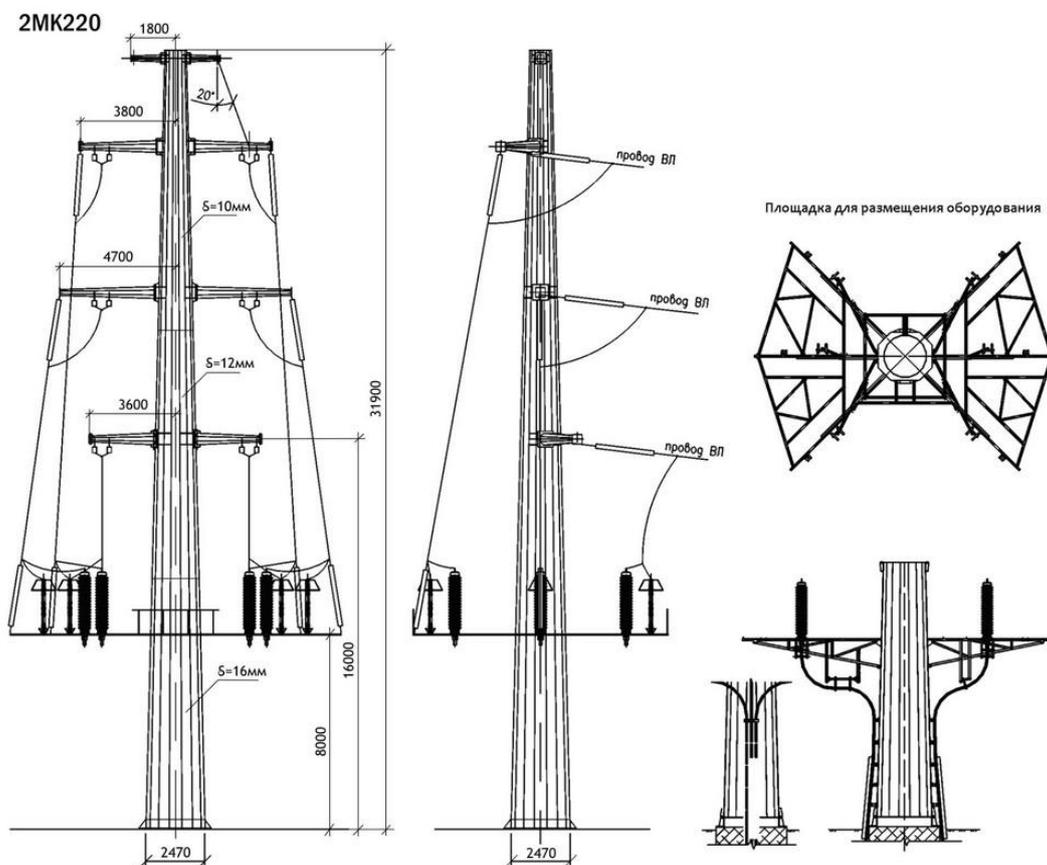
Из чего можно сделать вывод экономичности, экологичности и надежности этих опор. Экология и экономия ресурсов достигается за счет компактности этого вида опор, для установки которых достаточно 1 квадратного метра земли, в то время как для установки обычной решетчатой опоры требуется площадь свыше 25 метров квадратных. Они надежнее альтернативных решений, особенно в сложных гололедно-ветровых условиях. На испытаниях стальные многогранные опоры разрушались при нагрузках, в 1,5 раза превышающих расчетные.

Размеры и конструкцию основы для многогранных опор выбирают в зависимости от направления действия и размера нагрузки на фундамент, учитывая выбранную строительную технологию. Такая свая закрепляется со значительным усилием на кольцевой базе ее ствола. Изгибающий момент на уровне поверхности почвы при расчетах выступает величиной основной нагрузки на основание.

Высокая величина изгибающего момента требует создания конструкции основания из свай с самыми большими сечениями или с увеличенным шагом между опорами. Размеры и количество свай для фундамента определяются по прочности материала и почвы в соответствии с рассчитанной допустимой нагрузкой на опору.

Создание конструкции свайного основания требует соблюдения условия по ограничению самого маленького расстояния. Три диаметра опоры должно составлять расстояние между осями двух свай. Для свайно-винтового фундамента этот параметр рассчитывается по сечению лопасти.

В соответствии с ПУЭ расчёт многогранных опор должен быть выполнен по двум группам предельных состояний. Первая группа включает предельные состояния, которые ведут к потере несущей способности элементов или к полной непригодности их в эксплуатации, т.е. к их разрушению любого характера. К этой группе относятся состояния при нагрузках, соответствующих наибольшим напряжениям в элементах опор и наибольшим нагрузкам на фундаменты. Вторая группа включает предельные состояния, при которых возникают недопустимые деформации, перемещения или отклонения элементов опор, нарушающие нормальную эксплуатацию.



В соответствии с ПУЭ установлены следующие ограничения на перемещения: деформации опор при воздействии нагрузок второй группы предельных состояний не должны приводить к нарушению установленных ПУЭ наименьших изоляционных расстояний от проводов до заземленных элементов опоры, до поверхности земли и пересекаемых инженерных сооружений; отклонение верхней точки анкерной опоры не должно превышать $1/100$ ее высоты.

Расчет многогранных опор при известных расчетных параметрах включает в себя следующие этапы: определение нагрузок на конструкцию; статический расчет опоры; проверку элементов опоры по прочности; проверку общей и местной устойчивости элементов опоры; расчёт конструкций узлов.

Расчётные нагрузки на конструкцию опоры и аэродинамические коэффициенты для многогранных элементов опоры при расчёте ветровой нагрузки на конструкцию определяются в соответствии с положениями ПУЭ. Промежуточные стальные многогранные опоры с поддерживающими гирляндами изоляторов и глухими зажимами должны рассчитываться в аварийном режиме по первой группе предельных состояний на расчетные условные горизонтальные статические нагрузки $T_{ав}$.

Расчетная условная горизонтальная статическая нагрузка от проводов на промежуточные опоры принимается равной:

$$T_{ав} = 0.3 \cdot \gamma_f \cdot T_{макс}$$

где: $T_{макс}$ - максимальное расчётное горизонтальное натяжение провода, определяемое в соответствии с ПУЭ, кН; γ_f - коэффициент, принимаемый в соответствии с ПУЭ равным:

Статический расчет опоры (определение внутренних усилий в элементах и перемещений точек конструкции) выполняется методами строительной механики и сопротивления материалов. В соответствии с ПУЭ, многогранные опоры относятся к гибким конструкциям, расчет которых должен выполняться по деформированной схеме: с учетом дополнительных усилий (изгибающих моментов), возникающих от весовых нагрузок при деформациях стойки опоры. Расчет по деформированной схеме может быть выполнен *итеративно*. На первой итерации определяются горизонтальные перемещения точек оси стойки от изгибающих моментов по недеформированной схеме. На второй и последующих итерациях уточняются изгибающие моменты за счет дополнительных моментов от весовых нагрузок на разности перемещений оси стойки в точке приложения весовой нагрузки и в рассматриваемой точке, при этом учитываются перемещения, вычисленные на предыдущей итерации. Затем с учётом уточнённых моментов определяются уточненные прогибы (перемещения узлов). При расчётах предполагается, что ось стойки узлами k ($k = 0..n$) разбита на n участков высотой l_i ($i = 1..n$).

Моменты инерции участков I_i постоянны, весовые G_k от проводов (тросов) и элементов опоры приложены к узлам.

Принята нумерация узлов и участков оси стойки опоры снизу вверх. Порядок вычислений на каждой итерации:

1) Уточнение изгибающих моментов:

$$M_i^t = M_{0i}^t + \sum_{k=i}^n (f_k^* - f_k^*) G_k,$$

$$M_i^d = M_{0i}^d + \sum_{k=i}^n (f_k^* - f_{i=1}^*) G_k,$$

где: M_i^t – изгибающий момент на верхней границе участка по деформированной схеме, м·кН;

M_i^d – изгибающий момент на нижней границе участка по деформированной схеме, м·кН;

M_{0i}^t – изгибающий момент на верхней границе участка по недеформированной схеме, м·кН;

M_{0i}^d – изгибающий момент на нижней границе участка по недеформированной схеме, м·кН;

f_k^* – перемещение узла k на предыдущей итерации, $f_0^* = 0$, м;

G_k – весовая нагрузка от проводов (тросов) и элементов опоры, приложенная к узлу k , кН.

2) Определение перемещений узлов с учетом уточненных моментов:

$$f_k = M_1^d \vartheta h_k + \sum_{i=1}^k \frac{l_i}{6I_i E} \left(M_i^t \overline{M_{ki}^t} + M_i^d \overline{M_{ki}^d} + 4M_i^c \overline{M_{ki}^c} \right),$$

где: ϑ – угол поворота опоры от единичного момента (податливость заделки), рад;

$h_k = \sum_{i=1}^k l_i$ – высота узла k , $h_0 = 0$, м;

l_i – высота -ого участка, м;

I_i – момент инерции сечения -ого участка, м⁴;

E – модуль упругости материала изготовления опоры, кПа;

$\overline{M_{ki}^t} = (h_k - h_i)$ – изгибающий момент на верхней границе участка от единичной горизонтальной силы, приложенной в узле $k \geq i$, м·кН;

$\overline{M_{ki}^B} = (h_k - h_{i=1})$ - изгибающий момент на нижней границе участка от единичной горизонтальной силы, приложенной в узле $k \geq i$, м·кН;

M_i^c - средний изгибающий момент на участке i , м·кН;

$\overline{M_{ki}^c}$ - средний изгибающий момент на участке от единичной горизонтальной силы, приложенной в узле $k \geq i$, м·кН.

Если процесс итераций расходится, то общая устойчивость стойки при заданных моментах инерции и нагрузках не обеспечена. Если итерации сходятся медленно, то запасы устойчивости невелики. При расходимости итераций необходимо, а при медленной сходимости целесообразно изменить параметры стойки так, чтобы увеличить моменты инерции или уменьшить пролеты для уменьшения нагрузки. В нормальном случае для практической сходимости итераций достаточно 3 - 5 итераций.

Расчёт элементов опоры по прочности следует выполнять в соответствии с ПУЭ как элементов, подверженных в общем случае воздействию нормальных и поперечных сил, крутящих и изгибающих моментов. Для стоек свободностоящих опор внутренние усилия определяются из расчёта по деформированной схеме. Прочность сечения многогранного элемента опоры проверяется по формулам:

$$\sigma \leq \gamma_c R_y$$

$$\tau \leq \gamma_c R_s$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.15 \cdot \gamma_c R_y$$

где: σ - нормальное напряжение в произвольной точке многогранного элемента, кПа;

τ - касательное напряжение в произвольной точке многогранного элемента, кПа;

γ_c - коэффициент условий работы;

R_y - расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, кПа;

R_s - расчетное сопротивление стали сдвигу, кПа.

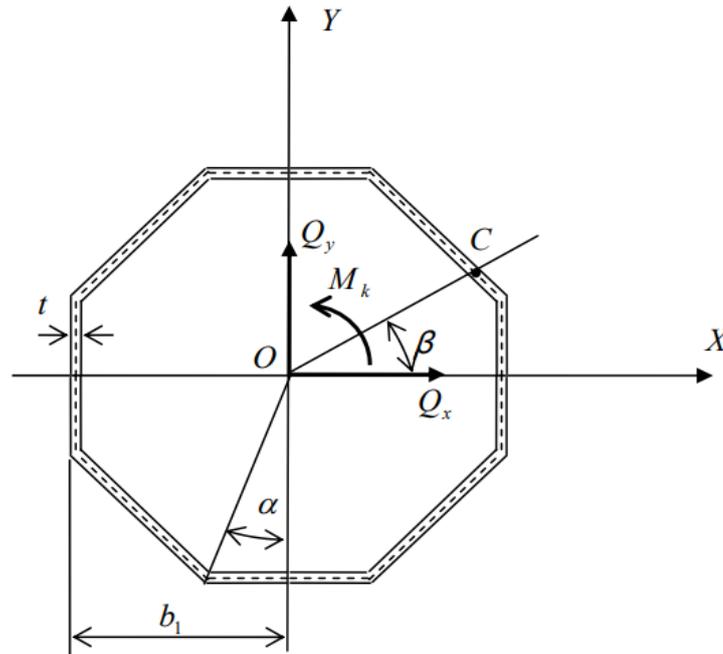


Рис.1

Нормальные и касательные напряжения в произвольной точке C многогранного элемента опоры с координатами x и y (рис. 1) следует определять по формулам:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M_y}{I} x \pm \frac{M_x}{I} y$$

$$\tau = \frac{1}{2t} \left(\frac{M_k}{A_\omega} \pm \frac{Q_y}{I} S_x \pm \frac{Q_x}{I} S_y \right)$$

где: N - нормальная сила, действующая на элемент опоры, кН;

Q_x - поперечная сила, действующая на элемент опоры вдоль оси OX , кН;

Q_y - поперечная сила, действующая на элемент опоры вдоль оси OY , кН;

M_x - изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OY , м·кН;

M_y - изгибающий момент, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OX , м·кН;

M_k - крутящий момент, действующий в горизонтальной плоскости, проходящей через оси OX и OY , ·кН;

A - площадь поперечного сечения многогранного элемента, m^2 ;

$I = I_x = I_y$ - осевые моменты инерции сечения относительно осей OX и OY , m^4 ;

x - расстояние от точки C до оси OY , м;

y - расстояние от точки C до оси OX , м;

t - толщина стенки элемента, м;

$A_\omega = nb^2 \tan \alpha$ - площадь многоугольника, ограниченного замкнутой средней линией сечения (показанной на рис. 1 пунктиром), m^2 ;

n - число сторон многогранника;

$b = b_1 - \frac{t}{2}$ - расстояние от стороны многоугольника, ограниченного замкнутой средней линией сечения (показанной на рис. 1 пунктиром) до оси OX (OY), м;

b_1 - расстояние от внешней стороны контура сечения многогранного элемента до оси OX (OY), м;

$\alpha = \frac{\pi}{n}$ - угол на рис. 1, рад;

S_x - статический момент относительно оси части сечения элемента, лежащего выше точки C на рис. 1, m^3 ;

S_y - статический момент относительно оси части сечения элемента, лежащего правее точки C на рис. 1, m^3 .

Площадь поперечного сечения многогранного элемента определяется по формуле: $A = 2ntb \tan \alpha$.

Моменты инерции сечения относительно осей OX и OY определяются по формуле:

$$I = I_x = I_y = \frac{n}{3}tb^3 \tan \alpha (\tan \alpha^2 + 3)$$

Знаки в формулах следует принимать в соответствии с направлениями касательных напряжений от сил Q_x , Q_y и момента M_k , показанными на рис. 2.

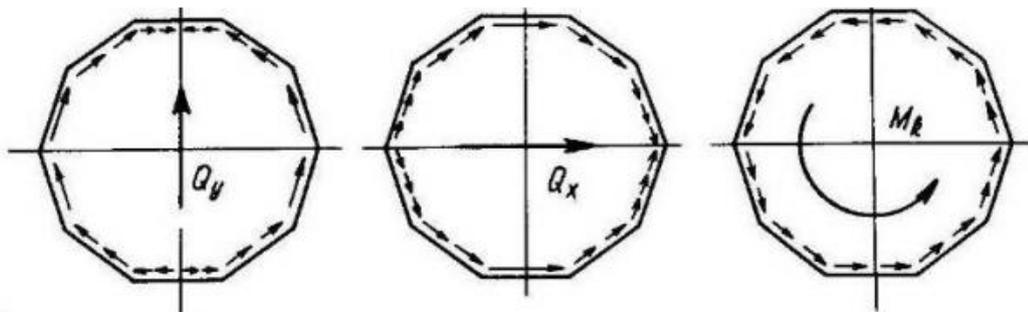


Рис. 2 Направление касательных напряжений

Напряжения в рассматриваемой точке, направленные так же, как на рис. 2, суммируются с одинаковыми знаками.

Из-за ряда преимуществ многогранных опор, которые были достигнуты различными интересным, прогрессивными и необычными решениями современной инженерии, можно смело говорить об их широком применении в обществе с высокой эффективностью. Так же с научной точки зрения они представляют большой интерес для дальнейшего изучения и развития.

Литература

1. ksosvet.ru/blog/mnogogrannye-opory-sfery-primeneniya-osobennosti-i-preimushchestva
2. pue8.ru/elektricheskie-seti/283-stalnye-mnogogrannye-opory.html
3. polygonal.com.ua/ru/sborka_ustanovka_montazh_mnogogrannyih_opor_LEP.php
4. polygonal.com.ua/ru/proektirovanie_metallicheskih_opor_LEP_fundamentov.php
5. www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.55.054-2010.pdf

Способы упрочнения деталей, материалов

Студент гр. 10205119 Вишневская А.И.

Научный руководитель – ст. пр. Куранова О. В.,

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

При восстановлении деталей или изготовлении новых, стремятся не только сохранить их основные эксплуатационные свойства, но и по возможности повысить их. В первую очередь стремятся предотвратить их изнашивание, развитие усталостных трещин, коррозию, КПД машин и другие эксплуатационные показатели оборудования. Все вышеперечисленное достигается следующими способами:



Процесс *термической обработки* состоит из: нагрева металла(сплава) до определенной температуры, его выдержки при

заданной температуре и охлаждения. К этому способу относят: *отжиг, нормализацию и закалку*.

При *закалке* стали нагревают до температуры выше 800-1000°C, выдерживают некоторое время при этой температуре, а затем быстро охлаждают в воде, масле, растворах солей, кислот, щелочей, на воздухе и в других средах, а также с помощью металлических плит. Процесс охлаждения чаще всего применяется с целью повышения твердости и прочности стальных изделий.

Отжиг – процесс термической обработки, при котором металл сначала нагревают до определенной температуры, выдерживают при этой температуре, а затем медленно охлаждают в печи. От отжига *нормализация* отличается более быстрым охлаждением: охлаждение происходит на воздухе.

Термомеханический способ объединяет обработку деталей давлением с термической обработкой. Такое воздействие на металл позволяет повысить его прочность как в результате наклепа, который получается при пластической деформации, так и вследствие термообработки.

Химико-термическая обработка металлов и сплавов осуществляется путем выдерживания при нагреве обрабатываемых материалов в средах конкретного состава различного фазового состояния.

К данному способу относят: *цементацию* (насыщение углеродом); *цианирование* (насыщение углеродом и азотом); *азотирование* (насыщение азотом); *алитирование* (насыщение алюминием); *силицирование* (насыщение кремнием); *борирование* (насыщение бором); *оксидирование* (воронение) и др.

Таким образом, химико-термическая обработка улучшает твердость, износостойкость и коррозионную устойчивость материалов.

Термодиффузионный способ включает следующие этапы:

- обработка изделий на предварительном этапе путем химического, механического или ультразвукового воздействия;
- помещение деталей, прошедших предварительную обработку, в специальный рабочий бокс, куда также добавляется цинксодержащий порошок;
- герметизация бокса и создание внутри него необходимой повышенной рабочей температуры;
- выдержка изделий в течение определенного времени, извлечение их из камеры и проведение дополнительных мероприятий по обработке.

Данный способ обработки обеспечивает металлоконструкциям надежную антикоррозийную защиту, а также предупреждает преждевременный износ металла, как следствие – позволяет увеличить срок службы.

Сущность *механического способа* обработки состоит в том, что под давлением твердого металлического инструмента выступающие микронеровности обрабатываемой поверхности пластически деформируются, при этом шероховатость поверхности уменьшается, поверхностный слой металла упрочняется, на поверхности детали создаются остаточные деформации сжатия — получается наклеп. К механическим способам упрочнения относят: обкатку шариком или роликом; протяжку; дробеструйную обработку и алмазное упрочнение.

Обкатка шариками или роликами выполняется с помощью свободно вращающихся одного или нескольких шариков (роликов), соприкасающихся с обрабатываемой деталью под определенным давлением. В результате пластической деформации происходит наклеп поверхностного слоя и, как результат этого, возникают остаточные напряжения сжатия, изменяется структура поверхностного слоя и увеличивается твердость. При обкатке шариком (роликом) происходит смятие выступов на поверхности детали, происходит заполнение впадин, поверхность выглаживается, повышается чистота. Обкатку цилиндрических поверхностей производят на токарных станках, а плоских поверхностей – на строгальных.

Протяжкой называют способ обработки или процесс, при котором для удаления материала используется многолезвийный металлорежущий инструмент. Существуют два основных вида протягивания: осевое (или линейное) и поворотное. При линейном протягивании протяжка движется линейно по поверхности заготовки. При поворотном протягивании протяжка вкручивается в заготовку, двумя движениями – линейным и вращательным, чтобы придать оси винтовую форму. Протяжные инструменты используются, когда требуется высокая точность обработки, при изготовлении особо сложных форм, невозможных обработкой другими способами.

Чтобы не тратить много времени на зачистку детали от ржавчины и грязи с помощью болгарки и круга для шлифовки, можно использовать дробеструйную обработку. Суть метода заключается в обработке металлической поверхности мощной струей сжатого воздуха, смешанного с частицами абразивных материалов.

Алмазное упрочнение заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом, на кончики которого расположен кристалл алмаза.

Сущность *электроискрового способа* обработки металлов заключается в том, что электрическая энергия направляется в виде искры на подлежащее обработке место металлической заготовки и производит разрушение поверхностного слоя металла.

Сущность *электромеханического способа* заключается в следующем. К детали, закрепленной в патроне токарного станка и вращающейся с определенной скоростью, и инструменту, закрепленному в резцедержателе, подводится электрический ток большой силы и малого напряжения. Инструмент под нагрузкой от 700 до 1200 Н прижимается к детали. В месте контакта детали с инструментом выделяется большое количество тепла, что приводит к нагреву металла до температуры 800 ... 900 °С. Металл становится пластичным и деформируется. В зависимости от формы инструмента происходит высадка или сглаживание поверхностного слоя. Благодаря чему осуществляется поверхностная закалка в результате повышается твердость и износостойкость упрочненного слоя металла.

Упрочнение материалов *лазерным излучением* основано на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого поверхностного участка с высокой скоростью в результате теплоотвода тепла во внутренние слои металла. В результате специфических тепловых процессов на обрабатываемой детали образуется своеобразная скорлупа с повышенными прочностными характеристиками.

При восстановлении деталей или изготовлении новых применяются различные способы поверхностного упрочнения. Все вышеизложенные технологии поверхностного упрочнения деталей машин позволяют достигать требуемого качества изделия и способствовать долговечности деталей и узлов машин.

Литература

1. sudoremont.blogspot.com/2014/03/blog-post_28.html?m=1
2. 35profil.ru/obrabotka-metalla/uprochnenie.html

Сухое трение материалов. Особенности сухого трения

Студент гр. 10203119 Филюта Е.

Научный руководитель – ст. пр. Куранова О. В.,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Почему при резком торможении автомобиль заносит? Почему скрипит плохо смазанная дверь? Почему движущийся равномерно смычок заставляет звучать скрипичную струну? Все это объясняется свойствами сил трения.

Сила трения покоя. Рассмотрим брусок, лежащий на горизонтальной поверхности (рис. 1а). На него действуют сила тяжести mg и сила реакции опоры N . Брусок покоится, потому что эти две силы компенсируют друг друга; силы, пытающейся сдвинуть брусок вдоль поверхности нет, поэтому и нет никакой силы трения.

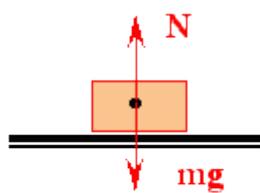


Рис. 1а

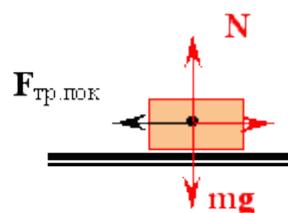


Рис. 1б

Подействуем на брусок с небольшой силой F , направленной вдоль поверхности (рис. 1б). Если брусок по-прежнему не сдвигается с места, то, значит, возникает сила трения покоя $F_{\text{тр.пок.}}$, равная по величине и направленная против пытающейся сдвинуть брусок силы F :

$$F_{\text{тр.пок.}} = -F$$

При некоторой, достаточно большой, сдвигающей силе F брусок придет в движение, и сила трения покоя превращается в силу трения скольжения.

$$F_{\text{тр.пок.предел}} = F_{\text{тр.скольж}}$$

А от чего зависит сила трения скольжения? Она, напротив, не зависит от величины сдвигающей силы, а определяется только двумя факторами: природой и качеством соприкасающихся поверхностей (коэффициентом трения скольжения μ) и силой, прижимающей одно тело к другому (а значит, и силой реакции опоры N):

$$F_{\text{тр.скольж}} = \mu N$$

Так же трудно сдвинуть брусок, если плоскость спокойна, велико трение покоя. Если же начинается вибрация в вертикальном направлении, может наблюдаться эффект коротковременных исчезновений давления, а следовательно трения. В этом случаях тело начинает скользить под действием малой горизонтальной силы.

Трение качения. Происхождение трения качения можно наглядно представить себе так (рис.2). Когда шар или цилиндр катится по поверхности другого тела, он немного вдавливается в поверхность этого тела, а сам немного сжимается. Таким образом, катящееся тело все время как бы вкатывается на горку. Вместе с тем происходит отрыв участков одной поверхности от другой, а силы сцепления, действующие между этими поверхностями, препятствуют этому. Оба эти явления и вызывают силы трения качения. Чем тверже поверхности, тем меньше вдавливание и тем меньше трение качения.

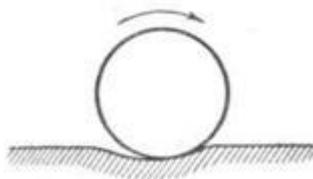


Рис. 2

Как правило, потери механической энергии при трении качения существенно меньше, чем при трении скольжения. Именно поэтому в технике так активно применяют подшипники качения – шариковые, а при больших нагрузках – роликовые.

Некоторые эффекты, связанные с силами трения.

При движении твердых тел по земле, влияние внешнего трения является определяющим. Оно может быть и полезным, и вредным. Силы трения делают возможной ходьбу человека. Благодаря силе трения движутся автомобили, причем для ведущего колеса автомобиля это трение будет полезным, а для ведомого колеса – вредным.

Борьба с трением в машинах, на транспорте сводится к замене сухого трения скольжений трением других видов. В частности, наиболее распространенный способ уменьшения трения — смазка — состоит в замене сухого трения трением жидким. Смазка заполняет углубления,

выемки, трещины поверхностей твердых тел и образует между ними жидкий слой, разъединяющий эти поверхности и препятствующий взаимодействию их молекул. При движении тел происходит скольжение слоев жидкости друг относительно друга. Замена сухого трения внутренним трением смазки уменьшает трение в 8-10 раз.

Замена трения качения трением скольжения, возникающим при резком торможении, приводят к «заносу» автомобиля (рис. 3).

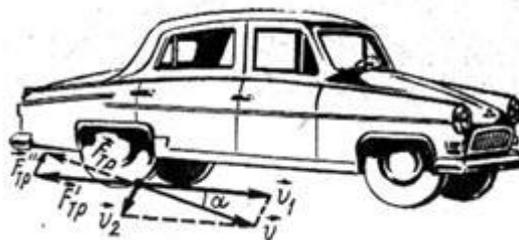


Рис. 3

Этим же объясняется соскальзывание приводного ремня при резкой остановке ведомого шкива. В отсутствие силы трения гвоздь не удержался бы в доске; винтовые, шпоночные соединения распались; любая машина, едва придя в движение, рассыпалась бы на составные части. С помощью сил трения, создающих момент сил сопротивления, останавливаются поезда.

Из-за силы трения, возникает явление заклинивания, которые используют в самотормозящих устройствах. Так как коэффициенты трения различных тел f_1 и f_2 различны, то и углы трения α и β будут различны.

Вследствие этого же явления вращающееся сверло или бур легко входит в металл, дерево или землю и вытаскивается из них (чтобы вытащить неподвижное сверло из металла или бур из земли, часто требуются значительные усилия).

Мы увидели какую большую роль играют силы трения в окружающей нас жизни. Узнали о явлении, природу которого мы еще не понимаем достаточно хорошо, но умеем описывать с помощью законов, выполняющихся с удовлетворительной точностью. Это дает нам возможность объяснять многие физические явления и делать необходимые расчеты.

Литература

1. Сухое трение и односторонние связи в механике твердого тела, Розенблат Г.М., 2011
2. Полюшкин, Н.Г. Основы теории трения, износа и смазки: учеб. пособие / Н.Г. Полюшкин, 2013

**Применение металлоплакирующих смазочных материалов для
повышения ресурса технологических механизмов и машин**

Студенты гр. 10903119 Хилюк И.М., Кожеуров П.С.

Научный руководитель – ст. преподаватель Комяк И.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Перед каждым конструктором, инженером, проектировщиком оборудования, сервисным специалистом стоит задача, как продлить ресурс машины с сохранением базовых характеристик. И в зависимости от выбора, можно, например, продлить ресурс машины до 35%, а это снизит потребность в производстве этих машин на те же 35%. Основной причиной снижения ресурса машины являются трение и износ.

Выбор смазочных материалов производится для вновь проектируемых машин, для машин после их модернизации и для действующего оборудования при изменении условий эксплуатации. Выбор зависит от многих условий, основными из которых являются: конструкция узла трения, рабочий режим (нагрузка, скорость, температура, интервалы их изменения), особенности рабочего и технологического процесса, внешняя среда (температура воздуха, его влажность, запыленность, наличие агрессивных газов и т.п.), квалификация обслуживающего персонала и возможность ухода за механизмом во время его действия, требования надежности и экономические факторы.

В настоящее время в распоряжении у конструкторов и у эксплуатационников механического оборудования имеется обширная база смазочных материалов. Существует множество классов смазочных материалов, однако наиболее интересным из них является класс металлоплакирующих смазок [2].

Металлоплакирующие смазочные материалы – это пластичные смазки, масла и смазочно-охлаждающие жидкости, в состав которых

входят металлсодержащие присадки (порошки металлов, их оксидов, сплавов, солей, комплексных и др. соединений) [1].

Впервые в мире металлоплакирующие смазки стали производить в СССР. По заказу в авиационной промышленности были разработаны смазки Свинцоль 01 и Свинцоль 22 [3]. Польза применения металлоплакирующих смазок известна давно, но широкого применения они не получили, видимо, из-за более высокой, чем у универсальных смазок, начальной стоимости. Однако экономика эксплуатации техники говорит о том, что эти затраты быстро окупаются.

При использовании металлоплакирующих смазочных материалов реализуется эффект безызносности, который проявляется в том, что на трущихся поверхностях деталей в процессе работы узлов трения формируется тонкая трудно поддающаяся окислению защитная самовосстанавливающаяся металлическая защитная пленка (не более 1 - 2 мкм) из введенных в смазку присадок. Такая защитная пленка называется сервовитной (от лат. *servo* – охраняю, спасаю и *vita* – жизнь). Пленка увеличивает площадь контакта деталей в 10 - 100 раз, препятствует окислению поверхностей, проникновению к ним водорода и тем самым резко снижает износ. Долговечность узлов трения повышается в 2 - 3 раза, потери энергии на трение уменьшаются примерно в 2 раза, расход смазочных материалов – в 2 - 3 раза, а периодичность смазочных операций – в 3 раза. Все это позволяет: повысить ресурс машин и механизмов; значительно продлить срок службы механических деталей; увеличить интервал между заменами смазки; исключить возникновение задиров и сваривания трущихся деталей; снизить шум, вызванный износом подшипников; обеспечить успешную работу в тяжело нагруженных узлах трения; исключить износ трущихся поверхностей; восстановить изношенные поверхности; защитить рабочие поверхности от коррозии; улучшить теплоотвод из зоны трения; предотвратить насыщение смазочного материала твердыми продуктами износа в процессе эксплуатации; улучшить экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания; уменьшить загрязнение окружающей среды; успешно заменить солидолы всех типов, смазки общего назначения и некоторые другие пластичные смазки [4].

При наличии на трущихся поверхностях сервовитной пленки продукты их износа состоят из пористых частиц металла, которые покрыты граничным адсорбционным слоем поверхностно-активного

смазочного материала, имеют электрический заряд, под действием которого удерживаются в узлах трения (сосредотачиваются в зазорах) и переносятся с одной поверхности на другую, защищая их от разрушения (при использовании обычных смазочных материалов продукты износа в основном состоящие из оксидов, которые легко удаляются из зоны контакта) (рис. 1). Наконец, сервовитная пленка предохраняет стальные поверхности от проникновения водорода, который образуется в процессе трения при разложении водяных паров, топлива, смазок, смазочно-охлаждающих жидкостей, деструкции полимеров в зонах контакта и другие; кроме того, пленка снижает удельную нагрузку на поверхности трения, что существенно уменьшает выделение водорода [4].

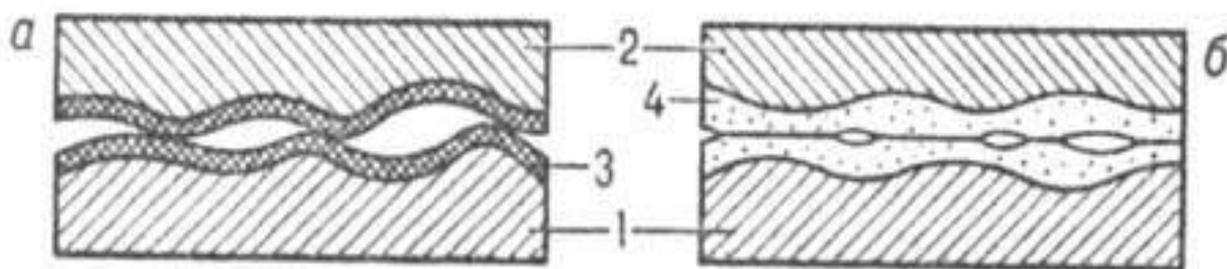


Рисунок 1. Образование пленок на поверхностях контакта при действии обычной (а) и металлоплакирующей (б) смазок: 1 – сталь; 2 – бронза; 3, 4 – соотв. оксидные и сервовитные пленки.

Важно отметить, что не все смазочные материалы, содержащие различные мягкие металлы, можно отнести к металлоплакирующим смазкам, дающим эффект безызносности. Для реализации последнего необходимо наличие активной смазочной среды, обеспечивающей протекание физико-химических процессов, обеспечивающих образование защитной пленки, содержащей металл вводимой присадки. Смазки же для резьбовых соединений и уплотнительные смазки, хотя и содержат порошки пластичных металлов (меди, свинца, цинка), не создают эффекта безызносности. Их оксиды, более мягкие, чем материал резьбы, при свинчивании ее после длительной эксплуатации, особенно при высокой температуре, служат как бы твердым смазочным материалом, не повреждая материала резьбы. При отсутствии металлических порошков материал резьбы больше окисляется. Оксиды, имея твердость (например,

окислы стали) большую, чем твердость самого металла, при свинчивании резьбы повреждают поверхности трения, увеличивают усилие свинчивания и нередко приводят к срыву резьбы [4]. По этой причине нельзя относить к металлоплакирующим смазочным материалам смазки, содержащие мягкие порошки металлов и предназначенные для резьбовых соединений, работающих при высокой температуре. Нельзя также относить к металлоплакирующим смазочным материалам смазки, при которых образование пленки металла происходит в результате "намазывания" металла, что может привести к схватыванию поверхностей трения и заеданию узла трения [5]. В этом случае смазка не выполняет своего прямого назначения.

Применение металлоплакирующих смазочных материалов, позволяет значительно повысить долговечность узлов трения, снизить потери энергии на трение, увеличить КПД машин и механизмов, уменьшить расход смазочных материалов, увеличить период между смазочными работами.

Литература

1. Гаркунов, Д.Н. Триботехника М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
2. Гаркунов, Д.Н. Триботехника, конструирование, изготовление и эксплуатация машин. – М.: МСХА, 2001. – 629 с.
3. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. С. 221;
4. Морозов А.П. Перспективы применения нанотехнологий в теплоэнергетике // Теплотехника и теплоэнергетика металлургического производства. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2008.).
5. Щедрин, А.В., Зинин, М.А., Гаврилов, С.А. Влияние металлоплакирующей присадки Валена на показатели комбинированной обработки // Вестник машиностроения. – 2011. – №9. – С. 77–80.

Материалы, применяемые в глобоидной передаче

Студенты гр. 10706119 Ильющенко З.Я., Романов И.С., Лавринович А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Василенок В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Требования к механическим свойствам глобоидных червяков и колес определяются специфическими особенностями зацепления в глобоидной

передаче. Контактные напряжения благодаря выгодным условиям прилегания рабочих поверхностей обычно малы, и применение высокопрочных материалов не является обязательным. С другой стороны, для реализации преимуществ глобоидного зацепления необходимо обеспечение передачи нагрузки в многопарном контакте.

Обеспечение надлежащего прилегания за счет повышения точности обработки деталей и сборки редуктора связано с усложнением и удорожанием производства и полностью задачу не решает: в процессе эксплуатации при различных нагрузках деформации деталей редуктора также различны, а, кроме того, относительные смещения червяка и колеса изменяются и вследствие износа подшипников. Приработкой зубьев колеса невозможно компенсировать все погрешности изготовления червяка и его смещения, так как обычно в собранной передаче не вся поверхность витка червяка участвует в зацеплении. Поэтому в реальном многопарном глобоидном зацеплении хорошее прилегание может быть достигнуто только в том случае, когда одновременно с зубьями колеса прирабатывается и червяк, для чего материал червяка должен иметь умеренную твердость (следует, однако, учитывать, что при чрезмерно низкой твердости витков червяка возникает заедание, ведущее к увеличению износа и уменьшению к. п. д. зацепления).

На основе ряда экспериментальных работ и практики эксплуатации глобоидных передач установлено, что наилучшие результаты получаются при твердости червяка HRC 32—35 и что для изготовления червяков можно применять любую сталь, которая может быть термически обработана до указанной твердости. Для изготовления червяков успешно применяют широко распространенные легированные конструкционные стали, в первую очередь сталь 40X, а в отдельных случаях и более дорогостоящие Cr-Ni и Cr-Ni-Mo стали; получить однородную структуру и заданную твердость этих сталей легче, чем углеродистых. Червяки также изготавливают из углеродистых и легированных сталей марок 45 (ГОСТ 1050-74), 20X, 40X, 40XH, 38XГН, 35ХМА, 12ХНЗА (ГОСТ 4543-71). Глобоидные червяки изготавливают из улучшенных до твердости HRC 32 - 35 легированных сталей марок 40X, 40XH, 38XГН, 35ХМА по ГОСТ 4543-71.

Механические характеристики червячных глобоидных колёс на основе стали:

Таблица 1

Материал	Состояние и термообработка	Твёрдость Н (HRC)	σ_b МПа	σ_T МПа	σ_{-1} МПа
40X	Улучшен.	30...35	800	650	360
40XH	Улучшен.	30...35	820	650	360
35XMA	0.3	40...52	800	650	360
38XГН	0.3	40...52	900	700	400

Твердость поверхностей витков цилиндрических червяков должна быть не менее HRC 45. После закалки до HRC 45 - 50 или цементации и закалки до HRC 50 - 56 рабочие поверхности необходимо шлифовать и полировать.

Червяки из улучшенной стали используют в тихоходных и мало нагруженных передачах, обычно с чугуном червячным колесом. При скорости менее 1 м/с, а также для передач с ручным приводом применяют серые чугуны марок СЧ15-32, СЧ18-36 (ГОСТ 1412-70).

Венцы колес ответственных глобоидных и цилиндрических червячных передач изготавливают из оловянистой бронзы Бр.ОФ10-1 или оловянно-никелевой бронзы Бр.ОНФ.

При выборе материала венца колеса следует учитывать, что хотя приработанная глобоидная передача при постоянной нагрузке работает в условиях жидкостного трения, однако в период приработки в начале эксплуатации, а также при эксплуатации в условиях больших переменных деформаций (при изменении нагрузки) и относительных смещений пары по мере износа подшипников имеет место граничное трение. В связи с этим наилучшим материалом для зубьев глобоидного колеса является оловянная бронза с содержанием Sn до 10 %, если изгиб, прочность материала не ограничивает передаваемой мощности, как это обычно бывает в глобоидных передачах. Для повышения прочности применительно к условиям цилиндрической червячной передачи этот сплав легируют $Ni \leq 2\%$, что лишь незначительно ухудшает противозадирные свойства оловянной бронзы. Более дешевой легирующей добавкой является фосфор, применяемый в бронзе Бр. ОФ 10-1; эта бронза несколько уступает оловянноникелевой. Для тихоходных червячных передач при скорости скольжения до 2 м/с применяют алюминий-железистые бронзы Бр.АЖ9-4Л (ГОСТ 493-54).

Механические характеристики червячных глобоидных колёс на основе бронзы:

Таблица 2

Материал	Способ отливки	Механические свойства					Кэф. материалов k_M
		Предел прочности $\sigma_{в2}, \text{МПа}$	Предел текучести $\sigma_{Т2}, \text{МПа}$	Твердость $H_{нв}$	Модуль упругости $E_2, \text{МПа}$	Кэф. ν_2	
Бр.010НФ1	Ц	285	165	100...120	$0,98 \cdot 10^5$	0,335	1
Бр.010Ф1	П	216...294	137...147	80...100	$0,74 \cdot 10^5$	0,335	1
	К	245...431	196...225	100...120	$1,01 \cdot 10^5$		
Бр.06Ц6С3	П	147...196	108	60	$0,93 \cdot 10^5$	0,335	0,9
	К	176...216	78...98	60...76	10^5		
Бр.05Ц5С5	П	147...196	79...98	60...68	$0,88 \cdot 10^5$	0,335	0,9
	К	176...216	78...122	60...66	10^5		
Бр.А9ЖЗЛ	П	392...490	196...225	110	$1 \cdot 10^5$	0,35	0,8
	К	490...588	196...343	110...140			
	Ц	490...588	196...343	120...140			
Бр.А10Ж4Н4Л	П	587	196...225	170	$1 \cdot 10^5$		
	К;Ц	588...755	398...588	170...225			

Условные сокращения в таблице: П-в песчаные формы; К-в кокиль; Ц- центробежный.

Литература

1. Ачеркан Н.С. (ред.). Детали машин. Расчет и конструирование. Том 3 С. 255-256.
2. Петров М.С. Червячные глобоидные передачи С.9-10

Передача редуктора РЧГ-270

Студенты гр. 10706119 Гайшун А.С., Бульков Н. Е.,
 Научный руководитель – к.т.н., доцент Василенок В.Д.
 Белорусский национальный технический университет
 Минск, Беларусь

Способность глобоидной передачи нести большие нагрузки объясняется выгодными контактными условиями, а также распределением нагрузки между большим числом зубьев колеса и особенностью их напряженного состояния, приближающегося к сдвигу. Окружное усилие на колесе глобоидной передачи может при прочных равных условиях, значительно превышать допусаемые для других передач зацеплением.

Поэтому глобоидную передачу целесообразно применять для восприятия больших перегрузок, характерных, например, для

артиллерийских систем или металлургического оборудования, где это может происходить в связи с неожиданным изменением механических свойств горячего металла.

Поскольку в этих случаях импульс нагрузки передается по кинематической цепи привода машины ее рабочего органа, следует использовать самотормозящие свойства глобоидной передачи для предохранения от перегрузок дальнейших звеньев этой цепи. Поэтому здесь глобоидную передачу устанавливают ближе к рабочему органу, несмотря на то, что число оборотов ее будет ниже, и это скажется на к. п. д. привода.

Глобоидная передача используется в нажимных устройствах прокатных станов, в маятниковых пилах, в приводе шлейпера для блумов.

При компоновке машин особым соображением по выбору передачи нередко является необходимость размещения осей в перпендикулярных плоскостях. Типичны случаи, когда рабочий орган машины должен иметь вертикальный вал, а двигатель - горизонтальный.

Для привода пропеллерного насоса в контакторах алкилирующих установок ранее применялось два последовательно соединенных редуктора: цилиндрический шевронный с передаточным числом $i_1=3,16$ и конический спиральнозубый с передаточным числом $i_1=1,9$. Диаметр конического колеса 684 мм, а общий вес двух редукторов 3300 кг.

Применение глобоидной передачи по проекту Гипронефтемаша позволило заменить два редуктора одним с весом всего 1350 кг и значительно сократить габаритные размеры установки.

Основные параметры глобоидной передачи следующие:

Межосевое расстояние – 270 мм

Передаточное число - 5,83

Модуль - 12,56 мм

Угол подъема витка - 37

Передаваемая мощность – 250 л.с.

Рабочее число оборотов червяка – 2900 мин

Особенностью конструкции редуктора является главный подшипниковый узел червяка в виде трех радиально-упорных шарикоподшипников 66412, два из которых совместно воспринимают осевое усилие при рабочем направлении вращения. Охлаждение масляной массы осуществляется змеевиком.

Главной технологической задачей было создание шестизаходной фрезы, особенностью которой являлось расположение передней плоскости

зубьев колеса нормально к винтовой линии витка. Такая фреза была успешно изготовлена и дала хорошие результаты при нарезании передачи. Опыт эксплуатации этой передачи представляет большой интерес в связи с большой передаваемой мощностью и весьма малым передаточным числом. Передача проработала более двух лет непрерывно и была снята с эксплуатации лишь в связи с неработоспособностью других узлов установки. Следует отметить, что передача находилась во вполне работоспособном состоянии. При данном передаточном числе и скорости вращения к. п. д. передачи был близок к 0,97, т.е. и по к. п. д. глобоидная передача не уступала сравниваемой с нею системе двух редукторов.

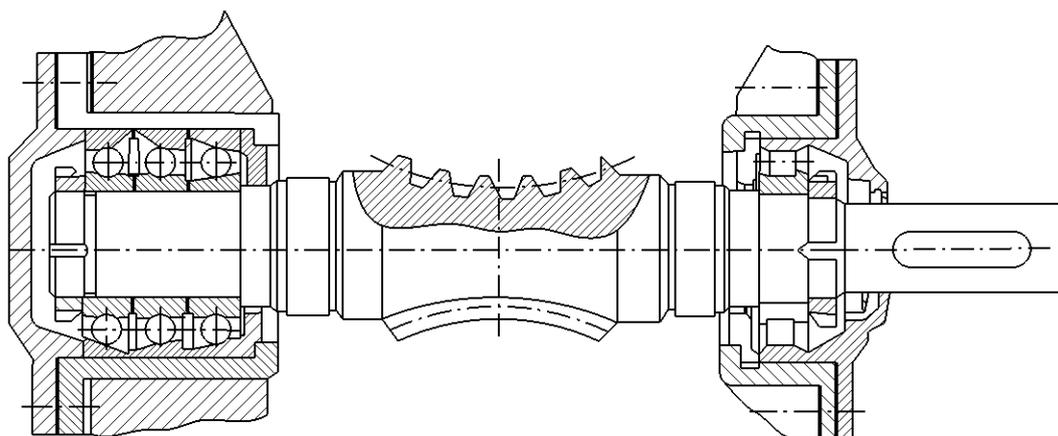


Рисунок 1 – Передача редуктора РЧГ-270

Литература

1. Зак П.С. Глобоидная передача. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы – 1962, с. – 256

Криогенные технологии в электроэнергетике

Студент гр. 10602119 Матусевич П.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Криогеника — раздел физики низких температур, изучающий закономерности изменения свойств различных веществ в условиях крайне низких («криогенных») температур.

Применение глубокого холода в таких областях, как электротехника и электроника, объясняется значительным понижением электрического сопротивления чистых металлов с уменьшением температуры и

сохранением определенными сплавами сверхпроводимости в сильных магнитных полях при больших плотностях тока. К таким металлам можно отнести медь, алюминий, натрий и бериллий.

Яркими перспективами электроэнергетики является разработка сверхмощных электрических машин, аппаратов, линий электропередач (ЛЭП) с применением сверхпроводников, что позволит перейти на более экономически выгодную ступень развития. Планы научных исследований на ближайшее время: поиск новых сверхпроводящих материалов с повышенными критическими параметрами, пониженными потерями в переменных полях и создание на их основе совершенной технологии изготовления проводников, определение областей технико-экономической целесообразности применения сверхпроводников, удешевление сверхпроводящих материалов и др.

Уменьшение активного сопротивления проводника, а тем более использование сверхпроводников позволило бы значительно увеличить мощность электрических машин и аппаратов в тех же размерах, поднять КПД за счет увеличения плотности тока и рабочей индукции.

Проблема применения явления сверхпроводимости и глубокого холода в электротехнике больших мощностей привлекает внимание ведущих электротехнических компаний. Рассматриваются две возможные тенденции работ:

- 1) использование очень чистых меди или алюминия, охлаждаемых жидким водородом (линии электропередачи, криогенные машины, аппараты);
- 2) применение сверхпроводников, охлаждаемых жидким или сверхкритическим гелием (линии электропередачи, сверхпроводящие машины, аппараты).

Большое количество специалистов в последние годы обращают свое внимание на перспективу использования низких температур в системах передачи электроэнергии.

Подавляющее количество электроэнергии передается и распределяется по сетям переменного тока, главным элементом которых являются воздушные линии электропередачи (ЛЭП), работающие под высоким напряжением.

Передача значительных потоков энергии в промышленные районы и крупные города с помощью воздушных ЛЭП связана с такими серьезными осложнениями, как необходимость отчуждения крупных участков земли в пригородных жилых районах, возникновение помех авиатранспорту и,

соответственно, определенная опасность для населения, появление радиопомех и т.п.

На этом основании для глубоких вводов в промышленные районы и города всё чаще стали применять высоковольтные подземные кабели, которые на приличном расстоянии от потребителей (550 км) соединяются с воздушной ЛЭП. Например, высоковольтные маслонаполненные кабели чаще всего используются при больших передаваемых мощностях: в США максимальная мощность, передаваемая по такому кабелю при напряжении 345 кВ, достигает 500 МВА, а в Европе - 1000 МВА. Сам кабель и его прокладка сопровождаются высокой стоимостью. Так, в зависимости от режима эксплуатации ЛЭП расходы при сооружении кабельной линии на напряжение 345 кВ в 1013 раз выше, чем при возведении воздушной ЛЭП на те же параметры. Исходя из вышеуказанного, в настоящее время осуществляется активный поиск различных технических решений, к которым относится разработка решений создания криогенных и сверхпроводящих линий электропередачи относительно небольшой протяженности.



Рис.1

Производства и предприятия, применяющие высокие токи сравнительно малого напряжения могут использовать короткие сверхпроводящие кабельные линии постоянного тока: в мощных электропечах, при получении алюминия или хлора электролизом. Более отдаленной и менее определенной возможностью представляется создание

криогенных или сверхпроводящих ЛЭП большой протяженности: такие линии намного сложнее и дороже обычных воздушных ЛЭП и их возведение может оказаться экономически невыгодным.

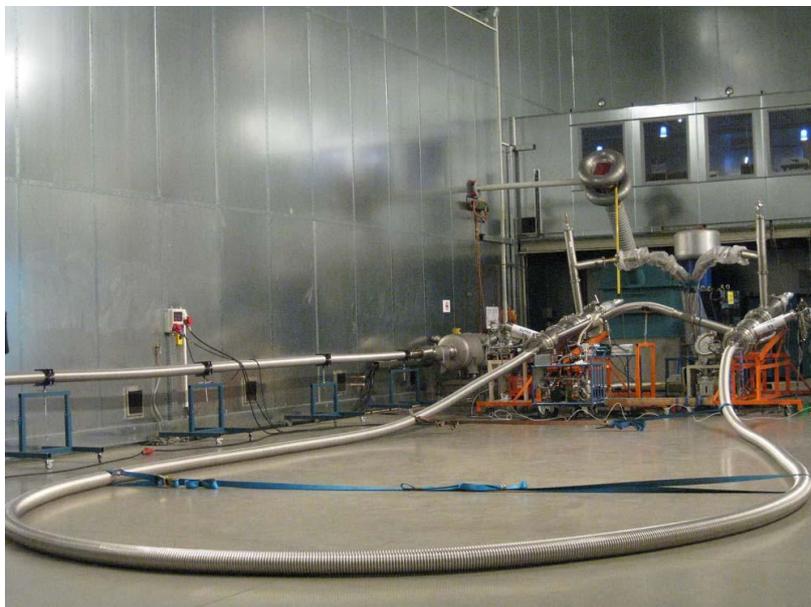


Рис.2

Использование сверхпроводящих кабелей позволяет значительно увеличить пропускную способность линии электропередач. Сети, использующие такие кабели, имеют значительные преимущества, такие как снижение потерь, увеличение удельной мощности передачи, экологическая чистота и пожарная безопасность. Сверхпроводящие линии постоянного тока дополнительно обеспечивают дальнейшее снижение потерь энергии, осуществление функции ограничения тока, повышение управляемости и снижение мощности криогенного оборудования по сравнению с линиями переменного тока

В настоящее время в мире разрабатываются различные устройства, использующие технологию высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП), в том числе ограничители тока короткого замыкания, двигатели, накопители энергии и различные варианты сверхпроводящих кабелей.

Сверхпроводящие кабели, наряду с ограничителями тока, сейчас являются самой популярной темой в области применения эффекта сверхпроводимости в электроэнергетике. Сверхпроводящие кабельные линии (ВТСП КЛ) имеют очевидные преимущества при передаче больших потоков энергии по электрическим сетям по сравнению с традиционными линиями. Это стимулировало разработку большого количества

конструкций кабелей для передачи энергии. Именно при разработке ВТСП КЛ был накоплен первоначальный опыт эксплуатации в реальных электрических сетях, а уровень передаваемой мощности находится в интервале от единиц мегаватт до единиц гигаватт на одну цепь.

Повышение единичной мощности энергетических блоков и потребность передачи огромных количеств энергии по дальним линиям электропередачи создают требования к современной электротехнике по поиску различных решений научно-технических задач. Рост единичной мощности требует более интенсивного охлаждения, приводит к уменьшению КПД и повышению относительных реактивностей.

ВТСП КЛ переменного тока целесообразны в тех случаях, когда необходимо передать большие потоки электроэнергии на распределительном напряжении, а также при замене воздушных линий на кабельные без изменения класса напряжения. Также можно передавать энергию напрямую от шин генератора на подстанцию или в распределительную сеть.

ВТСП КЛ постоянного тока, выполняя те же функции, что и ВТСП КЛ переменного тока, также могут выполнять функцию ограничения токов короткого замыкания и управления потоком мощности. Таким образом, в случаях, когда помимо передачи больших потоков мощности при низком напряжении обязательна и функция ограничения токов короткого замыкания и управления потоками мощности, что характерно для мегаполисов, ВТСП КЛ постоянного тока наиболее предпочтительны. Кроме того, передача по сверхдлинному кабелю возможна только при использовании линий постоянного тока.

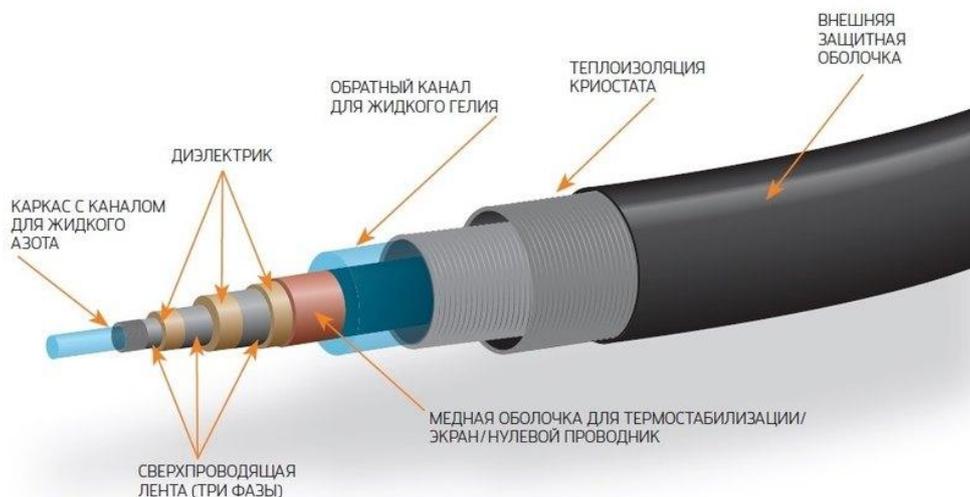


Рис.3

Удачно построенный сверхпроводящий кабель имеет следующую структуру (рис. 3.). В центре обычно находится пучок медных проводов диаметром около 20 мм, который является несущим элементом. На этом элементе по окружности размещены ВТСП-ленты, ламинированные латунью 2-го поколения, то есть проводники, у которых ВТСП-проводник занимает только около 5% поперечного сечения (40% для ВТСП 1-го поколения) и представляет собой тонкое покрытие на поверхности подложки. Они укладываются по спирали, закручиваются под углом. 24 ленты - это первый слой (скрутка). Поверх этого слоя укладывается второй слой сверхпроводящих лент с противоположным направлением скрутки. Затем наносится утеплитель толщиной от 6 до 12 мм. Далее размещается примерно такое же количество сверхпроводящих лент - это так называемый сверхпроводящий экран. Сверху на медном экране находится защита сверхпроводника. Этот кабель упакован в длинную гибкую трубу из гофрированной нержавеющей стали. Причем труба двойная - внутренняя труба обернута так называемой суперизоляцией, а между трубами откачан воздух - это высоковакуумная теплоизоляция. Жидкий азот перекачивается по внутренней трубе. Итак, сверхпроводящий кабель находится в криостате. Главная проблема - это надежная криогенная система, которая создаёт этот жидкий азот и качает его по длинному кабелю.

Основные преимущества силовых кабелей ВТСП: высокая токовая нагрузка, низкие потери в сверхпроводнике, экологическая чистота (отсутствие масел, минимальное электромагнитное и тепловое воздействие на окружающую среду), высокий уровень пожарной безопасности. При передаче большой мощности при относительно низком напряжении - 10-20 кВ (генераторном) - не требуются промежуточные подстанции, что дает значительную экономию капитальных затрат и городских земельных ресурсов.

От применения криогенного сверхпроводящего оборудования и технологий в электроэнергетике ожидают:

- снижение потерь электроэнергии примерно в 2 раза,
- уменьшение массогабаритных показателей оборудования,
- улучшение надежности и продление срока эксплуатации электрооборудования за счет снижения старения изоляции,
- улучшение надежности и устойчивости работы энергосистем,
- увеличение качества электроэнергии, поставляемой потребителям,

- рост уровня пожарной и экологической безопасности электроэнергетики,
- создания принципиально новых систем энергетики при совмещении с другими инновационными подходами за счет синергетического эффекта.
Предполагается определенный экономический эффект от криогенных сверхпроводниковых технологий при их использовании в промышленных городах и мегаполисах для организации глубоких вводов мощности и создания токоограничивающих устройств, когда проведение воздушных ЛЭП просто невозможно.

Размеры и масса криогенных установок, удельные энергозатраты на производство холода при 4,215 К, надежность работы в длительном режиме пока еще не соответствуют высоким требованиям будущей криогенной электротехники. Технично-экономическая целесообразность создания криогенной электротехники определяется также значениями теплопритоков и внутренних тепловыделений, которые должны быть предельно снижены, в основном, путем усовершенствования теплоизоляции, конструкции токовводов и др.

Неоднократно подчеркивалось, что необходимо активно проводить исследования по созданию принципиально новых видов электрооборудования опытных образцов турбогенераторов, электродвигателей и силовых промышленных трансформаторов на основе сверхпроводящих материалов.

Литература

- 1.В.Г. Фастовский. Криогенная техника, изд. 2-ое. перераб. и доп. М., «Энергия», 1974 (с).
2. В.Е. Сытников. Сверхпроводящие кабели и перспективы их использования в энергетических системах XXI века. II Сверхпроводимость: исследования и разработки, 2011, № 15; 165-76.

Капсульные гидрогенераторы

Студентка гр. 10602219 Коршун В.Н.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Генератор – установка, что может формировать электрическую энергию для гидроэлектростанций. Параметры, а также устройстве

гидрогенераторов сильно регламентированы требованиями государственных и международных стандартов. Они могут быть как очень большие, такие гидрогенераторы используются для станций, которые вырабатывают энергию для городов, так и маленькие, которые используются в своём подсобном хозяйстве и для снабжения электроэнергией посёлков и деревень.

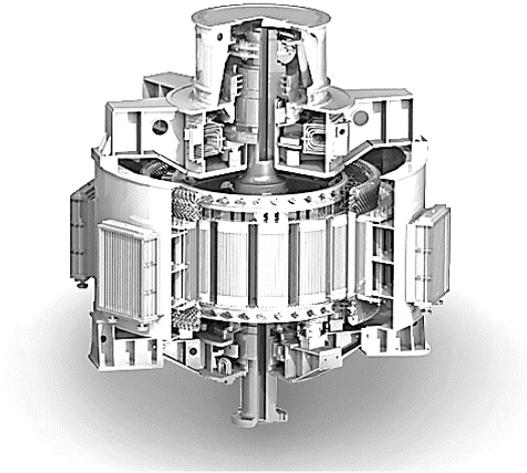


Рис.1. Гидрогенератор

Гидрогенераторы можно разделить на две большие группы: капсульные и горизонтальные.

По способу расположения гидрогенераторы бывают:

- вертикальные
- горизонтальные

Большее распространение получили вертикальные гидрогенераторы, потому что они более устойчивы к нагрузкам, которые создаются потоком воды.

Выделяют два основных типа вертикальных генераторов:

- подвесные
- зонтичные

Генераторы подвесного и зонтичного типа представлены на рисунке 2.

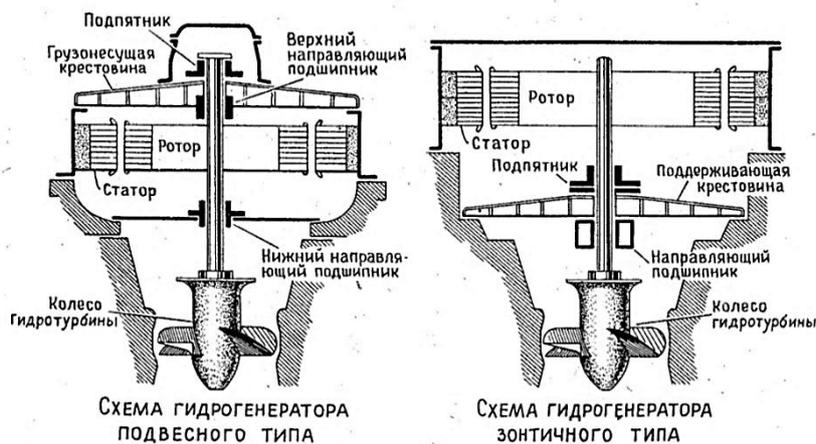


Рис. 2 Генераторы подвешенного и зонтичного типа

Отличаются в основном расположением подпятника. В подвесных генераторах подпятник опирается на верхнюю крестовину, расположенную на станине статора.

В зонтичных подпятник расположен под ротором и опирается на нижнюю крестовину облегченной конструкции.

При частотах вращения до 200 об/мин гидрогенераторы выполняются преимущественно в зонтичном исполнении, свыше 200 об/мин – в подвесном. При частотах вращения свыше 250 об/мин вертикальные гидрогенераторы выполняются исключительно в подвесном исполнении.

При зонтичной конструкции иногда удается снизить высоту агрегата и машинного зала за счет облегчения верхней крестовины и этим уменьшить массу агрегата и расход материалов.

Принцип работы горизонтальных гидрогенераторов несколько отличается от вертикальных, которые являются нормой. Подобные виды гидрогенераторов обнаружили собственное использование в конкретных местах рек. Примерами могут быть большие гидроагрегаты для ГЭС, микро-ГЭС для дома, мини-ГЭС для большого дома или хозяйства и малые-ГЭС для посёлков.

Абсолютно у всех гидрогенераторов, сравнивая с иными роторными установками, довольно небольшая скорость оборотов в минуту. Она крайне редко превосходит значение 500. Но диаметр турбин гидрогенераторов, как правило большой – вплоть до 25 метров. Данная конструкция обуславливается одновременно некоторыми условиями: во-первых, вертикальной ориентацией генераторов, так как большая

часть из них имеет подобное выполнение; во-вторых особенностью деятельности.

В случае, если устройство обладает горизонтальной направленностью, в таком случае, как правило, деятельность гидрогенератора изменяется, потому что жёсткость и устойчивость такого рода конструкции обеспечить довольно трудно.

Электростанции, которые применяют течение вода с целью извлечения энергии, устройство гидрогенератора возможно сопоставить с механизмом мотора или двигателя. Однако они не только производят энергию, но и потребляют её. Гидрогенераторы различаются усовершенствованной системой подпятника, что предоставляет возможность ротору вращаться в различные стороны. В случае, если генератор капсульный и горизонтальный (рис. 3), он представляет собою непроницаемую капсулу, которая имеет в своём устройстве гидрогенератор, гидротурбину, но кроме того, все требуемые системы, которые направлены обеспечения её работы. Данная капсула располагается под потоком воды на станции.

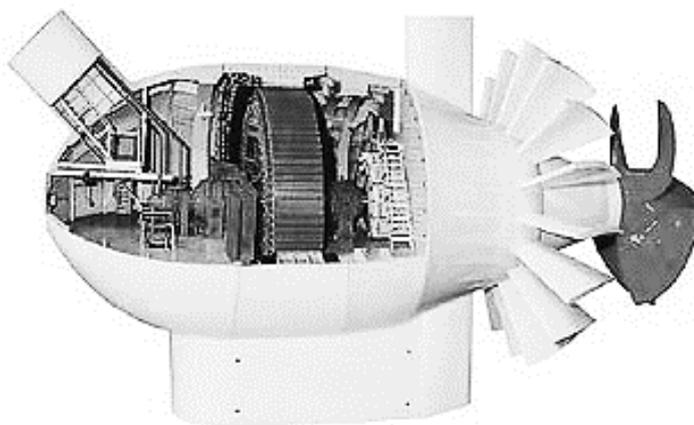


Рис.2 Капсульный гидрогенератор

Капсульные гидрогенераторы предполагают собою компактные герметизированные синхронные явнополюсные генераторы с горизонтальным месторасположением вала. Капсульные гидрогенераторы создают как некую долю общего гидроагрегата, при этом корпус статора генератора считается в то же время составляющей капсулы гидроагрегата.

Генератор капсульного типа, также конструктивна сопряженная с ним гидротурбина, формируют герметизированный агрегат обтекаемой фигуры, который работает напрямую от потока воды.

Капсульный гидрогенератор предоставляет возможность не только повысить пропускную способность турбины, но и повысить единичную мощность при установленном напоре, что создаёт возможность её использование рациональным для низконапорных гидростанций. Потребность в капсульных гидрогенераторах появляется при создании низконапорных русловых или приливных электростанций. Использование подобных аппаратов дает возможность ускорить постройки гидросооружений.

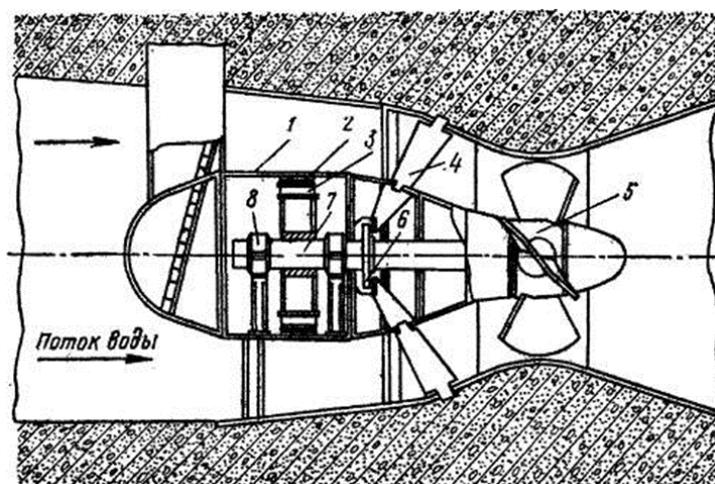


Рис.4 Строение капсульного гидрогенератора 1 – капсула; 2 – статор генератора; 3 – ротор генератора; 4 – направляющий аппарат турбины; 5 – ротор гидравлической турбины; 6 и 8 – подшипники; 7 – вал

Капсульные гидроагрегаты встраиваются в водосливную плотину, что при строительстве ГЭС значительно уменьшается общий объем бетонных работ.

Диаметр капсульных гидрогенераторов существенно меньше диаметра гидрогенераторов обыкновенного исполнения с теми же начальными данными, по этой причине, что момент инерции их роторов значительно ниже. Из-за небольшого момента инерции ускорение ротора при пуске, а также замедлении выходит огромным.

Крупные гидрогенераторы, к которым можно отнести тихоходные, обладающие огромной мощностью, изготавливаются с участием вала, который расположен вертикально.

Предпосылки:

- при горизонтальном исполнении, если генератор обладает крупными масштабами, то есть размерами и массой, в таком случае ему почти невозможно гарантировать нужную прочность статора, ротора, а также вала;
- при горизонтальном исполнении трудно гарантировать необходимую тоннажность подшипников;
- гидрогенераторы вертикального исполнения легче собирать, управлять, и кроме того, производить ремонт.

С целью транспортировки по железной дороге статор и ротор больших гидрогенераторов исполняются сложными по своему строению, состоят из нескольких секторов, что существенно усложняет систему гидрогенератора. Абсолютная сборка гидрогенератора выполняется напрямую на гидроэлектростанции.

Капсульный гидрогенератор предоставляет вероятность повысить пропускную способность турбины, но и единичную мощность при установленном значении напора. Гидроагрегаты капсульного исполнения встраиваются напрямую в водосливную дамбу, при постройке гидроэлектростанция значительно снижается единый размер бетонированных работ. В то же время из-за сравнительно маленьких объемов капсульных генераторов, они характеризуются наиболее невысокой статической, динамической стойкостью. Становится трудным процесс установки, и помимо этого, использование и монтаж.

Мощность капсульных генераторов располагается во границах от одного вплоть до пятидесяти МВт. В этот период проводятся исследования наиболее сильных генераторов, значение мощности которых начнёт приближаться к шестидесяти МВт.

Капсульные гидрогенераторы характеризуются значительно высокими значениями коэффициента мощности. В соответствии со стандартом 17525-8, номинальный коэффициент мощности для генераторов мощностью до 20 МВ*А может составить 0,95. Для машин большей мощности допускается значение $\cos \varphi = 0,98$.

Коэффициент полезного действия капсульных гидрогенераторов несколько ниже КПД машин обычного исполнения. По ГОСТ 17525-81

при мощности до 10 МВ-А КПД должен быть не ниже 95%, при большей мощности – не ниже 96 %.

Капсульные гидрогенераторы характеризуются достаточно маленькими величинами полюсных делений (20-30 см), что объясняет высокое рассеивание полюсов, где показатель рассеяния составляет 1,5-1,6 индукций в сердечниках полюсов 1,3-1,4. Именно это порождает проблемы с размещением катушек обмотки возбуждения. По этой причине капсульные гидрогенераторы изготавливаются с уменьшенным воздушным зазором, значение которого лежит в интервале от 5 до 8 миллиметров.

Характерные черты капсульных гидрогенераторов, а также значительное применение их активного объёма обуславливают высокие значимости индуктивных сопротивлений.

Рассмотрим капсульный гидрогенератор на конкретном примере. Даугавпилсская ГЭС – гидроэлектростанция, строившаяся в городе Даугавпилсе (Латвийская ССР), на восточной окраине города в Ругелях в 1979—1987 годах, не реализованная часть каскада Даугавских ГЭС.

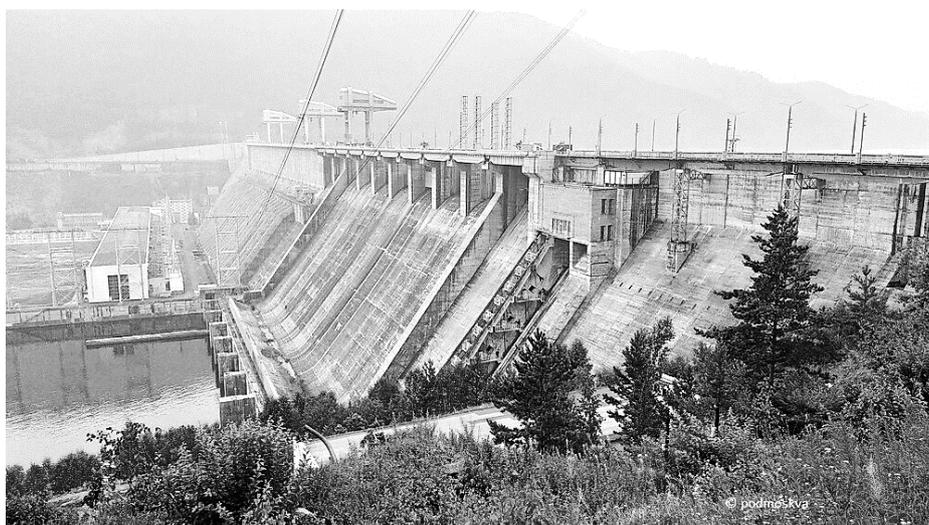


Рис. 5 Даугавпилсская ГЭС

Капсульный гидрогенератор типа СГК 535/220-52 для Даугавпилсской ГЭС является составной частью капсулы гидроагрегата (рис. 6).

Основные технические данные Капсульный гидрогенератор типа СГК 535/220-52:

Мощность	42,22 МВ*А
Коэффициент мощности	0,9
Номинальное напряжение	6,3 кВ
Частота вращения	115,4 об/мин
Ток статора	3870 А
Ток возбуждения	1243 А
Напряжение возбуждения	327 В
Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, о. е.	1,37

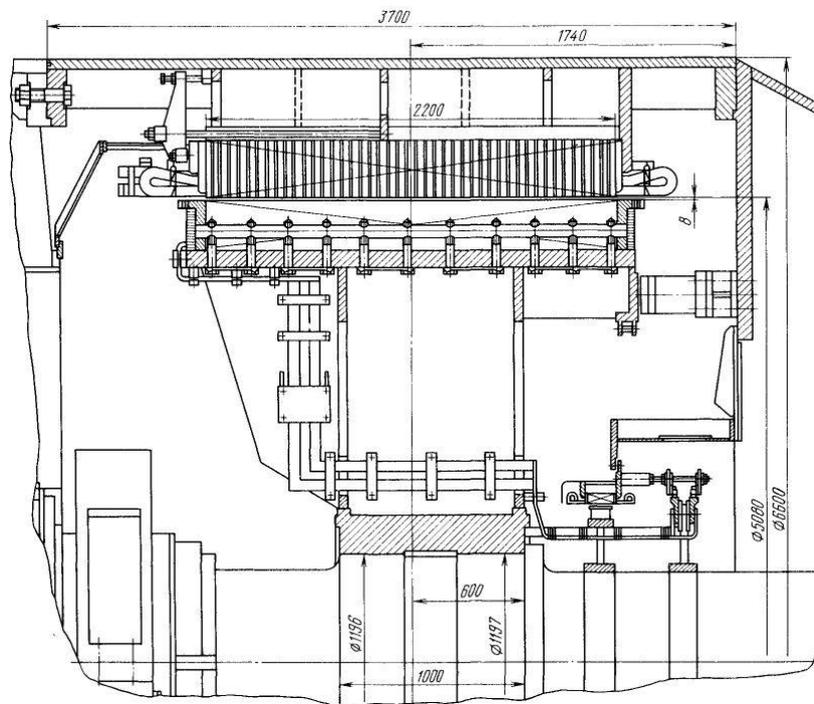


Рис. 6 Капсульный гидрогенератор для Даугавпилсской ГЭС

Корпус статора одним фланцем прикрепляют к статору турбины, иным – к фланцу промежуточного кольца. Статор турбины, а также промежуточное кольцо считаются опорами капсулы.

Ротор генератора насаживают на вал гидроагрегата, который включает в себя два элемента, объединённых между собою фланцами. В передней части капсулы располагается аппарат системы охлаждения, состоящий из осевого вентилятора с двигателем и воздухоохладителем.

Корпус состоит из двух элементов. Сердечник статора изготавливают из частей электротехнической стали толщиной 0,5 миллиметров, шихтовка частей производится в процессе монтажа. Нажимные пальцы сердечника сделаны из немагнитной стали. Обмотка статора – двухслойная, стержневая, волновая с двумя параллельными ветвями на фазу. Изолирование обмотки – терморезистивное.

Остов ротора – барабанного типа, цельносварной, состоит из нескольких частей: втулки дисков обода и ребер жёсткости. Полюсы ротора, изготовленные из листов электротехнической стали, имеющие толщину 1 миллиметр. Полюсы крепят к ободу при помощи болтов. Изоляцию полюсов осуществляют посредством стеклоткани на эпоксидных связующих. Демпферная обмотка – продольно-поперечная.

Вентиляция гидрогенератора – радиальная, осуществляется по замкнутому циклу внутри капсулы при нормальном атмосферном давлении.

Генератор имеет систему торможения, выполненную в виде пневматических поршневых тормозов и трубопроводов. При подаче в тормоза воздуха при давлении 0,7 МПа агрегат тормозится от 15 % номинальной частоты вращения.

Система возбуждения – статическая тиристорная параллельного самовозбуждения.

Параметры системы возбуждения:

Номинальное напряжение	выпрямленное	370 В
Номинальный напряжению	выпрямленный ток	1600 А
Кратность напряжению	форсировки по	2,5
Кратность форсировки по току		2

Литература

1. Источник: <https://www.ngpedia.ru/id641768p1.html>
2. Источник: <http://www.ural-mep.ru/turbogeneratori/gidrogenerator-ustroiestvo-konstrukciya-principi-i-shemi-raboti.html>
3. https://www.sinref.ru/000_uchebniki/00850_energetica/008_Spravochnik_po_elektricheskim_mashinam_kopa_1988/052.htm
4. Источник: <https://infopedia.su/17x8776.html>

Технологии вихревой энергетики

Студент гр. 10602219 Ковалец И.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Несмотря на давнюю историю изучения и практическую важность закрученных потоков, их общие закономерности до сих пор еще недостаточно изучены. Так, до сих пор окончательно не выяснены физические механизмы зарождения, самоподдержания и распада закрученных потоков. Различные подходы, разработанные в теории атмосферных вихрей, теории вихревых промышленных аппаратов, магнитной гидродинамики, оказываются недостаточными для построения полной теоретической модели, позволяющей делать количественные расчеты с необходимой точностью, объясняющей результаты натуральных измерений и учитывающей многокомпонентность сред сложность, трехмерность процессов, существенных для зарождения, развития, самоподдержания и распада вихревых образований, нелинейность уравнений, описывающих эти процессы. Тем не менее, уже сейчас мы имеем некоторые эмпирические алгоритмы процессов, происходящих в закрученных потоках, и методики расчета вихревых устройств и установок, которые уже не одно десятилетие используются в различных промышленных технологиях. Отличительной особенностью вихревых аппаратов является их простота, отсутствие движущихся частей, безинерционность, малый вес и надежность конструкций. Вихревые технологии – это, пожалуй, единственный случай, когда энергия турбулентности используется для совершения работы, выделения и поглощения тепла, формирования градиентов давления.

Развитие и применение вихревых технологий в энергетике основано на ряде принципиальных особенностей вихревого движения сплошной среды, таких как: формирование концентрированных вихрей типа вихревых нитей; -взаимодействие и распад вихрей; нестационарные явления, включающие в себя разнообразные неустойчивости и прецессию вихревого ядра; интенсивная турбулизация; проявление массовых сил типа центробежных; явления сепарации частиц и энергоразделения типа эффекта Ранка.

С технологической точки зрения обозначенные особенности выделяют способности: кардинально интенсифицировать процессы теплопереноса и горения; развивать способы управления струями и процессами переноса; увеличивать защищенность и экологичность изготовления энергии; создавать, в итоге, новые технологии энергетики и теплотехники. Трехмерные нестационарные вихревые перемещения с сосредоточиванием завихренности и наличием неизотермичности, многофазности и химических реакций типичны для энергетических процессов и их описание относится к более трудным научным задачам как в проекте математического моделирования, так и экспериментальных исследований.

Струйные, вихревые энергетические технологии основаны на законах классической термодинамики и хранения энергии. Первое направление разработки струйной, вихревой энергетики связано с копированием природного процесса имплозии (англ. implosion — взрыв, направленный вовнутрь; обжатие вещества сходящейся концентрической взрывной волной) и трансформацией тепловой энергии с невысоким потенциалом в кинетическую энергию. Наиболее наглядным примером природной имплозии считаются смерчи, торнадо. В торнадо диаметром более 800 м. сконцентрирована энергия крупной атомной бомбы.

Применить эффект торнадо для генерации электричества (ЭЭ) в первый раз получилось Льюису Мичоду (Louis Michaud), который попробовал создавать маленькие искусственного происхождения вихри при поддержке особого «вихревого двигателя». По расчетам южноамериканского инженера аппарат диаметром 200-400 м имеет возможность генерировать до 200 МВт электричества. «Топливом» для искусственного происхождения торнадо может служить разогретая поверхность океана или же любого другого водоема.

На базе исследований за природными торнадо были сформулированы расклады к созданию искусственного происхождения генераторов торнадо.

Более отработанными в реальное время считаются генераторы торнадо с центральным нисходящим вакуумным шнуром (рис. 1).

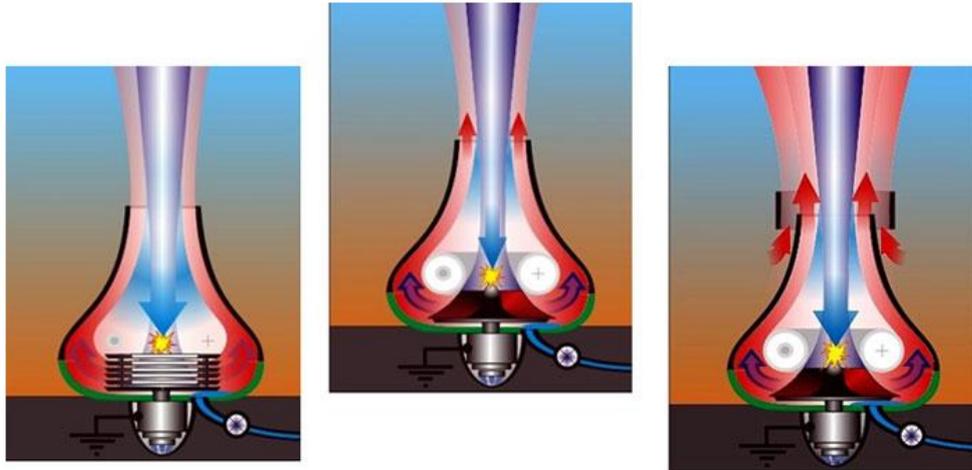


Рис. 1. Генераторы торнадо с центральным нисходящим вакуумным шнуром.

Вихревая труба (рис. 2) представляет собой гладкую цилиндрическую (или коническую) трубу 1, с одного конца которой установлено тангенциальное сопло 2, с выходной улиткой 3, а торец закрыт диафрагмой 4 с центральным отверстием. На другом конце трубы установлен дроссель 5. Сжатый газ подаётся в тангенциальные сопла и образует в трубе интенсивное круговое движение. При достаточном прикрытии дросселя часть подаваемого в трубу газа вытекает через отверстие диафрагмы заметно охлажденной, а вытекающая через дроссель – подогретой.

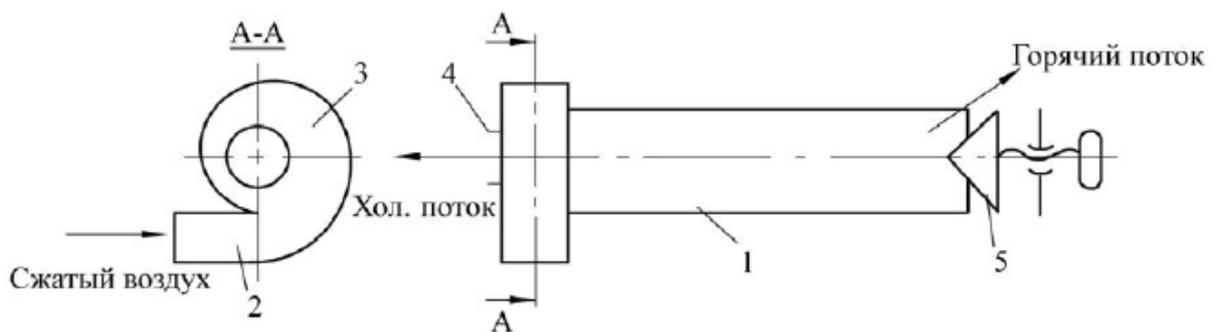


Рис.2 Схема вихревой трубы: 1 – гладкая цилиндрическая труба, 2 – тангенциальное сопло, 3 – входная улитка, 4 – диафрагма, 5 – дроссель.

Гипотеза взаимодействия вихрей А.П. Меркулова позволяет оценить предельные возможности вихревого эффекта в предположении, что в сопловом сечении полностью завершился энергообмен между вихрями.

Используя законы распределения скоростей по радиусу для свободного и вынужденного вихрей, условия механического равновесия газа, изоэнтропного распределения статической температуры по радиусу вынужденного вихря, механической и тепловой сопряжённости вихрей, можно получить выражения для распределения параметров по радиусу соплового сечения, а при заданной геометрии - определить среднеинтегральную температуру холодного и горячего потоков вихревой трубы как функцию от основных параметров ВТ. Для относительной температуры холодного и горячего потоков ВТ эти зависимости таковы:

$$\theta_x = \theta(\pi, \mu, F, d_{\text{ВТ}}); \theta_{\text{Г}} = \theta(\pi, \mu, F, d_{\text{ВТ}})$$

Так как основой энергоразделения в вихревом потоке является необратимый турбулентный перенос, то энергетическая эффективность этого процесса довольно низка и определяется как:

$$\eta = \Delta T_x / \Delta T_S$$

Наибольшие значения адиабатной эффективности ВТ достигают $\eta = 0,23 \dots 0,34$.

Вихревой эффект чрезвычайно широк, а его возможности и перспективы впечатляющи. Так, в некоторых конструкциях термодинамических энергопреобразователей (вихревых холодильниках) температура на оси достигает -200°C при исходной комнатной температуре. Применяя необыкновенные способности вихревого эффекта, уже в данный момент трудятся вихреэнергетические установки для получения: «структурированной воды», композиционного горючего, холодного крекинга углеводородного горючего, вихревые теплогенераторы, опреснители морской воды, вихревые ветроэнергетические установки и т.д.

Ниже представлены конкретные примеры реализации вихревых технологий в области энергетики.

Вихревая ветроэнергетическая установка (ВВЭУ) обеспечивает преобразование низкопотенциальных воздушных потоков (ветра) и термоиндуцированных восходящих потоков в электрическую энергию. Технические параметры ВВЭУ:

- рабочая скорость ветра – от 4-5 м/с;
- "ротатор-генератор" исключает вал и лопастное колесо, нет системы «установка на ветер» (рисунок 2);

- конструкция установки предполагает её модульное исполнение из идентичных функциональных модулей (рисунок 3);

- простейшая автоматика – стабилизации оборотов ротора осуществляется только за счет изменения ширины сопла воздухозаборника установки.



Рис.3 ВВЭУ

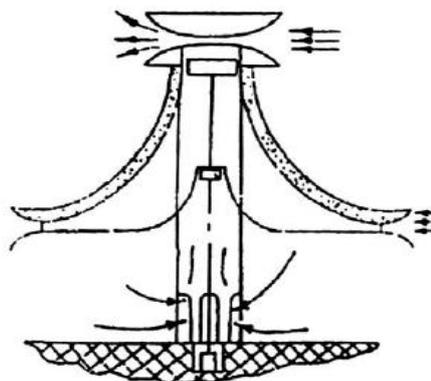


Рис.4 Конструкция установки ВВЭУ

ВВЭУ предназначена для локального обеспечения электроэнергией промышленных и сельскохозяйственных объектов, удаленных от централизованного энергоснабжения

№	ВЭУ	Параметры ветроустановок														
		Технические параметры												Показатели качества срока службы/в прел., м/с	СТОИМОСТЬ, долл. США	Масса, кг
		$N_{\text{ном}}$ кВт	$V_{\text{вет}}$, м/с			$N_{\text{min}}/V_{\text{min}}$ кВт/м/с	Др, м	п лоп	ν об/ мин	$F_{\text{ом}}$	Z	ζ	M			
min	nom		max													
1	Шексна-1	0,5	4	8	30	0,1/4,0	2,8	2	300			0,22	0,056	25/40	2700	175
2	ВЭС-0,5	0,5	3,5	12	30	0,06/5	1,66	3	300	2,2		0,22	0,095	25/40	1000	150
3	LMW-600	0,6	4	12	22	0,05/4	2,2	2	650	3,8	6,23	0,2	0,033	25/60	6283	120
4	УВЭ-500	0,5	5	10	25	0,08/5	2,2	3	300	3,8	3,45	0,21	0,074	25/40	1250	70
5	TORNADO	0,5	3,6	11	25	0,05/5	2,0	2	600	3,14	5,7	0,24	0,042	25/45	3750	120
6	ВЭУ-0,5	0,5		6	40	0,05/3,0	3,6	1	650	10,2	20,4	0,28	0,026	25/50	1500	85
7	ВВЭУ-0,5	0,5		5	60	0,08/3,0	1,7	2	175	2,0	2,0	0,26	0,16	25/70	900	90

Условием работоспособности ветроэнергетической установки является зависимость:

$$P(r, z) + \frac{\rho V_{z(\text{вых})}^2}{2} \geq p_{\text{атм}}$$

при условии, что вся энергия потока с компонентом скорости V_{ϕ} полностью перейдет в полезную работу, а величина $P(r,z)$ – давление за ротором энергетической установки. Если это условие не соблюдается, то часть кинетической энергии закрученного потока следует превращать в давление подтормаживания струи. Очевидно, что ВВЭУ имеет свои границы устойчивой работы, определяемые минимальными значениями $P(r,z)$ и $V_z(r)$.

Статор энергетической установки, являющийся генератором закрученного потока, образован группой симметрично расположенных по окружности каналов, воспроизводящих траекторию движения воздушных струй в природных смерчах, стекающих в центральную осевую зону статора.

Каналы предлагаемой энергетической установки имеют специальный профиль в горизонтальной и вертикальной плоскостях, и в центральную зону поступают струи, "сшивающиеся" в общий смерчеобразный вихревой поток. Поэтому движение в канале рассматривается как безотрывное, ускоряющееся к выходной щели.

По сравнению с другими установками, работающими от энергии ветра (карусельного и крыльчатого типа), ветроэнергетическая установка обладает более высоким КПД и мощностью.

Установка автоматически подстраивается под реальную скорость ветра и обеспечивает преобразование энергии ветра с высокой эффективностью и широким диапазоне ветров.

Особенности Вихряка относительно традиционных ветряков:

- в 1,5-2 раза меньше рабочая скорость ветра и массогабаритные параметры;
- «ротор-генератор» исключает вал, нет системы «установка на ветер»;
- конструкция предполагает её модульное исполнение из идентичных функциональных модулей;
- стабилизация числа оборотов ротора обеспечивается изменением входной площади воздухозаборника;
- коэффициент использования энергии ветра $\xi \approx 0,3$; быстроходность $Z \approx 1,5-2,0$;

Вихревой гидравлический теплогенератор (ВГТ) – прибор, вырабатывающий тепло при помощи конфигурации физико-механических

характеристик жидкостной среды при её течении под комплексным воздействием закрученного ускоренного и заторможенного движения. Ускорение струи достигается путем создания вихря в системах закрутки потока теплогенератора с одновременным сужением потока в конфузоре, а торможение – последующим его расширением в кавитационной трубе теплогенератора и развихрением потока на выходе из его кавитационной трубы. Температура жидкости растет за счет трения о поверхность корпуса и трения слоев жидкости, находящихся на различных радиусах от оси корпуса, но основную роль в подогреве жидкости играет кавитация. За счет кавитации часть воды переходит в упорядоченное, коллоидоподобное, близкое к жидкокристаллическому состоянию, и этот переход сопровождается интенсивным тепловыделением. Основным элементом вихревого гидравлического теплогенератора (ВГТ) является вихревой гидрокавитатор (рис. 5).

ВГТ (рис. 6) состоит из вихревой кавитационной трубы 1, теплопередающего устройства (теплообменник, батареи, калориферы и т.п.) 2, гидронасоса 3, с электроприводом 4 и пульта управления 5.

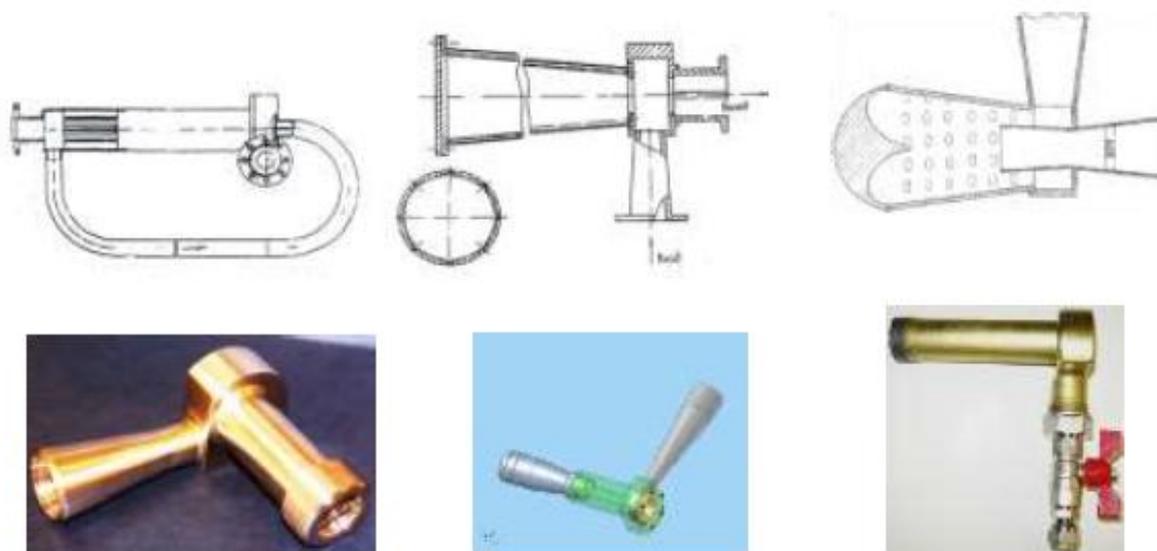


Рис. 5. Вихревой гидрокавитатор – варианты конструкций и конструктивных схем

Вихревой гидравлический теплогенератор перспективно использовать в качестве автономной системы отопления и теплоснабжения в различных областях жизнедеятельности: объекты сельского хозяйства, коттеджные массивы, складские помещения и т.д. ВГТ обеспечивает экологическую чистоту процесса выработки тепла, минимальные потери

тепла при передаче его потребителю и высокую экономическую эффективность.

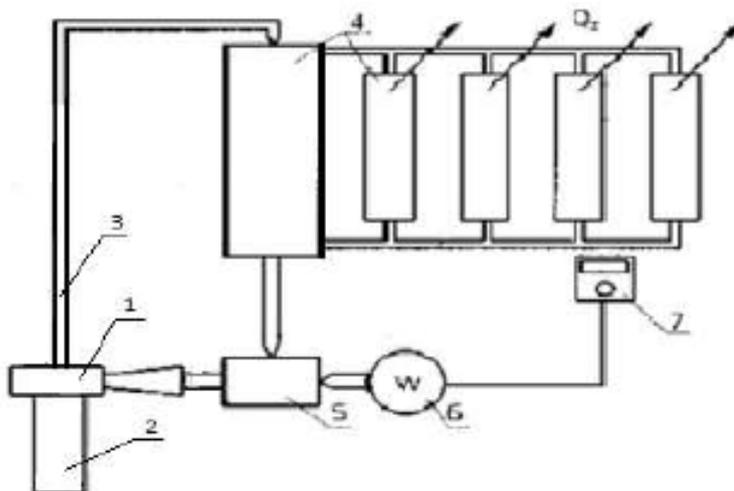


Рис. 6. Схема теплоснабжения на базе вихревого гидравлического теплогенератора (ВГТ)

Особенности вихревых гидравлических теплогенераторов:

- устройство экологически чистое, отсутствует необходимость сжигания углеводородных топлив (уголь, нефть, газ),
- отсутствуют нагревательные элементы,
- электроэнергия используется только для питания привода гидронасоса,
- отсутствует необходимость в водоподготовке,
- могут нагревать жидкость любого происхождения (вода, нефть, газовый конденсат),
- обеспечивают автоматическое поддержание температуры теплоносителя в заданном диапазоне температур,
- экономичны в эксплуатации и обслуживании.

Вихревой вакуумный насос (ВВН). В данном приборе применяется еще одно свойство вихревой трубы – способность создавать в приосевой области закрученного потока зону пониженного давления.

Особенности ВВН:

- способность создавать высокие разрежения в вакуумированных объемах, труднодоступные для нормальных одноступенчатых струйных эжекторов,
- всережимность. (в отличие от струйного эжектора, он не требует изменения геометрической формы сопла и иных составляющих при работе

в широком спектре давлений сжатого газа и степеней увеличения давления вакуумируемой среды).

Величина вакуума в объеме зависит от трёх основных факторов: абсолютного давления $P_{ос}$ на оси вихря в сопловом сечении, относительного радиуса отверстия диафрагмы и полного давления $P_{вх}$ газа перед соплом СВТ. При заданном $P_{вх}$ значение $P_{ос}$ определяется эффективностью раскруточного щелевого диффузора при его совместной работе с ВТ. Схема вихревого вакуум-насоса (ВВН) представлена на рисунке 7.

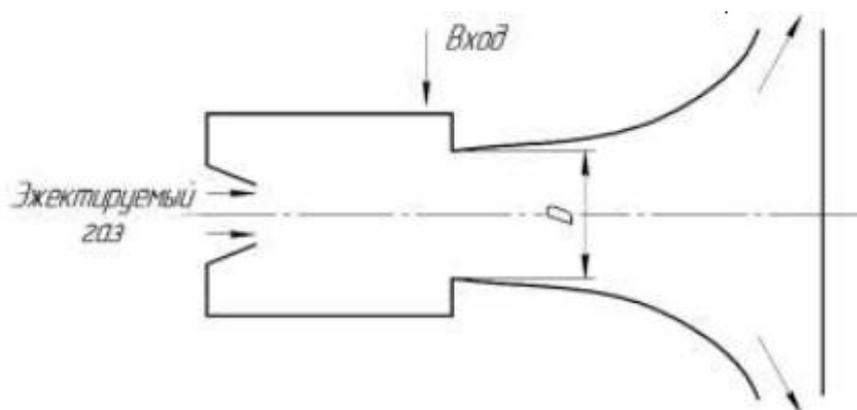


Рис. 7. Схема вакуум-насоса

Технические характеристики ВВН (рис. 8.):

- габарит $D=250\text{мм}$, $L=120\text{мм}$,
- создаваемое разрежение– $0,02/0,1$ Мпа,
- давление сжатого воздуха на входе до $4,0$ Мпа,
- коэффициент эжекции $0,1/0,3$,
- расход сжатого воздуха до $2,0$ куб.м/мин.

В отличие от струйного эжектора, он не требует изменения геометрической формы сопла и других элементов при работе в широком диапазоне давлений сжатого газа и степеней повышения давления вакуумируемой среды.

Основной рабочей деталью насоса является вихревое колесо, посаженное на вал. Вихревое рабочее колесо монтируется в корпусе насоса, имеющем всасывающий и нагнетательный патрубки.

Нагнетательный патрубок отделяется от всасывающего специальной перемычкой, перекрывающей не менее двух лопаток рабочего колеса.

Эта перемычка должна подходить к внешней окружности рабочего колеса с минимальным зазором, отделяя всасывающую полость насоса от напорной.

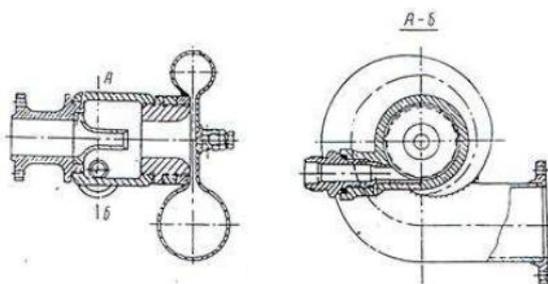


Рис. 8. Вихревой вакуум-насос

Вихревое рабочее колесо представляет собой диск с фрезерованными по окружности пазами, образующими лопатки.

Внутри корпуса вихревого насоса вокруг рабочего колеса расположен отливной канал, идущий по направлению вращения от входного до напорного патрубка.

ВВН может использоваться в качестве воздуходувок. Они широко применяются в качестве тепловых аппаратов для обеспечения подачи требуемого количества тепла или наоборот холодного воздуха.

Воздушный вихревой родник (ВВР) – альтернативная автономная энергонезависимая установка для получения пресной воды из атмосферного воздуха, осуществляет эффективную экстракцию влаги из атмосферного воздуха с помощью «Генератора вихря», ламинаризованного закрученного воздушного потока и под охлаждения этого воздушного потока до «точки росы». Конденсат влаги накапливается в блоке водосборника. Для увеличения эффективности работы установки и интенсивности экстракции пресной воды, конструкция активного экстрактора в «Воздушном роднике» может быть дополнена тепловой трубкой или грунтовым тепловым насосом и альтернативными источниками электроэнергии – вихревой ветроэнергетической установкой (рис. 9) или солнечным фотомодулем мощностью 0,5-1,0 кВт.



Рис. 9. Вихревая ветроэнергетическая установка

На рисунке 10. представлена схема «Воздушного вихревого родника».

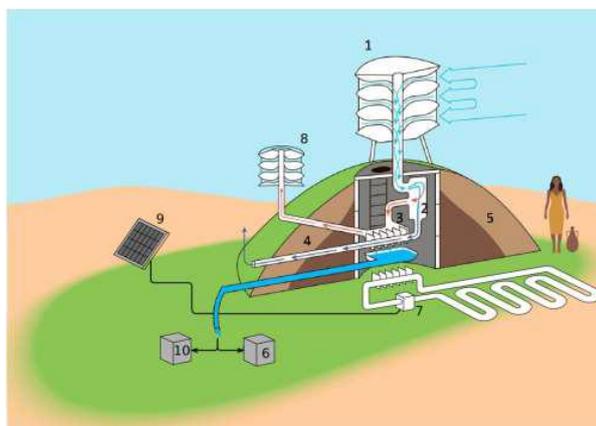


Рис.10. 1– воздушный эжектор; 2 – вихревой охладитель;
3 – теплообменник; 4 – выход отработанного воздуха; 5 – холм
(насыпь); 6 – водоём; 7 – тепловая трубка; 8 – вихревая ветроустановка;
9 – солнечная панель; 10 – к потребителю.

Принцип работы установки основан на конденсации влажного горячего воздуха в холодной среде. Например, именно так на вентиляционных трубах холодных погребов летом оседают капли влаги. По этой же причине у входов в холодные пещеры летом всегда высокая влажность и капли воды на каменном своде.

В верхней части воздушного родника стоит так называемый «завихритель», в который при температуре свыше 25 градусов попадает ветер, закручивается и двигается в охладительный блок. В этом блоке

находятся труба Ранки и охладительные трубы, закопанные на глубину промерзания. На трубе Ранки воздух раскручивается и делится пополам: горячий в одну сторону, холодный – в другую. Горячий воздух, попадая на холодные трубки, выдает воду.

В настоящее время один из опытных масштабных образцов «Воздушного вихревого родника» размещен в Крыму в Ялтинском Ботаническом саду. Его высота – 1,2 м, диаметр – 1,2 м, материал – пластмасса. В течение суток он выдает чуть более 0,5-0,7 м³ чистой холодной воды.

Разработка и промышленное применение вихревых теплоэнергетических устройств, обеспечивающих преобразование энергии в вихревых потоках газообразных и жидких сред, все чаще становятся одним из направлений создания ресурсосберегающих технологических процессов в различных областях производства. Вихревые теплоэнергетические устройства находят практическое применение в качестве циклонов, вихревых охладителей воздуха, горелок, гидравлических теплогенераторов, распылителей, разделителей газовых смесей и др. Многообразие направлений применения закрученного потока и огромное число конструктивных схем устройств, работающих с использованием вихревых потоков, не позволяют унифицировать методику расчета, затрудняют и удорожают поиск оптимальных решений при разработке новых поколений вихревых устройств.

В настоящей работе сделана попытка обобщить и систематизировать результаты исследований и накопленный опыт в области создания новых видов вихревых преобразователей энергии, а также оборудования и технологических процессов с их использованием.

Н. Тесла призывал человечество «подключить свои машины к самому источнику энергии окружающего пространства». Сегодня человечество уже практически подошло к реализации именно этой идеи.

Идеи перспективной альтернативной энергии нужно искать в самой природе. Окружающая нас природа – главный источник знаний человечества.

Земля обладает неисчерпаемым источником низко потенциальной экологически чистой энергии – атмосферой, аккумулирующей тепловую и потенциальную энергию газов, нагреваемых лучистой энергией солнца и сжатых под действием гравитации. Неравномерный нагрев газов, изменяя давление в атмосфере, нарушает её равновесное состояние. При

восстановлении равновесия потенциальная и тепловая энергия воздуха преобразуются в кинетическую энергию воздушных потоков.

Повышение эффективности технологических процессов машиностроения и промышленного теплотехнического оборудования посредством разработки и применения вихревых преобразователей энергии, обеспечивающих интенсификацию процессов тепло- и массопереноса в вихревых потоках газов, жидкостей и двухфазных жидкостно-газовых технологических средах и решающих комплекс технологических задач, является актуальной задачей и имеет важное народнохозяйственное значение.

Литература

1. Меркулов А.П., Вихревой эффект и его применение в технике, М. Машиностроение, 1969.,182 с.
2. Абрамович Г.Н., Прикладная газовая динамика, М. Наука, 1969, с. 825. средств, М. Энергоатомиздат / 2000.
3. Бирюк, В.В. Методика расчёта вихревых установок [Текст] / Бирюк В.В., Серебряков Р.А., Толстоногов А.П. – Самара: НТО, СГАУ, 1992 – 96 с.
4. Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Практическое применение вихревого эффекта, ж. Конверсия, № 10, 1994 г., с.19-20.

Глобоидный червячный редуктор МАИ

Студент гр. 10706119 Бульков Н. Е., Гайшун А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Василенок В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Площадь поверхности скольжения витка червяка по зубу колеса у глобоидного червячного редуктора больше, чем у цилиндрического, а, соответственно, его коэффициент полезного действия ниже.

Пятно контакта в глобоидной передаче является важнейшим показателем, определяющим ее нагрузочную способность и КПД. В производстве пятно контакта может быть проверено установкой элементов передачи – глобоидного червяка и колеса – на специальном приборе (стенде) или установкой их непосредственно на зубофрезерном станке.

При сборке пятно контакта проверяют в корпусе редуктора после монтажа передачи на подшипниковые опоры. Пятно контакта определяют по краске при вращении ведущего червяка и легком торможении колеса. В глобоидной передаче после приработки под нагрузкой пятно контакта определяют по блеску.

В глобоидном зацеплении линии контакта располагаются почти перпендикулярно к направлению скоростей скольжения, что способствует образованию непрерывной масляной пленки на трущихся поверхностях. Благоприятные условия смазки способствуют устранению заедания и позволяют повысить значение контактных напряжений. Изготовление червячных передач с глобоидным червяком значительно сложнее, чем с цилиндрическим. При сборке необходимо обеспечить точное осевое положение не только колеса, но и червяка. Передачи очень чувствительны к износу подшипников и деформациям. Эти недостатки ограничивают применение глобоидных передач.

Пример испытания передач 150-31 и 150-31:5

Объект испытаний. Червячная передача имела $A = 150$ мм, число зубьев колеса $z_2 = 31$, числа заходов червяка $z_1 = 1$ и $z_1 = 5$, модуль $m = 7,5$ мм, относительную толщину червяка $q = 9$, диаметр профильной окружности $d_0 = 80,68$ мм.

Материал червяка – сталь 45 HRC 32+36. Венец колеса из оловянисто-никелевой бронзы Бр ОН10-1. Тип зацепления классический.

Условия испытаний. Передачи были смонтированы в корпусе редуктора, конструкция которого показана на рис. 1. Следует отметить, что в опорах червяка были применены упорные подшипники. В качестве смазки применялось касторовое масло. Для регулирования температуры масла в масляной ванне был дополнительно установлен радиатор с проточной водой.

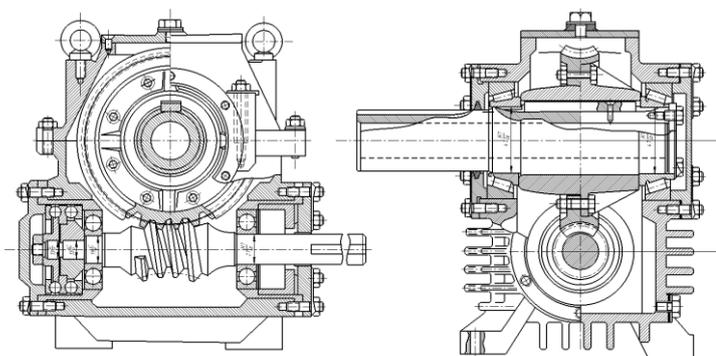


Рис. 1. Глобоидный червячный редуктор МАИ

Контрольные опыты. Для контроля точности полученных высоких результатов была проверена тарировка и точность станда и измерен КПД редуктора $150 = 31:5$ при числе оборотов $n_1 = 750$ об/мин и нагрузке $N_1 = 16$ л.с.

Статическая чувствительность станда выразилась моментом, равным 0,27 % от передаваемого. Измерения плеча момента на червяке (остальные величины оставались постоянными) дали следующий разброс значения КПД: 0,942; 0,934; 0,945; 0,934; 0,945; 0,940; 0,940.

Выводы. Проверенный уровень допускаемой нагрузки редуктора соответствовал уровню глобоидных редукторов фирмы Мичиган Тул по ее расчетным нормативам. КПД для таких же условий также не уступает величинам, получаемым по данным этой фирмы. Тем самым подтверждена принятая геометрия зацепления (классического типа) и весь конструкторско-технологический комплекс, как обеспечивающий необходимый уровень эксплуатационных показателей.

Литература

1. Зак, П.С. Глобоидная передача. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. – 1962, – С. 256.

Глобоидные редукторы заднего моста троллейбуса и привода конвейера

Студент гр. 10706119 Гидревич А.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Василенок В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Одно из самых распространенных применений глобоидного червячного редуктора – это механизмы привода барабана троса пассажирских лифтов. Глобоидная червячная пара прекрасно выдерживает переменную нагрузку при разгоне и торможении лифта, а также обеспечивает реверсивность работы. Особое внимание нужно уделить надежной жесткой фиксации глобоидного червячного редуктора по отношению к сопрягаемым механизмам. Фиксация должна обеспечивать

устойчивое взаимное положение редуктора, привода и окончного механизма.

Глобоидная передача в отличие от цилиндрической, чувствительна к осевому сдвигу червяка. Особенно это замечается при сочетании больших колебаний нагрузки и недостаточной жесткости подшипниковых опор червяка в осевом направлении. Это может быть пояснено примером первой попытки замены цилиндрической червячной передачи заднего моста троллейбуса (рис.1) глобоидным зацеплением. Первый цикл испытаний глобоидных передач проходил двух троллейбусах. Испытания велись на радиально-упорных подшипниках червяка с углом контакта $\beta = 45^\circ$, специально представлявших в то время для троллейбусов, и дали положительные результаты.

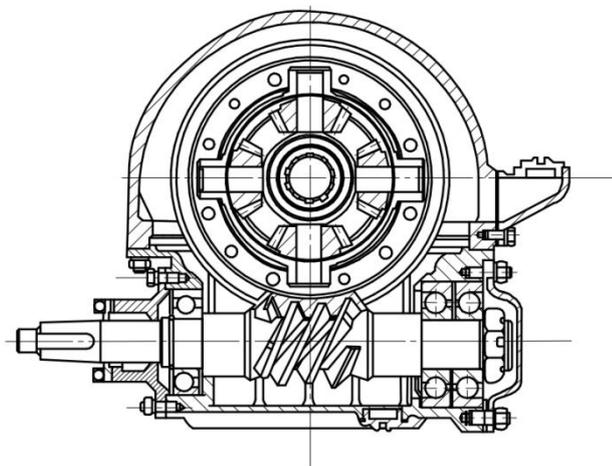


Рис. 1. Глобоидный редуктор заднего моста троллейбуса

Эти передачи были сняты с эксплуатации после 30000-36000 км пробега связи с повреждениями по посторонним причинам, после чего было решено повторить испытания на пяти троллейбусах.

Однако эти передачи работали значительно хуже первых: повышенный износ(в среднем 0,048 мм на каждую 1000 км пробега), заметный шум редуктора под нагрузкой. Этому сопутствовал зарегистрированный при периодических поверках большой свободный ход червяка вдоль оси несмотря на его устранение при каждой проверке; величины смещения червяка многократно превосходили допусковые (+0,05 мм), достигая в отдельных случаях 2,5 мм

При анализе причин было обнаружено, что передачи смонтированы не на специальных радиально-упорных подшипниках, имеющих угол контакта $\beta = 45^\circ$, было предусмотрено согласно расчётам и

проектировочным чертежам редуктора троллейбуса даже для исходного варианта с цилиндрической червячной передачей, а на обычных радиально-упорных подшипниках 46412 с углом контакта $\beta = 26^\circ$. Эти подшипники подвержены большому износу (расчётная долговечность в 5 раз ниже) и имеют значительно меньшую жёсткость в осевом направлении. В результате не было обеспечено нормальных условий работы глобоидной передачи при значительных колебаниях нагрузки с толчками и ударами, возникающими при трогании с места и торможении троллейбуса.

При испытаниях привода конвейера с мощностью 8 кВт выяснилось, что при непрерывной работе в условиях возможной перегрузки двигателя температура масла и корпуса растёт и через 5-6 ч достигает такой величины, что масло теряет несущие свойства, к. п. д. передачи падает и конвейер приходится останавливать. Применение глобоидной передачи в этом конвейере оказалось оправданным при двухступенчатой схеме с отдельным глобоидным редуктором в первой ступени привода. В этом варианте передача имела меньшее передаточное число, больший к. п. д. и лучшие условия охлаждения.

Глобоидную передачу в приводах конвейеров лучше использовать там, где конвейер не является основной частью, не имеет постоянной нагрузки и где, следовательно, пониженный к. п. д. не так заметен, а компактность является решающей.

Примерами удачного применения в таких условиях являются: передача типоразмера 180-38:3 транспортера проходческого комбайна ПКГ-3, работающая при $n_1 = 400$ об/мин с двигателем 9 кВт в тяжёлых условиях (толчки, удары); передача типоразмера 120-33:2 транспортера породопогрузочной машины ППМ-4, применённая в этом узле вместо трехступенчатой передачи.

Литература

1. Зак, П.С. Глобоидная передача. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы – 1962, с. – 256.

Гидроагрегаты

Студент гр. 10602219 Вадейко В.С.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский Национальный Технический Университет

Минск, Беларусь

Гидроагрегат - агрегат, в состав которого входят гидротурбина и гидрогенератор.

Гидроагрегаты делят на горизонтальные осевые и вертикальные. В свою очередь горизонтальные осевые гидроагрегаты подразделяются на прямоточные и погруженные агрегаты. К погруженным гидроагрегатам относятся капсульные и шахтные агрегаты с верховым и низовым расположением генератора.

Гидрогенератор –это электрическая машина, используемая на гидроэлектростанции для выработки электроэнергии.

Обычно гидрогенератор представляет собой синхронную явно полюсную электрическую машину вертикального исполнения, которая приводится во вращение от гидротурбины. Однако существуют также гидрогенераторы горизонтального исполнения, к числу которых относятся капсульные гидрогенераторы).

Конструкция гидрогенератора в основном зависит от параметров гидротурбины, которые в свою очередь определяются природными условиями в районе строительства электростанции: напором и расходом воды. По этой причине каждая отдельная гидроэлектростанция обычно оснащена специально спроектированным для нее гидрогенератором.

В основном гидрогенераторы характеризуются малой частотой вращения ротора (до 500 об/мин) и достаточно большим диаметром (до 20 м), чем в первую очередь определяется вертикальная конструкция большинства гидрогенераторов, так как при горизонтальном исполнении обеспечение необходимой механической прочности и жесткости элементов конструкции гидрогенераторов становится крайне сложным.

Основными компонентами вертикальных гидрогенераторов являются:

- статор;
- ротор;
- верхняя и нижняя крестовины;

- подпятник, представляющий собой упорный подшипник, который воспринимает вертикальную нагрузку от вращающихся частей гидрогенератора и гидротурбины;

- направляющие подшипники.

Вращающиеся части гидроагрегата: вал, рабочее колесо и ротор генератора — имеют единую систему подшипников. Для нормального функционирования должно использоваться два вида подшипников: направляющие, препятствующие только радиальным перемещениям вращающихся частей, и подпятник, воспринимающий осевые нагрузки, которые в вертикальных гидроагрегатах определяются весом вращающихся частей и осевым гидродинамическим воздействием потока на рабочее колесо.

По особенностям конструкции гидрогенераторы подразделяются на подвесные и зонтичные.

У подвесных гидрогенераторов подпятник располагается над ротором в верхней крестовине, у зонтичных — под ротором в нижней крестовине или опирается на крышку турбины. В последнем случае нижняя крестовина у гидрогенератора отсутствует.

На гидроаккумулирующих электростанциях используются обратимые гидрогенераторы, так называемые гидрогенераторы-двигатели. Обратимые генераторы способны как вырабатывать электрическую энергию, так и потреблять ее. От обычных гидрогенераторов их отличает особая конструкция подпятника, которая позволяет ротору вращаться в противоположных направлениях.

Горизонтальные капсульные гидроагрегаты представляют собой часть герметичной капсулы, которая в свою очередь содержит, помимо гидрогенератора, гидротурбину и системы обеспечения. Капсула при этом помещается непосредственно в проточную часть гидроэлектростанции.

На практике применяются различные системы опирания вращающихся частей гидроагрегата.

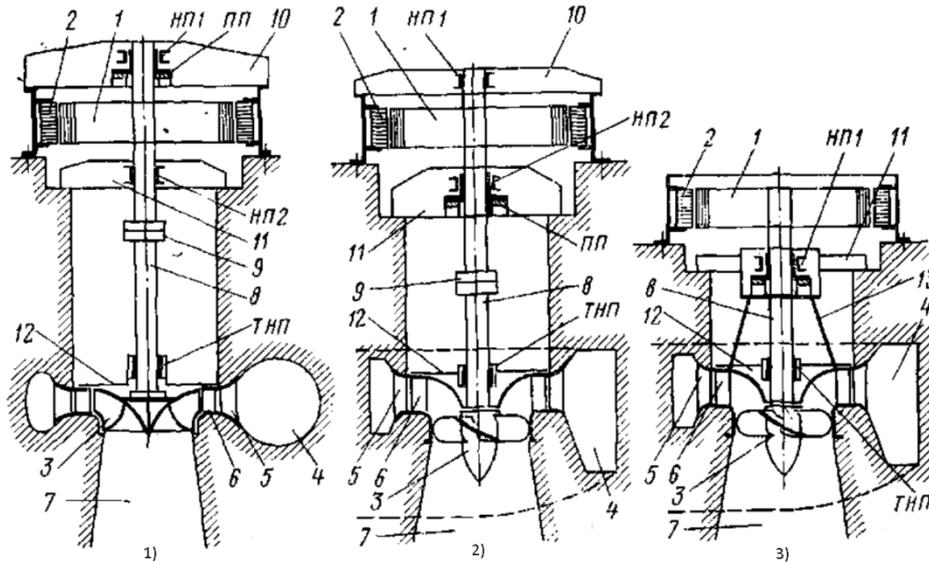


Рис.1 Принципиальные схемы гидроагрегатов

На рис. 1.1 изображена принципиальная схема подвешенного гидроагрегата, в котором подпятник (ПП) и верхний направляющий подшипник (НП1) опираются на мощную верхнюю крестовину (10), передающую нагрузку на корпус статора. Корпус генератора укреплен бетонной конструкцией. Второй направляющий подшипник (НП2) располагается в нижней крестовине (11), крепящейся к бетону. Третий турбинный направляющий подшипник (ТНП), закреплен на крышке турбины (12). На рис. 1.2 и 1.3 показаны принципиальные схемы гидроагрегатов с зонтичными генераторами, в которых подпятник (ПП) расположен под ротором генератора, при этом он опирается на мощную нижнюю крестовину (11) (рис. 1.2) или передает нагрузку на крышку турбины (12) через опорную конструкцию (13) (рис. 1.3).

Основываясь на рассмотренных примерах можно сделать вывод: несмотря на то, что гидроагрегат состоит из двух машин — турбины и генератора, обе эти машины имеют единую систему опор вращающихся частей. Это необходимо учитывать при рассмотрении конструкции турбин.

В погружных или капсульных агрегатах наибольшее распространение получили горизонтальные осевые турбины. Генератор в таких гидроагрегатах располагается в замкнутой стальной капсуле, обтекаемой водой.

На длине всего тракта поток воды имеет минимальные повороты, а также прямоосное движение без поворота в отсасывающей трубе. Последнее свойство особенно важно, поскольку приводит к снижению

гидравлических потерь и увеличению коэффициента полезного действия (КПД) турбины, что наиболее хорошо выражается при больших расходах воды. В результате горизонтальные турбины развивают на 20 – 35% большую мощность, чем вертикальные турбины того же диаметра.

Конструкцию капсульного агрегата рассмотрим на примере гидроагрегата, установленного на Саратовской гидроэлектростанции.

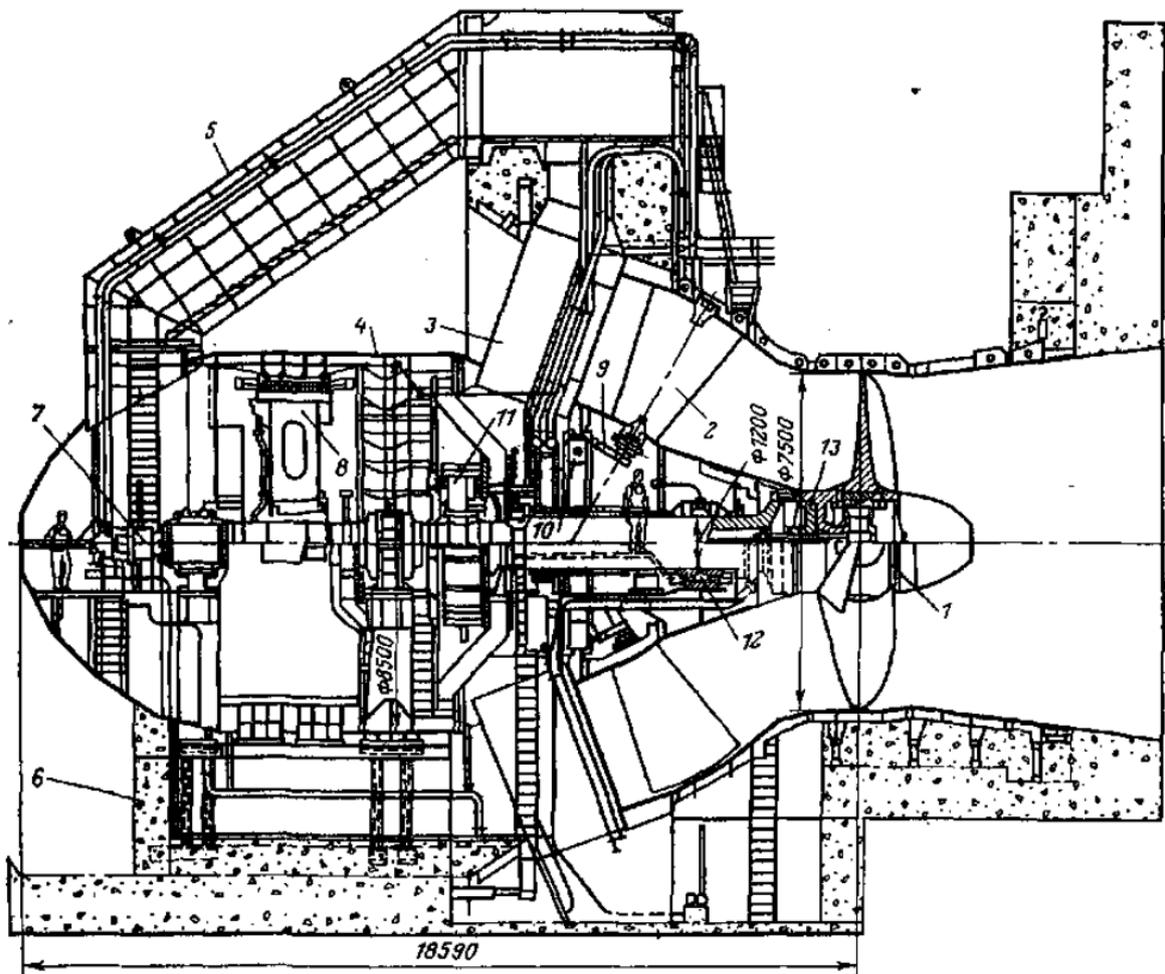


Рис.2 Общий вид капсульного гидроагрегата. Саратовская ГЭС

Основными элементами агрегата являются: рабочее колесо (1), конический направляющий аппарат (2), стальная капсула (4) с коммуникационной шахтой (5). Снизу капсула опирается на бетонную тумбу (6) и раскрепляется в бетон наклонными колоннами (3). Внутри капсулы располагаются генератор (8), опорная конструкция подшипника и подпятника (11), а также вспомогательные устройства. Масло к сервомотору рабочего колеса (13) подается посредством маслоприемника (7).

Отличительной чертой капсульных агрегатов может выступать применение конического направляющего аппарата, открытие лопаток которого определяется углом их установки. Поворот направляющих лопаток осуществляется с помощью рычагов и регулирующего кольца, расположенного внутри капсулы и перемещаемого двумя сервомоторами. Рычаги в свою очередь соединены с регулирующим кольцом посредством серег и шаровых шарниров.

Серьезной проблемой горизонтальных гидроагрегатов является обеспечение надежной работы подшипников, в особенности турбинного подшипника, на который приходится большая радиальная нагрузка. Данная нагрузка вызвана консольным размещением рабочего колеса. По этой причине при проектировании гидроагрегата необходимо по возможности приблизить центр тяжести рабочего колеса к подшипнику.

Также существуют капсульные агрегаты, в которых между валами турбины и генератора устанавливается мультипликатор – устройство, повышающее частоту вращения ротора генератора в 5-10 раз по отношению к турбине. Эта мера позволяет сделать генератор более компактным, что в свою очередь делает возможным уменьшение диаметра капсулы. Однако мультипликатор, представляющий собой шестеренчатую, соосную, планетарную передачу, является весьма сложным и дорогим элементом и используется при сравнительно небольшой мощности. Так, каскад гидроэлектростанций с напорами 4-5 м на р. Мозель (ФРГ) оборудован капсульными агрегатами мощностью по 3,5-4,6 МВт с турбинами диаметром $D = 4,6 - 4,8$ м и мультипликаторами с частотой вращения 87/750-67/750 об/мин. Капсульный агрегат мощностью 400 кВт с турбиной $D = 3,3$ м и мультипликатором установлен также в Мурманской области (РФ) на Кислогубской приливной ПЭС.

Особым видом гидроагрегата с горизонтальной турбиной является так называемый прямоточный агрегат.

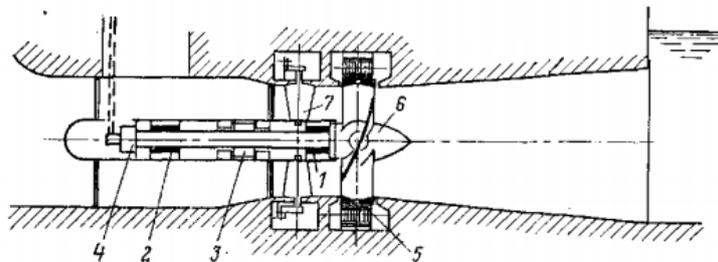


Рис.3 Горизонтальный осевой прямоточный агрегат

В данном виде агрегата в капсуле располагаются только подшипники (1) и (2), подпятник (3) и маслоприемник (4). Ротор генератора (5), насажен непосредственно на концы лопастей рабочего колеса (6) и вместе со статором располагается в кольцевой нише. Направляющий аппарат (7) является осевой. Конструкция прямоточного гидроагрегата получается чрезвычайно компактной. Однако из-за трудности передачи нагрузок от тяжелого ротора через лопасти, а также отсутствия надежной системы уплотнений, которая бы исключала попадание влаги на обмотки, применение прямоточных агрегатов довольно сложно.

Прямоточный лопастной гидроагрегат позволяет получать электроэнергию при прохождении рабочего потока через полый ротор генератора с закрепленными внутри лопастями. Количество, форма и крепление лопастей зависят от размера и назначения гидроагрегата, а также его мощности и напора воды.

Ротор вращается в подшипниковых узлах статора, его концы соединены с входным трубопроводом и отсасывающей трубой через муфты с подшипниками и сальниками, предотвращающими протечки. Осевое усилие потока на лопасти ротора компенсируется опорным подшипником, который закрепляется на выходном конце ротора в основании гидроагрегата. Площади сечения ротора и водоводов совпадают. Рабочий поток проходит прямо по тракту без изменения направления, ламинарно, что позволяет при одинаковых размерах получать большую мощность и предотвращать возникновение кавитации, ведущей к губчатому разрушению проточной части турбин.

Вес гидроагрегата значительно меньше веса других моделей, имеющих направляющий аппарат, турбину, генератор и вал с опорным подшипником. Ротор с жестко закрепленными внутри лопастями вращается в двух подшипниковых узлах генератора, что повышает виброустойчивость всей конструкции по сравнению с турбинами, закрепленными на одном конце рабочего вала гидрогенератора.

Таким образом гидроагрегат прямоточный лопастной относится к области гидромашиностроения и может быть использован для малых и средних ГЭС. По конструкции агрегат представляет собой электрогенератор с полым ротором, внутри которого под углом к оси вращения закреплены лопатки. Относительно малый вес и компактность данного типа агрегата делает его использование перспективным, при условии устранения существующих недостатков конструкции.

Одной из разновидностей турбин, входящих в состав вертикального гидроагрегата, является поворотно-лопастная гидротурбин. Использование поворотно-лопастных вертикальных гидротурбин, так называемых турбин Каплана, по объемам приходится на второе место в мировой практике после радиально-осевых гидротурбин. В этих турбинах лопасти выполняются поворотными, благодаря чему в зависимости от условий работы, а именно открытия и напора, угол их установки может меняться. Это позволяет получить более высокие энергетические показатели. Турбины такого типа установлены на каскаде Днепровских (Каховская, Днепродзержинская, Кременчугская), Волжских (Рыбинская, Горьковская, Волжская, Саратовская) и других гидроэлектростанций.

Наиболее мощными поворотно-лопастными турбинами оснащены ГЭС Сальто Гранде (Аргентина–Уругвай) – 138 МВт, Шамхорская ГЭС (Азербайджан) – 195 МВт, Шульбинская ГЭС (Казахстан) – 230 МВт, Днестровская ГЭС-1 (Украина) – 120 МВт. Турбинами производства ОАО «Силовые машины – ЛМЗ» оснащены Волгоградская и Волжская ГЭС – 115 МВт (РФ), Саратовская ГЭС – 60 МВт при расчетном напоре 9,7 м с самыми крупными турбинами, имеющими диаметр рабочего колеса 10,3 м (РФ).

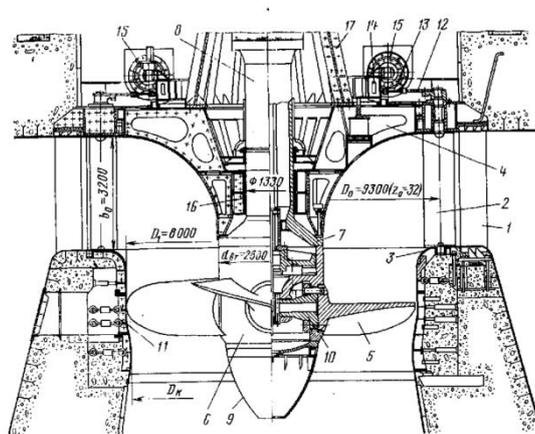


Рис.4 Разрез по поворотно-лопастной турбине Кременчугской ГЭС:
 1 – колонны статора; 2 – направляющие лопатки; 3 – нижнее кольцо; 4 – крышка турбины; 5 – лопасти рабочего колеса; 6 – корпус рабочего колеса; 7 – фланец вала; 8 – вал; 9 – обтекатель рабочего колеса; 10 – камера рабочего колеса; 11 – выдвижной сегмент; 12 – рычаг направляющей лопатки; 13 – серьга; 14 – регулирующее кольцо; 15 – сервомоторы; 16 – подшипник; 17 – опорная конструкция подпятника генератора.

Конструкцию вертикальной поворотной-лопастной турбины рассмотрим на примере турбины Кременчугской ГЭС (рис. 4). Диапазон напоров данной гидроэлектростанции составляет 9,6–16,9 м, мощность 58 МВт, диаметр рабочего колеса $D = 8,0$ м.

Подводящая часть турбины данного агрегата состоит из турбинной камеры, статора и направляющего аппарата. Статор турбины представляет собой ряд колонн (1) с вытянутой удобообтекаемой формой поперечного сечения. Главной функцией статора является принятие нагрузок, действующих между верхним и нижним железобетонными конусами турбинной камеры, которые вызываются весом конструкций и оборудования, а также давлением воды.

Колонны статора могут крепиться посредством анкеров в железобетон по отдельности или с целью большей жесткости и прочности объединяться стальными кольцевыми верхним и нижним поясами. Отдельные колонны применяются при сравнительно малых напорах и больших диаметрах, статор с поясами в свою очередь применяется при более высоких напорах. Обязательным условием использования поясов является изготовление турбинной камеры из стали или наличие у камеры стальной облицовки. Угол установки и профиль сечения колонн статора выбираются таким образом, чтобы потери при их обтекании потоком воды были минимальными. Исходя из этого условия в бетонных турбинных камерах в зоне фронтального подвода потока сечения искривлены больше, чем в зоне спирали. Одна статорная колонна, замыкающая спираль, так называемый зуб спирали, делается фасонной.

Направляющий аппарат представляет собой систему из направляющих лопаток (2), укрепленных в нижнем кольце (3) и в крышке турбины (4) с помощью осей (цапф), что делает возможным их поворот в пространстве.

Направляющий аппарат создает необходимое направление потока перед рабочим колесом. Также функцией этого аппарата является регулирование или же изменение пропускаемого турбиной расхода и развиваемой мощности. Это достижимо при повороте всех направляющих лопаток, т. е. при изменении открытия турбины, которое в общем случае определяется как минимальное расстояние между двумя смежными лопатками. В положении полного закрытия доступ воды к турбине перекрывается за счет смыкания концов лопаток.

Очередной разновидностью турбины, нашедшей применение на гидроэлектростанциях с вертикальным типом агрегата, является радиально-осевая турбина. Устройство и конструкцию радиально-осевых турбин, другое название которых – «турбины Френсиса», можно рассмотреть на примере турбины Саяно-Шушенской ГЭС.

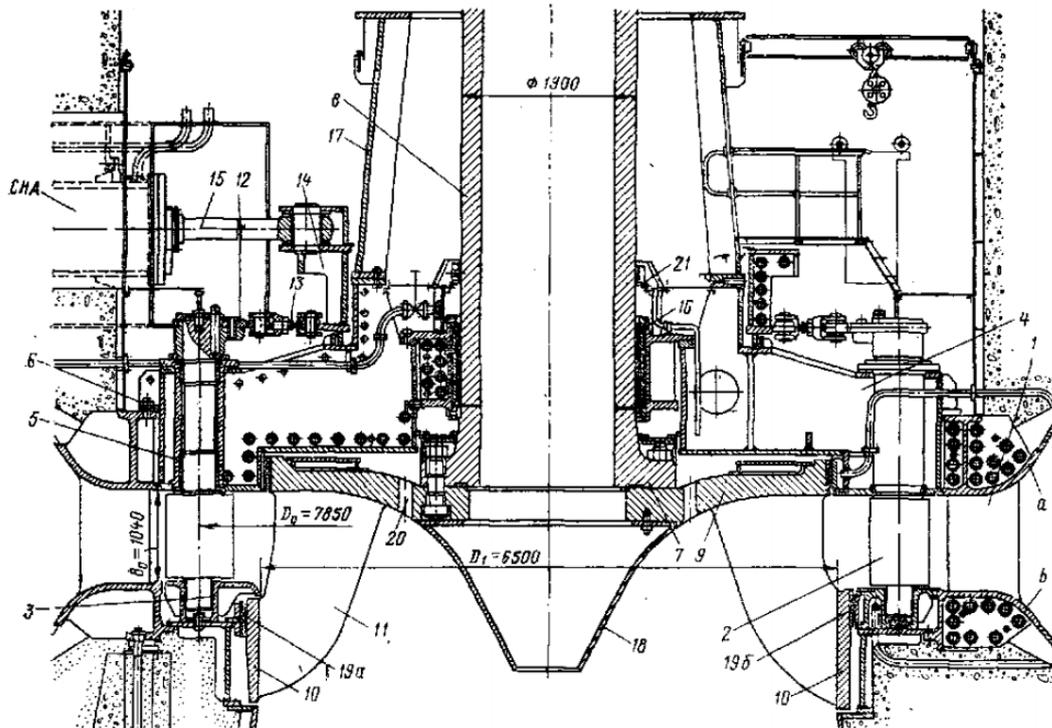


Рис. 5 Радиально-осевая турбина Саяно-Шушенской ГЭС

1 — колонны статора; а, б — верхний и нижний пояса статора; 2 — направляющие лопатки; 3 — нижнее кольцо направляющего аппарата; 4 — крышка турбины; 5 — стаканы опор верхней цапфы направляющих лопаток; 6 — крепление крышки к верхнему поясу статора; 7 — фланец вала; 8 — вал; 9, 10 — верхний и нижний ободы рабочего колеса; Л — лопасти рабочего колеса; 12 — рычаги; 13 — серьги; 14 — регулирующее кольцо; 15 — тяга сервомотора; 16 — подшипник; 17 — опора подпятника; 18 — обтекатель; 19(а), 19(б) — уплотнения обода рабочего колеса; 20 — разгрузочные отверстия; 21 — уплотнение камеры подшипника.

Параметры данной турбины: напоры 175—220 м, расчетная мощность – 650 МВт, при напоре 206 м и выше – 710 МВт, диаметр рабочего колеса $D = 6,5$ м, частота вращения $n = 136,4$ об/мин.

Подводящая часть радиально-осевой турбины имеет такую же конструкцию, как у других реактивных турбин. Она состоит из турбинной спиральной камеры со стальной облицовкой, колонн статора (1) с

мощными верхним и нижним стальными поясами (а), (б), к которым приварена облицовка турбинной спиральной камеры, и из направляющих лопаток (2), которые образуют направляющий аппарат турбины. В данном случае число направляющих лопаток – 24. Цапфы направляющих лопаток имеют опоры с втулками в кольце (3), которое в свою очередь укреплено на нижнем поясе статора (б), и в стаканах (5), укрепленных в крышке турбины (4). Крышка турбины крепится болтами (б) к верхнему поясу статора.

Включая зуб спиральной камеры, число колонн статора данной турбины равно числу направляющих лопаток и составляет – 24. Однако зачастую число колонн статора в 2 раза меньше.

Механизм привода и поворота лопаток направляющего аппарата состоит из рычагов (12), которые насаживаются на верхний конец цапф направляющих лопаток, серег (13) и регулирующего кольца (14). Изменение открытия направляющего аппарата осуществляется поворотом регулирующего кольца (14), который осуществляют два сервомотора (СНА), штоки которых (15) соединены с регулирующим кольцом.

Уплотнение направляющего аппарата обеспечивает минимум протечек при полном закрытии. Это достигается сокращением торцевых зазоров, плотным прилеганием лопаток, использованием резиновых или обработанных металлических уплотняющих прокладок, изготовленных из нержавеющей стали. При высоких напорах с целью уплотнения устанавливаются специальные резиновые трубчатые уплотнители, способные полностью перекрывать торцевые зазоры путем нагнетания в их полости сжатого воздуха.

Рабочее колесо (рис. 5) состоит из верхнего (9) и нижнего обода (10), лопастей (11). Пройдя направляющий аппарат, вода попадает на рабочее колесо турбины. Число лопастей рабочего колеса равно шестнадцати. В других турбинах данного вида оно составляет 14—19. Лопасти и составляют единую жесткую конструкцию. Верхним ободом рабочее колесо крепится к нижнему фланцу (7) вала (8), который в данном случае представляет собой толстостенную трубу наружным диаметром 1,9 м. К верхнему ободу крепится обтекатель (18), предназначенный для устранения вихревой зоны в потоке.

Особенностью радиально-осевой турбины является то, что она имеет существенное отличие по форме и конструкции рабочего колеса от осевых и диагональных поворотно-лопастных турбин: в частности, у радиально-

осевой турбины лопасти закреплены жестко и не могут изменять угол установки.

Как уже отмечалось, за характерный диаметр рабочего колеса, как и самой радиально-осевой турбины D_1 принимается наибольший диаметр по входным кромкам рабочих лопастей. В данном случае на рис. 2 $D_1 = 6,5$ м.

При работе турбины в потоке перед рабочим колесом создается высокое давление, а за колесом низкое, в следствие чего часто возникает вакуум. Таким образом, при работе турбины часть воды может бесполезно протекать через зазоры между вращающимися и неподвижными элементами, что будет снижать ее КПД. С целью уменьшения протечек предусматриваются уплотнения рабочего колеса. На рис. 5 видны установленные на нижнем ободе щелевые уплотнения (19а) и (19б). На схеме представлены два различных варианта конструкции нижнего обода рабочего колеса и его уплотнения справа и слева соответственно. Работа уплотнений основывается на создании малого зазора между вращающейся и неподвижной деталями (1,5-2,5 мм). Иногда с целью повышения коэффициента сопротивления создаются также уширенные канавки (19а). При очень высоких напорах применяют лабиринтное уплотнение.

Уплотнения на верхнем ободе рабочего колеса необходимы при наличии разгрузочных отверстий. Эти отверстия, сообщая полость над верхним ободом рабочего колеса с областью пониженного давления под колесом, снижают гидродинамические нагрузки, которые создают осевые усилия, воспринимаемые в свою очередь подпятником. Рабочее колесо радиально-осевой турбины является цельным, неразъемным.

Крышка турбины (4) представляет собой мощную сварную конструкцию, способную воспринимать большие нагрузки от направляющих лопаток и регулирующего кольца, от давления воды, а также от опоры подпятника (17). На крышке крепится направляющий подшипник турбины (16) и устройства уплотнения (21).

В зависимости от природных условий места расположения гидроэлектростанций более выгодным становится использование того или иного типа гидроагрегата. В свою очередь каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Так, горизонтальный осевой прямоточный гидроагрегат обладает относительно простой комплектацией и небольшим весом всей конструкции. Однако данный тип агрегата является наиболее уязвимым для разрушения, в силу высоких радиальных нагрузок, из-за чего может

использоваться лишь при небольших напорах. Использование горизонтальных гидроагрегатов позволяет повысить КПД гидроэлектростанции, однако сложность обеспечения необходимой прочности и жесткости их элементов делает их менее выгодными по сравнению с гидроагрегатами вертикального исполнения.

Таким образом выбор гидроагрегата определяется набором факторов, обусловленных в основном природными особенностями местоположения гидроэлектростанции. Крупнейшие же гидроэлектростанции Беларуси низконапорные и оснащены горизонтальными капсульными гидроагрегатами (Витебская ГЭС) и агрегатами с горизонтальными поворотно-лопастными турбинами.

Литература

1. Гидроагрегат прямоточный лопастной [Информационный ресурс], Режим доступа: <https://poleznayamodel.ru/model/15/154299.html>, Дата доступа: 22.02.2021
2. Гидравлические машины: Турбины и насосы: учеб. для вузов. — М.: Энергия, 1978. — 320. ил.
3. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ГЭС [Информационный ресурс], Режим доступа: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/gidravlichesкое-oborudovanie-ges-i-ego-montazh-4.html>, Дата доступа: 20.02.2021
4. Радиально-осевая турбина [Информационный ресурс], Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/>, Дата доступа: 22.02.2021
5. Список гидроэлектростанций Белоруссии [Информационный ресурс], Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>, Дата доступа: 24.02.2021.

Приливные электростанции

Студент гр. 10602119 Бандюкевич А.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Николаенко В.Л.

Белорусский Национальный Технический Университет

Минск, Беларусь

Резкое наращивание цен на топливные ресурсы, проблемы, связанные с его получением, и его истощение – все эти видимые симптомы энергетического упадка вызывали в последнее время сильный

интерес к альтернативным энергетическим источникам. В это число входит и энергия Мирового океана.

Не для кого не секрет, что энергетические запасы Мирового океана огромны. Моря и океаны покрывают около 360 млн. кв. км поверхности земли. Впрочем пока что человечество может применить только малую часть колоссальных запасов энергии ценой огромного капитала, который окупится не скоро. Вследствие, этот вид энергетики являлся малоперспективным.

Энергия океана уже несколько десятилетий привлекает внимание человечества. Первые промышленные установки начинали действовать с середины 80-х годов. Проводились разработки по главным направлениям: использование энергии прибоя, приливов, волн, разности температур воды, течений и т.д.

Приливная электрическая станция – это специализированный вид гидроэлектростанции, которая пользуется энергией приливов для выработки электроэнергии. Длительное время учёные думали о том, как возникают отливы и приливы. В настоящее время данное явление не является секретом, и в полной мере объясняется влиянием гравитационных сил космических тел в частности луны. Приливы и отливы в морях и океанах происходят из-за гравитационной силы луны. Первая электрическая станция, использовавшая энергию приливов и отливов, была построена в 1913 году возле Ливерпуля.

Экспериментально доказано, что для более эффективной работы электрической станции нужно, чтобы разница между отливом и приливом была более 4-х метров. Исходя из этого, морское побережье с береговым рельефом и с большой амплитудой приливов является наиболее пригодным местом для создания приливной ЭС. В настоящее время электростанции могут иметь конструкцию, позволяющую вырабатывать электроэнергию во время отлива и прилива.

Виды приливных ЭС:

- Приливные лагуны
- Генераторы приливного потока
- Динамическая приливная электростанция
- Приливные плотины

Приливные плотины используют потенциальную энергию при разности высот воды в период приливов и отливов. При приливе плотины захватывают водные массы и удерживают их. С наступлением отлива, вода

возвращается в океан, тем самым вращая турбины генераторов, заставляя их вырабатывать электроэнергию.

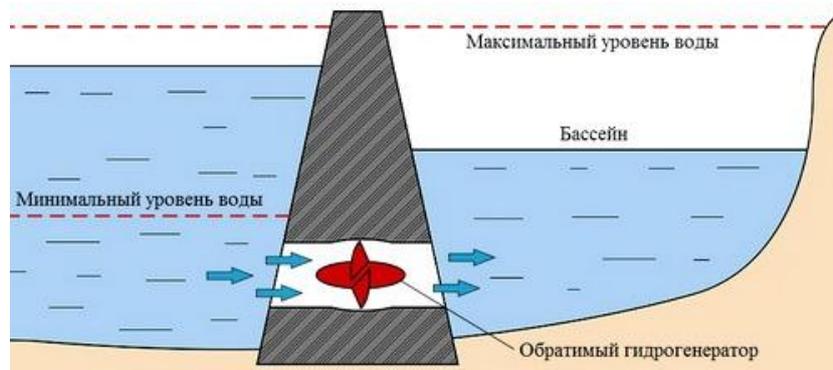


Рис. 1. Приливные плотины

По своей конструкции ПЭС бывает плотинной и бесплотинной. Плотинные ЭС по устройству напоминают гидроэлектростанции. Плотинные электростанции предполагают отгораживание плотиной некоторого морского участка. В конструкции плотины турбины ставятся в предусмотренные протоки. Иногда плотина перекрывает существующее устье реки или залив. В отличие от ГЭС, тут устанавливаются обратимые гидрогенераторы. Это установки, необходимые для выработки электричества при прямом и обратном движении воды. В бесплотинных электростанциях предусмотрена установка гидроагрегатов на дне морского пролива. Такие ЭС экономичны в возведении, однако маломощные и их не везде возможно установить.

Наиболее пригодным местом для сооружения ПЭС является неширокий морской пролив так, как существует возможность отсечения его плотиной от океана. В плотине предусмотрены отверстия, где устанавливаются гидравлические турбины с генераторами. Эти элементы могут работать как насосные установки, что позволяет заполнить бассейн при приливе и сбросить воду при отливе, пропуская ее через турбины и вырабатывая электроэнергию.

С приливом вода вращает колеса капсульных устройств, приводя генераторы в движение, которые в свою очередь производят электроэнергию. При отливе вода вращает колеса в обратную сторону, воздействуя на генераторы, которые так же производят электроэнергию. Рабочий агрегат функционирует при вращении колеса в любые стороны.

Иногда капсульные устройства работают как насосы, откачивая воду в море для увеличения разницы уровней воды.

При отсутствии приливов и отливов электроэнергия не вырабатывается и возникают перебои с подачей электричества. Для решения этой проблемы, приливная ЭС работает совместно с иными ЭС, что способствует перераспределению нагрузки и экономии топлива.

Одним из типов генераторов, наиболее используемых на ПЭС являются капсульные.

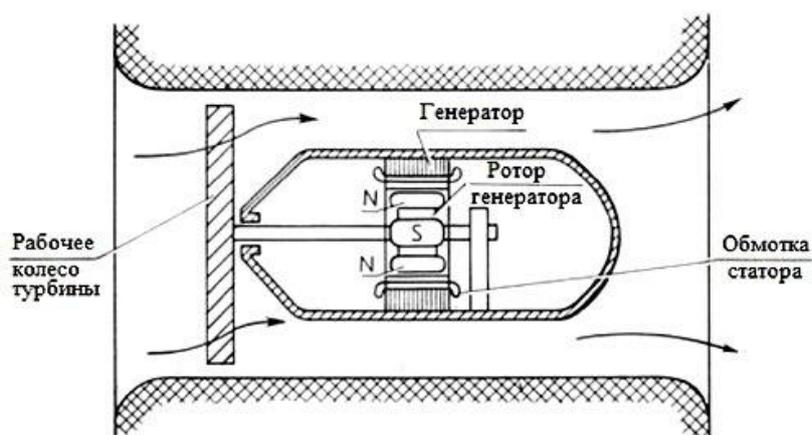


Рис. 2. Капсульный тип агрегата

Внутри капсульного агрегата находится герметичная капсула с генератором, которая чаще всего располагается около верхнего бьефа. Из-за этого возникают лучшие гидравлические условия. Сама капсула прикрепляется через статорную колонну к железобетонному бычку. Через статорную колонну подается масло и проходят шинопроводы. Вода направляется на рабочее колесо агрегата из направляющей трубы. Рабочее колесо начинает движение под действием водных масс.

Колесо сделано из втулки, которая насажена на вал. На втулке имеются металлические лопасти (4-8 штук), изогнутые некоторым образом. Втулка с лопатками заставляет вал вращаться, в свою очередь этот вал с валом генератора. Основной частью гидрогенератора является статор, сделанный из стальных листов. В канавках статора находится расположена медная обмотка. Ротор представляет собой барабан, насаженный на вал и расположенный внутри статора. На роторе имеются мощные электромагниты. Благодаря действию вращательного движения и электромагнитов в обмотке образуется переменный ток.

При прохождении рабочего колеса водная масса направляется во всасывающую трубу, где создано пониженное давление для повышения мощности турбины.

Энергия приливов и отливов вполне может обеспечить около 3.5% генерации электроэнергии в мире. Для достижения данного процента необходимо построить колоссальное количество ПЭС по всему миру с совокупной мощностью 150 ГВт, что является практически невыполнимым так, как требует больших вложений и с трудом сможет окупиться через долгий промежуток времени.

Преимущества приливных ЭС:

- возобновляемость;
- неизменность в месячном периоде в срок эксплуатации;
- ПЭС не загрязняют окружающую среду (в отличие от ТЭС). Предотвращает выброс около 18 млн. тонн углекислого газа. Наплавное строительство позволяет не создавать крупные стройбазы. Так же исключен выброс золы, радиоактивных и тепловых отходов и т.д.;

- ПЭС не затапливают земель (в отличие от ГЭС);

- не представляют радиационной опасности (в отличие от АЭС);

- вложения на строительство ПЭС не превышают затрат на ГЭС;

- рыба пропускается через ПЭС беспрепятственно;

- в бассейне исчезают торосы и предпосылки к их образованию;

- независимость от водности года и наличия топлива.

Недостатки приливных ЭС:

- Нерегулярность работы;

- Продолжительность активного периода составляет всего 4-5 ч. На протяжении дня бывает 4 цикла, состоящих из активной и пассивной части (1-2 ч);

- Длительная окупаемость строительства из-за недостаточной эффективности;

- Сложности возведения сооружения, которые связаны с тем, что оптимальные места для ПЭС находятся у изрезанных берегов.

Стоимость энергии на ПЭС самая низкая в энергосистеме по сравнению со стоимостью энергии на всех других типах ЭС.

До сих пор для многих приливные ЭС – это экзотика, что может стимулировать развитие туризма в регионах, где они строятся. Стимулом для развития отрасли остается легкость расчета периодичности приливов и

отливов. Как раз предсказуемость работы ПЭС делает их одним из самых перспективных источников альтернативной энергии.

Литература

1. Приливная электростанция. Виды и устройство. Работа и особенности [Информационный ресурс] / Режим доступа: <https://10i5.ru/raznoe/prilivnye-stancii.html>, Дата доступа: 24.02.2021
2. Приливные электростанции [Информационный ресурс] / Режим доступа: <https://ppt-online.org/800366>, Дата доступа: 24.02.2021

Колесно-шагающий движитель тягово-транспортных средств

Студенты гр. 115011-18 Позняк С.И., Шафранский В.С.

Научные руководители – д.т.н., профессор Скойбеда А.Т.,
ст. преподаватель Комяк И.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Опыт, накопленный в БПИ – БНТУ в процессе разработки и исследования шагающего движителя для перспективной самоходной сельскохозяйственной техники, позволил предложить, а затем и реализовать схему шагающего движителя, в которой перенос отработавших опорных башмаков осуществлен с помощью сложно-вращательного движения двух взаимно перпендикулярных ног, складывающегося из плоскопараллельного движения каждой ноги на двух кривошипных относительно ступицы и вращения вместе со ступицей. Башмаки, закрепленные на обоих концах каждой ноги, имеют цилиндрическую форму опорной поверхности, благодаря чему они, участвуя во вращении вместе со ступицей, перекатываются по грунту в процессе контакта с ним. Таким образом, в работе движителя органически сочетается принцип шагания (поочередный перенос башмаков вперед с отрывом их от опорной поверхности грунта) с принципом качения (прокат на каждом башмаке в процессе его контакта с опорой). Именно поэтому, а также вследствие вращательного характера движений переноса башмаков многократно повышена скорость движения (до 30 км/ч), а также снижены виброактивность и инерционные нагрузки движителя. Кроме того, благодаря вращательному движению привода, предложенный движитель может быть установлен взамен обычных колес на серийно выпускаемых

машинах без существенных их переделок. Демонтируются только колесные редукторы, функции которых выполняют сами механизмы шагающих колес.

Указанное выше движение ног осуществлено с помощью размещенного в ступице планетарного зубчатого механизма, с сателлитами которого связаны параллельные кривошипы, образующие вместе с установленными на них ногами и ступицей два шарнирных параллелограмма.

Для данной схемы шагающего колеса была произведена оптимизация геометрических параметров звеньев с целью сведения к минимуму вертикальных колебаний оси колеса при шагании, в результате чего амплитуда этих колебаний не превышает 0,8 % от расстояния между осью и опорной поверхностью грунта. Были также найдены устройства, устраняющие колебания линейной скорости оси движителя в процессе шага, такие, например, как кривошипно-кулисная муфта, встраиваемая в привод солнечного колеса, торсион и др.

Зубчатый планетарный механизм, задающий требуемое движение ног, одновременно может выполнять функции обычного бортового редуктора машины (конечной передачи), увеличивая в 4 раза подводимый к нему крутящий момент. В конструкции движителя отсутствуют поступательные пары трения, герметичная ступица снабжена внутри масляной ванной и выполняет функции корпуса и водила планетарного механизма, а все опоры движителя имеют подшипники качения, поэтому КПД привода шагающего колеса практически не отличается от КПД однорядного планетарного редуктора (97 %) и шагающее колесо, подобно обычному, может работать как в ведущем, так и в ведомом режиме; схема движителя статически и динамически уравновешена без использования противовесов.

Были проработаны также различные варианты планетарного механизма как с редукцией вращения приводного вала, так и без нее. В конструкции движителя предусмотрена возможность увеличения длины ног путем раздвижения башмаков, что обеспечивает значительное (до 40 %) увеличение шага и расстояния между осью вращения и опорной поверхностью грунта, т.е. «радиуса» колеса. Благодаря этому можно изменять наклон корпуса машины, увеличивать ее клиренс, а также бесступенчато регулировать скорость движения (если изменение длинны ног гидрофицировать и управлять им из кабины водителя). Итак, для

начала рассмотрим колею обычного колеса (рис. 1). Под действием нагрузки на колесе почва и само колесо при движении деформируются, образуя колею глубиной h , на что затрачивается часть энергии двигателя. Длина колеи равна длине пути. Даже в случае применения широкопрофильных шин и пневмокатков объем деформированного слоя не изменяется, т.к. при уменьшении глубины увеличивается ширина колеи. После прохождения шагающего колеса сплошной колеи не образуется, на поверхностном слое почвы остаются лишь следы, общая длина которых значительно меньше длины пути агрегата. Однако, при определенных параметрах движения, отдельные следы имеют повышенную глубину из-за того, что в момент шага и переноса башмаков вся нагрузка передается на опорный башмак. Этого недостатка лишено шагающее колесо, оснащенное резино-тросовой гусеницей. В данном случае колея имеет сложную форму: неглубокий непрерывный след + отдельные следы в момент переноса веса машины на один башмак. В случае применения шагающего гусеничного хода существенно увеличивается проходимость агрегата, оборудованного такими движителями. Однако при этом уменьшается высота преодолеваемых одиночных препятствий (валунов, бревен и др.). Применение такого варианта шагающего движителя возможно на рыхлых и сильно заболоченных почвах, по которым обычное шагающее колесо, оборудованное пневмобашмаками, не имеет возможности передвигаться. В сравнении с обычной гусеничной схемой, шагающее колесо, оснащенное резиNOTросовой гусеницей, имеет свои преимущества. Например, исключается повреждение верхнего слоя почвы во время весенней распутицы в условиях северного климата. Известно, что после прохождения по оттаявшей почве гусеничного вездехода, через некоторое время колея превращается в сплошной след-болото, в который стекаются окружающие поверхностные воды.

Это происходит из-за того, что гусеница прорезает верхний, податливый слой и опирается на твердую мерзлоту.

При изготовлении колесно-шагающего движителя используется традиционная автотракторная технология, а его стоимость незначительно превышает стоимость заменяемого комплекта «круглое колесо с балластным грузом + редуктор».

Для эффективного проектирования кинематики колесно-шагающего механизма была разработана его трехмерная компьютерная модель, где смоделированы следующие ситуации работы колеса: движение по твердой

опорной поверхности; движение по опорной поверхности с низкой несущей способностью; преодоление ступенчатых преград (лестничных маршей; высота ступеней выбирается произвольно, но возможно задание и строго определенной величины); преодоление линейно-расположенных дискретных преград (сооружений и конструкций с периодической структурой); преодоление хаотично расположенных дискретных преград (обломков, строительных сооружений, пней, бревен).

В процессе исследований определялись: характер следов движителя (модель позволяет визуально оценить расстояние между следами, их длину и др.); траектории движения крайних точек башмаков; влияние геометрии башмаков на вертикальные колебания оси движителя и др.

Результаты компьютерного моделирования подтвердили теоретические расчеты в отношении кинематики привода, его энергетических показателей, способности преодолевать препятствия.

Транспортные средства с разработанными движителями могут использоваться как в сельском хозяйстве, так и на лесоразработках, при обследовании зараженных или труднодоступных территорий, в том числе и морского дна. Кроме того, такие ходовые системы найдут применение при создании транспортных средств для инвалидов и в других случаях.

Литература

1. Агейкин Л.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: «Машиностроение», 1972. – 181 с.
2. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. М.-Л.: «Машиностроение», 1966. - 307с.
3. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. М.: «Машиностроение», 1973. – 507 с.
4. Движители. М.: «Знание», 1983. – 63 с.
5. Котович С.В. Движители специальных транспортных средств: учеб. пособие. Часть I / С.В. Котович. - М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
6. Колёсно-шагающий движитель и его динамические преимущества по сравнению с колесом / А.Т. Скобейда, И.М. Комяк, В.Н. Жуковец / Механика – 2011: сб. науч. тр. V Белорус. конгресса по теорет. и прикладной механике, Минск, 26-28 окт. 2011 г.: в 2 т./ Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: М.С.Высоцкий [и др.] – Минск, 2011. – Т.1.- с.183-144.

7. Обоснование параметров колёсно-шагающего движителя для лесохозяйственных тракторов / А.Т. Скобейда [и др.] / Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.] – Минск-2016. – Вып. 5. – с.153-156.
8. Перспективные ходовые системы мобильных машин / А.Т. Скобейда [и др.] / Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.] - Минск, 2019. - Вып. 8. - с.100-103.

Основные направления повышения эффективности движителей тягово-транспортных средств

Студенты гр. 115011-18 Дагиль Р.С., Качура Н.И.

Научный руководитель – ст. преподаватель Комяк И.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Главными показателями работы любого движителя являются: его энергетическая характеристика (КПД) в наиболее характерных условиях работы и максимальная продольная сила при движении в экстремально плохих условиях. Очевидно, что совершенствование движителей должно вестись прежде всего, в направлении улучшения именно этих показателей.

Таких направлений несколько и целесообразность их обусловлена закономерностями взаимодействия движителя с грунтом. К ним можно отнести: увеличение площади поверхности, по которой в зоне контакта движителя с грунтом может происходить сдвиг грунта; увеличение суммарной нормальной нагрузки на поверхность, по которой может происходить сдвиг грунта в зоне контакта движителя с грунтом; увеличение коэффициента использования фрикционных сил и сил сцепления в зоне пятна контакта. Рассмотрим каждое из этих направлений.

Увеличение площади поверхности, по которой может происходить сдвиг грунта в зоне пятна контакта, в первую очередь, обуславливается соответствующим увеличением площади пятна контакта. Достигается это различными путями: увеличением геометрических размеров движителя, деформацией опорной части движителя, применением уширителей и т.д. Наибольшую эффективность этот прием может дать на связных грунтах, в меньшей степени – на фрикционных. В транспортной технике этот прием

широко распространен, однако возможности его довольно ограничены в силу ряда конструктивных ограничений.

Увеличение нормальной нагрузки на поверхность сдвига грунта на первый взгляд кажется нереальным. Действительно, вес машины в конкретных условиях - величина постоянная. Однако при организации кинематики перемещения опорной части движителя относительно корпуса по дуге большого радиуса или даже радиуса бесконечной длины, т.е. поступательно, движитель взаимодействует с грунтом как отдельный грунтозацеп, смещая его массив. Массив этот имеет сложную форму, профиль которой определяется отрезком логарифмической спирали и прямой. Сдвиг грунта происходит по поверхности, характеризуемой указанным профилем. При этом вес массива грунта играет определяющую роль в формировании напряженного состояния в зоне сдвигов и соответственно реакции отпора движителю. Помимо увеличения нормальной реакции за счет веса массива сдвигаемого грунта в данном случае имеет место и увеличение поверхности сдвига грунта. Это способствует тому, что эффект возрастания тяги будет наблюдаться на любых грунтах, в том числе на чисто фрикционных и на чисто связных.

Недостатком является необходимость затрат энергии на внедрение элементов движителя в грунт на большую глубину.

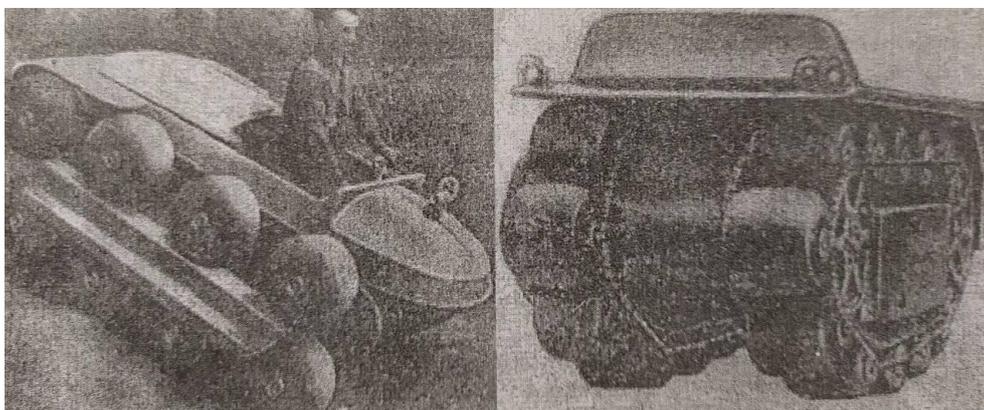


Рис.1. Катково-гусеничный движитель типа “Аэрол ”

Рассматриваемый прием использован при разработке комбинированного катково-гусеничного движителя типа «Аэрол» (рис. 1, 2). Применение в данном движителе пневмокатков как подвижных звеньев позволило создать вездеход, который по проходимости на всех видах грунтов и снежной целине неограниченной глубины превзошел гусеничные машины. Крепление пневматических элементов относительно

тягового органа выполнено так, что они имеют возможность вращаться вокруг оси, проходящей через точки крепления, позволяющие вездеходу автоматически приспосабливаться к условиям движения на разных грунтах.

Особенность движителя состоит в том, что скорость транспортного средства зависит от типа грунта. При движении машины по твердому грунту корпус вездехода перемещается по пневмокатам, как по роликам. Если вездеход попадает на вязкий грунт, где вращение пневмокатов относительно оси крепления затруднено, то пневмокоток будет являться как бы развитым траком гусеничной цепи. Скорость машины в этом случае будет равна скорости перематывания гусеницы. Возможна промежуточная стадия работы движителя, когда корпус катится по пневмокатам с проскальзыванием.

Имеются две основные конструкции движителя:

- конструкция крупнозвенчатой цепи, на удлиненных пальцах и шарнирах которой консольно крепятся пневмокотки, свободно вращающиеся вокруг своей оси (разработана Д. Санном);

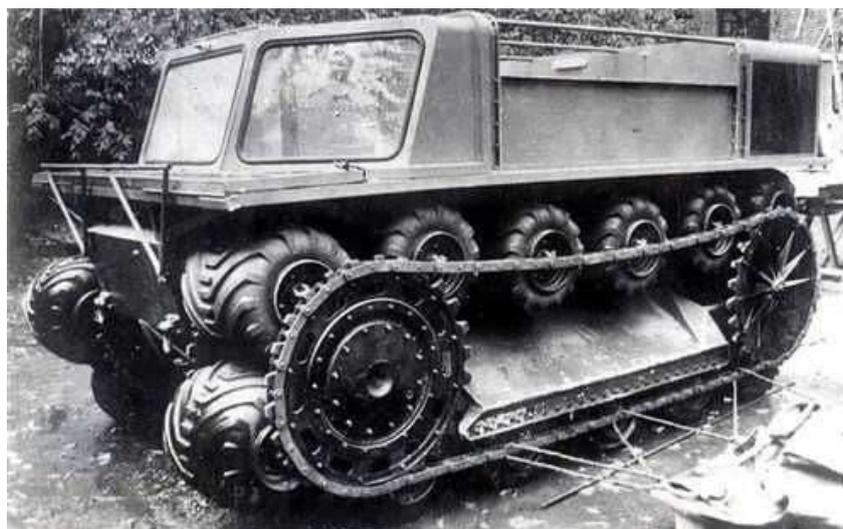


Рис.2. Катково-гусеничный движитель вездехода ЗИЛ-3906

- конструкция, в которой пневмокотки крепятся с обеих сторон к тросам, привод осуществляется звездочками, имеющими желоб для троса и вырезы для концов осей (предложена Л. Кренделлом).

Для исследования движителя Кренделла в 1961 г. в США фирмой «Инресол-Каламазу» была создана экспериментальная тележка с движителем «Аэрол». В Канаде изготовлен легкий вездеход с движителем «Аэрол», в котором пневмокотки укреплены консольно.

Рассмотрим направление увеличения коэффициента использования фрикционных сил и сил сцепления в зоне пятна контакта. Из условия равновесного состояния машины или движителя следует, что продольная сила движителя равна сумме проекций элементарных сил, действующих в зоне пятна контакта, на продольную ось машины:

$$T = \sum_i t_i \cos \alpha_i ;$$

где t_i - элементарная сила, α_i - угол подъема между вектором элементарной силы и продольной осью машины.

При этом, если в направлении элементарной силы происходит деформация грунта, то на это необходимо затратить энергию, подводимую к движителю. Из этого следует, что если деформация элементарного объема грунта в зоне пятна контакта происходит в направлении, противоположном перемещению машины, то реакция отпора положительна. При попутной деформации - реакция отрицательная. Направление реакции отпора при деформации элементарных объемов грунта под каким-либо углом к продольной оси определяется величиной и знаком этого угла. Очевидно, чем больше элементарных участков будут иметь положительные реакции, и чем больше величины проекций этих реакций на продольную ось, тем больше будет суммарная тяговая и продольная сила движителя.

С другой стороны, независимо от направления для деформации элементарных объемов грунта требуется затрата энергии. Энергия, затрачиваемая на деформацию объемов грунта в попутном и боковом направлениях, должна рассматриваться как энергия чистых потерь. В отличие от затрат на деформацию в противоположном перемещению машины направлении эти потери нельзя считать неизбежными и от них следует освобождаться. При конструировании движителя, особенно с эластичной опорной поверхностью, необходимо контролировать направления упругих деформаций и других видов перемещений всех элементов, находящихся в контакте с грунтом. Всякого рода возвратно-поступательные или возвратно-вращательные движения элементов конструкции за период входа в контакт с грунтом и выхода из него говорят о наличии паразитных потерь в движителе, уменьшенной эффективности использования фрикционных и сцепных свойств грунта. Коэффициент сопротивления движению подобного движителя неизбежно будет иметь повышенные значения. Прием по улучшению использования фрикционных

и сцепных свойств грунта в зоне пятна контакта использован в конструкциях металлоэластичных эллиптических колес.

Литература

1. Revolutionary vehicle//Automotive industries, vol.125, 1961, №6. p.53.
2. Liston R.A. Walking machine studies//The Military Engineer, 1967. - vol.59, №338, p.10.
3. Miatch K. Tacom. Tests concept to improve wheeled vehicle mobility//Army Research and Development Newsmagazine, 1970. - vol.11, №5, p.9.
4. Бескин И.А. Транспорт для бездорожья. М.: «Знание», 1971. – 48с.
5. Агейкин Л.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: «Машиностроение», 1972. – 181с.
6. Новые виды транспорта и движения / Молярчук В.С., Мельник А.Д., Михайлов В.В. М.: «Транспорт», 1975. – 129с.
7. Романов А.И. Ноги для трактора // Изобретатель и рационализатор, 1982. - №3, с.7.
8. Движители. М.: «Знание», 1983. – 63с.
9. Тезисы докладов I-ой Всесоюзной конференции «Механика и управление движением шагающих машин», г. Волгоград, 1-3 июня 1988г., Волгоградский политехнический институт, - 121 с.;
10. Котович С.В. Движители специальных транспортных средств: учеб. пособие. Часть I/ С.В. Котович.- М. МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
11. Перспективные ходовые системы мобильных машин / А.Т. Скойбеда [и др.] / Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.] - Минск, 2019. - Вып. 8. с. 100-103.

Реализация шагающего способа передвижения в тягово-транспортных средствах

Студенты гр. 115011-18 Безручко А.А, Русин А.В.
 Научный руководитель –ст. преподаватель Комяк И.М.
 Белорусский национальный технический университет
 Минск, Беларусь

Интерес к шагающему способу передвижения с целью использования его в движителях транспортных средств проявляется давно. Еще в девятнадцатом веке русский математик П.Л. Чебышев одним из первых занимался вопросами создания шагающих машин. Однако наиболее

интенсивные исследования этого способа передвижения начались в конце 50-х годов прошлого века.

В общем случае шагающий способ передвижения может быть реализован как в собственно шагающих движителях или машинах, так и в комбинации с другими способами передвижения. В свою очередь, собственно шагающие движители или шагающие машины можно классифицировать на следующие категории, характеризуемые способом построения траектории опоры или управления ею: на основе жестких рычажных систем; с моделированной траекторией, с педипуляторным управлением; адаптивные.

Шагающие машины на основе рычажных систем обеспечивают жесткую траекторию опоры и характерны тем, что в качестве механизма шагания используется какой-либо готовый механический преобразователь или по выбранной оптимальной траектории синтезируется нужный механизм, Родоначальником этого направления является П. Л. Чебышев, а прообразом этого класса машин является его стопоходящая машина, которая состоит из четырех прямых, имеющих общий привод к кривошипам, и шарнирно соединенных с ними опорных стоек. При вращении кривошипов корпус перемещается горизонтально и равномерно.

К характерным недостаткам этого класса машин можно отнести следующие: неравномерность вращения, в большинстве случаев, ведущего вала привода; отсутствие управления высотой машины; отсутствие возможности выбора точки опоры.

Желание обеспечить более эффективное передвижение привело к созданию шагающих машин с гибкой моделированной траекторией. В этом случае выбранная номинальная траектория может изменяться оператором по нужным параметрам. Примером этого класса машин является шагающая машина Шигли, созданная на основе копирующего пантографного механизма. Конструктивно шагающая машина состоит из 16 пантографных механизмов, по четыре в каждой угловой части машины. Использование гидравлики устранило некоторые недостатки привода. Характер траектории опоры и структура движителя обеспечивали достаточную уравновешенность инерционных сил, что позволяло передвигаться со скоростью до 9 м/с. Однако, реализация имеющихся возможностей по изменению траектории оказалась затруднительной, так как в этом случае оператору пришлось бы одновременно управлять 16-ю

опорами. Таким образом, создание конструкции без обеспечения простого способа управления оказалось невозможным.

Поиски эффективной системы управления передвижением шагающей машины привели к идее использования естественных способностей человека управлять своим движением, Это привело к созданию шагающих машин с так называемым педипуляторным управлением. Этот принцип основан на использовании обратной силовой связи. В этом случае человек контролирует свои физические действия посредством нескольких органов чувств, а основной механизм шагания реагирует на усилие и перемещение конечностей человека. При этом часть усилия на механизме шагания в виде отраженного сигнала через обратную силовую связь воздействует на органы чувств человека, воспроизводя в соответствующем масштабе реальную физическую картину внешнего воздействия. С целью отработки системы обратной силовой связи был создан ряд механизмов такого типа под общим названием «кибернетические антропоморфные системы» (фирма-изготовитель «Дженерал электрик К⁰»). По мере отработки системы управления с обратной силовой связью «Бронетанковое и автотракторное управление армии США» совместно с фирмой «Дженерал электрик К⁰» впервые изготовило четырехопорную шагающую машину, в которой оператор управлял опорами машины с помощью ручных рычагов и ножных педалей, причем правая рука оператора управляла правой передней опорой, правая нога – правой задней опорой и т.д. Машина может двигаться вперед и назад, поворачиваться, преодолевать препятствия высотой 1,2 м, транспортировать груз массой 200 кг, максимальная скорость - 4,5 м/с, длина опоры – 2м, собственная высота – 3,3 м. Система привода и управления выполнена так, что может быть достигнуто увеличение силы оператора в 120, а перемещения – в 4 раза. Несмотря на то, что шагающие машины с педипуляторным управлением имеют весьма благоприятные предпосылки по реализации возможностей шагающего способа передвижения, они имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что движение осуществляется при непосредственном участии человека и при этом интенсивность работы машины определяется физическими возможностями оператора.

Другим направлением является создание так называемых адаптивных шагающих машин, в которых человеческие возможности, с

точки зрения мышления и органов чувств, заменяются соответствующими датчиками адаптации и вычислительной техникой. Продолжающиеся успешные разработки систем управления и адаптации позволяют говорить о возможности создания подобных шагающих машин, представляющих практический интерес. Машины этого направления имеют много общего и развиваются параллельно с промышленными роботами и манипуляторами, управляемыми от ЭВМ.

Стремление повысить скорость шагающих движителей с возвратно-поступательным движением переноса опорных башмаков привело к созданию схемы с цепным конвейером, несущим каретки с направляющими, в которых (с возможностью возвратно-поступательного движения) установлены ноги с опорными башмаками. Такие конвейеры с горизонтально расположенными плоскостями цепей установлены вдоль левого и правого бортов машины и приводятся в движение тяговыми звездочками. Макетный образец машины с описанной ходовой системой был разработан в Волгоградском политехническом институте. Схема конвейерной шагающей системы разрабатывалась также изобретателем В.И. Лобачевым. Введение конвейера позволяет повысить скорость движения, но значительно увеличивает сложность и вес конструкции движителя, а также делает его громоздким и малонадежным. Кроме того, в конвейерной схеме сохранено вертикальное возвратно-поступательное движение ног и башмаков с присущими ему недостатками, по-прежнему ограничивающими дальнейшее повышение скорости.

Несмотря на большое разнообразие конструктивных решений реализации способа шагания в машинах, практически нет примера его удачного воплощения, который мог бы быть использован конструкторами транспортных машин. Как показывают исследования, использование способа шагания в движителях тягово-транспортных машин дает качественный рост основных показателей передвижения по сравнению с обычными распространенными движителями, причем в том как и каким методом осуществлять шагание, заложены большие потенциальные возможности по улучшению этих показателей.

Литература

1. Liston R.A. Walking machine studies / The Military Engineer, 1967, – vol. 59, No 338, p. 10.
2. Бескин И.А. Транспорт для бездорожья. М.: «Знание», 1971. – 48 с.

3. Агейкин Л.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: «Машиностроение», 1972, - 181 с.
4. Беккер М.Г. Введение в теорию систем местность-машина. М.: «Машиностроение», 1973. – 507 с.
5. Новые виды транспорта и движения/Молярчук В.С., Мельник А.Д. Михайлов В.В. М.: «Транспорт», 1975. – 129с.
6. Движители. М.: «Знание», 1983. – 63с.
7. Тезисы докладов 1-ой Всесоюзной конференции «Механика и управление движением шагающих машин», г. Волгоград, 1-3 июня 1988г., Волгоградский политехнический институт. – 121с.
8. Котович С.В. Движители специальных транспортных средств: учеб. пособие. Часть I/ С.В. Котович.- М. МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
9. Шагающие движители – перспективное направление создания агрофильных ходовых систем мобильных машин. / А.Т. Скойбеда [и др.] / Актуальные вопросы машиностроения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко[и др.]. – Минск, 2014. – Вып. 3. – С. 102-105.

**Создание ходовых систем тягово-транспортных средств
с шагающими колесами**

Студенты гр. 11501118 Отвалко А.П., Онищук В.А.
Научный руководитель – ст. преподаватель Комяк И.М.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Одним из направлений конструкторского поиска является выбор таких схем движителей тягово-транспортных средств, которые позволили бы в зависимости от конкретных внешних условий реализовать различные принципы передвижения.

Необходимость создания движителя тягово-транспортного средства для разнообразных условий передвижения с неизменным сохранением высокой эффективности и надежности его использования во всем диапазоне этих условий наводит на мысль о создании движителя, воплощающего в себе положительные качества колеса и шагания.

Мысль о сочетании в одном движителе качения и шагания не нова. Попытки разрешить подобную задачу предпринимались некоторыми исследователями, что привело к созданию нескольких вариантов так

называемых колесно-шагающих движителей. Некоторые из них нашли воплощение в макетных образцах.



Рис. 1. Колесно-шагающий движитель типа «Го-девилль».

Так, фирмой Вагнер (США) был изготовлен опытный образец колесно-шагающего движителя типа «Го-девилль» (рис. 1). Отличительной особенностью данного движителя является то, что продольные рычаги подвески, на которых установлены колеса, могут поворачиваться относительно корпуса машины на 360° . Имеются отдельные силовые приводы к колесам и рычагам подвески. При использовании привода к колесам движитель ничем не отличается от обычного колесного. При вращении рычагов подвески корпус машины перемещается по траектории, описываемой рычагами, и таким образом происходит своеобразное «шагание». Машина образована из двух шарнирных секций, что обеспечивает ее поворот.

Несмотря на достаточно высокую проходимость, колесно-шагающий движитель типа «Го-девилль» имеет существенные недостатки, заключающиеся в том, что режим шагания связан с большими сложностями управления и неравномерностью движения.

К другой разновидности колесно-шагающего движителя можно отнести движитель типа «Пади-вагэн» осуществленный в вездеходе

«Терра-Стар» (США). Вездеход, названный «Терра-Стар» (рис. 2) был разработан фирмой «Локхид». Ходовая часть машины состоит из четырех колесных тележек, каждая из которых объединяет по три шины низкого давления. Шины вращаются вокруг осей расположенных параллельно поперечной оси тележки на опорах в виде массивных спиц, образующих трехлучевую звезду, жестко сидящую на оси тележки.

При движении по твердому грунту ось колесной тележки неподвижна и вращение передается только малым колесам. В этом случае вездеход движется как многоприводный автомобиль на восьми пневмокатках. При движении по вязкому грунту ось тележки освобождается и вращение передается и спицам, и шинам. Вездеход, как бы шагает по вязкому грунту. Недостатком движителя можно считать его громоздкость.

Лаборатория новейших систем при «Бронетанковом и автотракторном управлении армии США» спроектировала и разработала экспериментальный макет с колесно-шагающим движителем. Он представляет собой четырехколесное шасси, состоящее из двух секций, соединенных друг с другом механизмом с двумя степенями свободы. Гидрообъемные мотор-колеса приводятся от двух главных насосов, а третий насос обеспечивает гидравлическую систему перемещения колес и управления машиной. Система подвески состоит из шарнирных рычагов (механизмов шагания), расположенных по краям машины. Верхний рычаг механизма шагания укреплен шарнирно на корпусе, а колесо с индивидуальным приводом крепится к нижнему рычагу. Положение верхнего рычага относительно корпуса и другого рычага регулируется отдельными управляемыми гидроцилиндрами. Управление движением осуществляется вручную с помощью рукояток для каждого управляемого элемента. Движение в режиме шагания осуществляется за счет поочередного переноса колес вперед относительно корпуса, а затем переноса корпуса вперед относительно неподвижных колес. При включении привода вращения колес машина ничем не отличается от обычной колесной.

Известен колесно-шагающий движитель, в котором колеса с индивидуальными приводами вращения укреплены на раме транспортного средства с помощью двух гидроцилиндров, один из которых исполняет роль элемента подвески, а второй создает продольные перемещения колеса. Передвижение в шагающем режиме осуществляется следующим

образом: в первый период колеса одного борта передвигаются в ведущем режиме на длину шага, затем они блокируются, а корпус машины при помощи гидроцилиндра перемещается вперед на величину шага. Колеса обоих бортов передвигаются попеременно: если колеса одного борта движутся в ведущем режиме, то колеса второго борта в это время заблокированы и, упираясь в грунт, создают упоры для перемещения корпуса машины вперед. При застопоренных гидроцилиндрах и включенных приводах вращения колес машина ничем не отличается от обычной колесной.

Как следует из вышеприведенных примеров, реализация принципа шагания в колесно-шагающих движителях хотя в основном и соответствует схеме чистого шагания, однако в то же время имеются некоторые особенности.

В общем случае колесно-шагающий движитель можно представить как обычный шагающий, у которого опоры механизмов шагания выполнены в виде колес, связанных с приводами вращения. В процессе передвижения в шагающем режиме механизмы шагания с помощью привода шагания обеспечивают возвратно-поступательное перемещение осей колес, при котором оси колес то перемещаются относительно корпуса машины против движения, то выносятся вперед по определенной траектории, причем в зависимости от характера переноса можно получить различные качества колесного шагания. Перенос колес может осуществляться следующими способами: с разгрузкой переносимого колеса от веса машины; без разгрузки от веса машины.

Способ передвижения при переносе колес по второму варианту имеет некоторые преимущества перед первым, так как при этом решается часть проблем, возникающих при чисто шагающем способе передвижения, а именно:

- в этом случае требуются прямолинейные или приближенно прямолинейные перемещения осей колес, а такой характер траектории позволяет применять простейшие по кинематике механизмы;

- для чистого шагающего способа передвижения отрыв опор механизма шагания от грунта, представляя некоторые возможности по увеличению проходимости, вызывает в то же время большие трудности по обеспечению необходимых условий при последующем восприятии опорной поверхности;

- в колесно-шагающем движителе, в котором колеса переносятся без разгрузки от веса машины, колесо может достаточно хорошо исполнять роль адаптируемого элемента, и поэтому, проблема приспособления опор к опорной поверхности в режиме шагания решается более просто;

- при переносе колеса без разгрузки форма и положение многоугольника опор меняются незначительно, что исключает значительное ограничение шагания по устойчивости передвижения и позволяет обеспечить колесное шагание в малоопорных транспортных машинах (практически начиная с трехопорных);

- ввиду того, что колеса перемещаются безотрывно от опорной поверхности, переходить на колесный режим можно практически в любых положениях механизмов шагания.

Чисто шагающий способ передвижения невозможно классифицировать по способу переноса опор. Он отличается лишь величиной некоторых параметров траектории этапа переноса. Возможность переноса колес в колесно-шагающем движителе различными способами и представляет собой основную отличительную особенность совместной реализации принципа качения и шагания в одном движителе.

Учитывая вышеуказанное, наибольший интерес представляет колесно-шагающий движитель, у которого колеса в режиме шагания перемещаются по опорной поверхности безотрывно. Отметим, что при движении с отрывом переносимых колес от опорной поверхности основные показатели передвижения аналогичны обычному шагающему, и в этом случае имеет место не колесно-шагающий принцип, сочетающий одновременное шагание и качение колес, а принцип колесного шагания, когда в процессе шагания колеса выполняют лишь роль опор, но не движителя.

Литература

1. Liston R.A. Walking machine studies/The Military Engineer, 1967.- vol.59, Na338, p.10.
2. Артоболевский И.И. Некоторые проблемы конструирования шагающих машин. М.: Вестник АН СССР, No2, 1969. с. 82-92.
3. Агейкин Л.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: «Машиностроение», 1972. – 181 с.
4. Егоров Ю.Е. БАМостроительный комбайн / Изобретатель и рационализатор, 1975. – № 9, - с. 15.

5. Четкарев В.К. Две ноги и ... ходит / Изобретатель и рационализатор, 1981. - № 6, - с. 15.
6. Романов А.И. Ноги для трактора // Изобретатель и рационализатор, 1982. - № 3, - с. 7.
7. Тезисы докладов 1-ой Всесоюзной конференции «Механика и управление движением шагающих машин», г. Волгоград, 1-3 июня 1988 г., Волгоградский политехнический институт. – 121 с.
8. Котович С.В. Движители специальных транспортных средств: учеб. пособие. Часть I / С.В. Котович. - М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
9. Шагающие движители – перспективное направление создания агрофильных ходовых систем мобильных машин. / А.Т.Скойбеда [и др.] / Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.] – Минск, 2014. – Вып. 3. – с. 102-105.

Роботизированные коробки передач

Студенты гр. 10107218 Костюк Д.В., гр. 10107118 Овсянников Н.Ю.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Скойбеда А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Роботизированная коробка передач сочетает в себе комфорт автоматической коробки передач, надежность и топливную экономичность механической коробки передач. Название "*роботизированная коробка передач*" свидетельствует о том, что *водитель и условия движения* формируют только входную информацию для системы управления, а работой коробки передач руководит электронный блок с определенным алгоритмом управления. При этом «робот» в большинстве своем значительно дешевле классической АКПП.

В настоящее время практически все ведущие автопроизводители оснащают свои автомобили роботизированными коробками передач, устанавливая их на всю линейку моделей от малого до премиум класса. Роботизированные коробки передач различаются по конструкции, вместе с тем, можно выделить следующее общее устройство данного агрегата - механическая коробка передач с системой управления сцеплением и передачами. В автоматизированных коробках передач используется

сцепление фрикционного типа. Это может быть отдельный диск или пакет фрикционных дисков.

Сцепление, включающее более трех дисков, называется многодисковым.

Увеличение количества дисков увеличивает площадь поверхности соприкосновения и соответствующую ей силу трения, что позволяет передавать больший крутящий момент.

Это качество многодискового сцепления определяет его применение на мощных легковых автомобилях (спорт, тюнинг), грузовых автомобилях, строительных машинах. С другой стороны пакет дисков позволяет значительно уменьшить габаритные размеры сцепления. Именно поэтому многодисковое сцепление применяется на двухколесных транспортных средствах (мотоциклах, скутерах). Конструктивную основу многодискового сцепления составляет пакет дисков, включающий чередующиеся между собой стальные и фрикционные диски. Количество дисков зависит от величины передаваемого крутящего момента

Коробки-роботы могут иметь электрический или гидравлический привод сцепления и передач.

В электрическом приводе исполнительными органами являются сервомеханизмы (электродвигатель и механическая передача). Гидравлический привод осуществляется с помощью гидроцилиндров, которые управляются электромагнитными клапанами. Такой вид привода еще называют электрогидравлическим.

В ряде конструкций «роботов» с электрическим приводом ([Easytronic](#) от Opel, Durashift EST от Ford) используется гидромеханический блок с электродвигателем для перемещения главного цилиндра привода сцепления.

Электрический привод отличается невысокой скоростью работы (время переключения передач 0,3-0,5с) и меньшее энергопотребление. Гидравлический привод предполагает постоянное поддержание давления в системе, а значит большие затраты энергии. Но с другой стороны он более быстрый. Некоторые роботизированные коробки передач с гидравлическим приводом, устанавливаемые на спортивные автомобили, имеют просто впечатляющую скорость переключения передач

Входные датчики отслеживают основные параметры коробки передач: частоту вращения на входе и выходе, положение вилок

включения передач, положение селектора, а также давление и температуру масла (для гидравлического привода) и передают их в блок управления.

На основании сигналов датчиков электронный блок управления формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы в соответствии с заложенной программой

В своей работе электронный блок взаимодействует с системой управления двигателем, [системой ABS](#).

В роботизированных коробках с гидравлическим приводом в систему управления дополнительно включен гидравлический блок управления, который обеспечивает непосредственное управление гидроцилиндрами и давлением в системе

Исполнительными механизмами роботизированной коробки передач в зависимости от вида привода являются электродвигатели (*электрический привод*), электромагнитные клапаны гидроцилиндров (*гидравлический привод*).

Основным недостатком роботизированной коробки передач является сравнительно большое время переключения передач, что приводит к рывкам и провалам в динамике автомобиля и, соответственно, снижает комфорт от управления транспортным средством

Двойное сцепление позволяет при включенной передаче выбрать следующую передачу и при необходимости включить ее без перерыва в работе коробки.

Поэтому другое название роботизированной коробки передач с двумя сцеплениями - **преселективная коробка передач** (от preselect - предварительно выбрать).

Другим преимуществом коробки передач с двойным сцеплением является высокая скорость переключения передач, зависящая только от скорости переключения муфт (**DSG** от Volkswagen - 0,2с,)

Другим преимуществом коробки передач с двойным сцеплением является высокая скорость переключения передач, зависящая только от скорости переключения муфт **DCTMD riveologic** от BMW – 0,1с). «Робот» с двумя сцепления отличает еще и компактность, что актуально для малолитражных автомобилей. Сравнительно высокая скорость переключения передач в совокупности с непрерывной передачей крутящего момента позволяют добиться отменной разгонной динамики автомобиля и экономии топлива.

Все перечисленные роботизированные коробки передач используют гидравлический привод сцепления и передач. И лишь одна коробка передач на сегодняшний день имеет электрический привод устройств – это **EDC (Efficient Dual Clutch)** от Renault (время переключения передач 0,29 с).

Роботизированная коробка передач - это логическое продолжение развития механической коробки. Робот это не что иное, как механическая КПП, в которой выжим сцепления и переключение передач выполняют два сервопривода (актуатора), управляемые электронным блоком. По факту робот впитал в себя все положительные стороны механической кпп и удобство автомата.

Первый прототип робота появился в 1939 году, Адольф Кегресс создал трансмиссию с двойным сцеплением, но дальнейшее развитие этого перспективного изобретения остановилось на следующие 40 лет. Всему виной отсутствие финансирования проекта.

В серию роботизированные коробки передач попали очень нескоро, но обкатать технологию решились инженеры Porsche. Роботы внедрили на модели 956 и 962С, машины предназначались для кольцевых гонок. К сожалению, недоработка конструкции и значительный вес коробки не позволил технологии выйти за пределы трека.

Серийная роботизированная коробка появилась только в 2003 году. Отважилась на такой шаг компания Volkswagen, установив преселективную трансмиссию на спорт версию модели Golf 4 R32. Производителем коробки была компания Borg Warner. По сей день концерн VAG активно продвигает этот тип коробок на своих моделях.

Особенность такой коробки заключается в конструкции, а именно в наличии двух сцеплений. Принцип работы такой коробки состоит в том, что на одно сцепление завязаны четные передачи, а на второе нечетные. В процессе движения крутящий момент передается по одному сцеплению, т.е. диск сомкнут. В это же время диск второго сцепления разомкнут, но внутри самой коробки следующая передача уже сформирована и когда приходит время переключения, первый диск просто размыкается, а второй синхронно смыкается. Такая схема работы обеспечивает плавность переключения и отсутствие рывков.

В свою очередь, роботизированные коробки делятся на два типа:

- **С мокрым сцеплением** - используют на автомобилях с мощным двигателем, крутящий момент которых превышает 350 Нм.

- **С сухим сцеплением** – используют на автомобилях с маломощными двигателями до 250 Нм крутящего момента.

Плюсы Робота:

- Плавность переключения и хода
- Высокий КПД
- Экономичный расход топлива
- Высокая динамика
- Возможность выбора режима работы трансмиссии

Минусы Робота:

- Малая надежность, как самой конструкции, так и мехатроника
- Стоимость обслуживания и ремонта
- Чувствительность к тяжелым дорожным условиям

Литература

1. <https://www.drive.ru/technic/4efb332e00f11713001e3f50.html>
2. https://www.atlantm.ru/expert/stats/stats_136.html
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
4. <https://online.favorit-motors.ru/article/rkpp>

Электромобили – из прошлого в будущее!

Студенты Прищепов Е.А., Алюшкевич Д.А., Гиль А.С.

Научный руководитель – доцент Швец И.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Электромобили становятся всё более популярными в автомобильном мире. Ожидается, что эти бесшумные экологически чистые и высокопроизводительные транспортные средства сделают двигатели внутреннего сгорания устаревшими к 2025 году.

Флагманом в производстве электромобилей является американская компания Tesla, основанная в 2003 году, названная в честь великого учёного Николы Теслы, который около 100 лет назад изобрел асинхронный или индукционный двигатель, являющийся важной частью автомобиля.

Асинхронный двигатель имеет две основные части: статор и ротор. Ротор-это просто набор электропроводящих стержней на

короткозамкнутых с торцов кольцами. Трёхфазный переменный ток подаётся на статор. Проходя по обмоткам трехфазный переменный ток создаёт вращающееся магнитное поле.



Рис. 1. Элементы асинхронного двигателя

Двигатель Тесла производит четырёхполюсное магнитное поле. Это вращающееся магнитное поле индуцирует ток в стержнях ротора, что заставляет ротор вращаться. В индукционном двигателе ротор всегда вращается несколько медленнее электромагнитного поля.

В асинхронном двигателе нет ни щёток, ни постоянного магнита. При этом он остаётся надежным и мощным. Преимущество асинхронного двигателя заключается в том, что его скорость зависит от частоты переменного тока. Таким образом, просто изменяя частоту тока в источнике питания можно изменить скорость вращения ведущих колес. Этот факт позволяет легко и надёжно контролировать скорость электромобиля. Питание двигателя осуществляется от частотно регулируемого привода, который в свою очередь контролирует скорость двигателя. Скорость варьируется от 0 до 18тысяч оборотов в минуту. Это наиболее значительное достоинство электромобиля по сравнению с автомобилями с двигателем внутреннего сгорания.

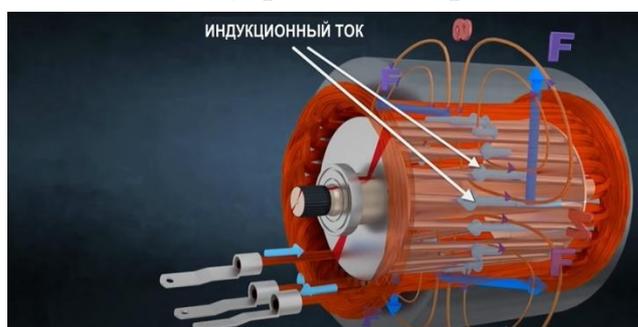


Рис. 2. Индукционный ток

Обычно используемый в автомобилях двигатель внутреннего сгорания (ДВС) обеспечивает полезный крутящий момент и выходную мощность только в ограниченном диапазоне скоростей. Поэтому прямое подключение двигателя к ведущим колесам не очень хорошая идея. Для изменения скорости привода необходимо ввести коробку переменных передач. Асинхронный двигатель напротив будет работать эффективно при любом диапазоне скоростей. Таким образом для электромобиля не надо коробка переменных передач. Кроме того, ДВС не создаёт прямого вращательного движения. Во вращательное движение преобразуется линейное движение поршня. Это создаёт серьёзные проблемы для механической балансировки и в отличие от асинхронного, двигатель внутреннего сгорания не запускается самостоятельно. Также выходная мощность ДВС всегда не равномерна. Требуются дополнительные механизмы для решения этой проблемы. В случае же с асинхронным двигателем есть возможность прямого вращательного движения и получения равномерной выходной мощности. Многие детали конструкции внутреннего сгорания здесь просто не нужны. В результате асинхронный двигатель обладает отличной скоростью реагирования и более высокой удельной мощностью на единицу веса транспортного средства, демонстрируя превосходную производительность автомобиля. Аккумулятор вырабатывает мощность постоянного тока поэтому перед подачей питания на двигатель он должен быть преобразован в переменный. Для этой цель используется инвертор- электронное устройство, управляющее частотой переменного тока, а, следовательно, и скоростью двигателя. Кроме того, инвертор может изменять амплитуду переменного тока, которая в свою очередь будет задавать выходную мощность двигателя. Другими словами, инвертор- это что-то вроде мозга электромобиля.



Рис. 3. Структура

Аккумуляторная батарея – это набор обычных литийионных элементов, подобным тем, которые используются в повседневной жизни. Элементы объединены в блоки и соединены параллельно, чтобы обеспечить мощность, необходимую для запуска электромобиля.



Рис. 4. Плоский батарейный блок

Гликолевый хладагент проходит по металлическим трубкам через зазоры, проходит между элементами аккумулятора – это нововведение тесла. Использование множество маленьких элементов вместо нескольких больших позволяет эффективно охлаждать систему, что сводит к минимуму возможность появления точек перегрева и даже позволяет распределить температуру равномерно, что приводит к увеличению срока службы батареи. Элементы объединены в съемные модули. В батарейном модуле имеется 16 модулей, состоящих из 7 тысяч элементов. Нагретый гликоль охлаждается, проходя через радиатор, который установлен в передней части двигателя. Плоский батарейный блок, будучи установлен близко к земле, позволяет снизить центр тяжести транспортного средства. Низкий центр тяжести значительно улучшает устойчивость автомобиля. Аккумулятор так же покрывает автомобиль по всей ширине, что обеспечивает структурную жесткость против боковых столкновений.

Мощность, производимая двигателем, передается на ведущие колеса через коробку передач. Двигатель имеет широкий диапазон выходной мощности и поэтому использует простую 1 скоростную коробку передач.



Рисунок 5. Задняя передача

Выходная скорость двигателя уменьшается в два этапа. Переход к задней передаче очень прост. Для этого надо изменить порядок чередования фаз в двигателе. Единственной целью коробки передач электромобиля является снижение скорости вращения и связанное с этим увеличение крутящего момента, второй компонент трансмиссии – дифференциал. После понижения скорости, сила передается к нему – это простой свободный дифференциал.

Однако такие дифференциалы имеют проблемы регулирования тягового усилия. Почему же в таком переводе автомобиля используется свободный дифференциал, а не дифференциал с повышенным внутренним сопротивлением? Ответ заключается в том, что свободный дифференциал является более надежным и передает больший крутящий момент. Проблема регулирования тягового усилия, возникающая при свободном дифференциале, может быть эффективно преодолена с помощью двух методов: селективное торможение и быстрое кратковременное отключение от источника мощности. Такие отключение посредством подачи топлива недостаточно оперативные. Однако в асинхронном двигателе возможно быстрое отключение питания, что является эффективным средством контроля тягового усилия. В Tesla этот процесс производится в соответствии с современным алгоритмом, и с помощью датчиков и контроллеров.



Рис. 6. Дифференциал

Проще говоря, Tesla Motors заменили сложную механическую систему высокочувствительным программным обеспечением. Электромобилем можно управлять лишь одной педалью. Это возможно благодаря его мощной рекуперативной системе торможения, которая позволяет экономить огромную часть кинетической энергии электричества, не теряя ее в форме выделяемого тепла. В электромобиле, как только вы нажимаете педаль акселератора, включается рекуперативное торможение. При этом во время этого торможения асинхронный двигатель работает как генератор. Известно, что в асинхронном двигателе скорость ротора меньше скорости электромагнитного поля. Чтобы преобразовать двигатель в генератор нужно сделать так, чтобы скорость ротора стала выше чем скорость электромагнитного поля. Инвертор играет здесь важную роль, регулируя частоту тока и поддерживая скорость электромагнитного поля, ниже скорости ротора. Это генерирует электричество в катушках статора, образуя больше электроэнергии чем требуется для работы электромобиля. Сгенерированный переизбыток электричества, может быть сохранен после его преобразования в аккумуляторные батареи. Во время этого процесса на ротор действует электродвижущая сила. Поэтому ведущие колеса и автомобиль будут замедляться. Таким образом скорость транспортного средства может контролироваться с помощью одной педали.

Стильные, инновационные электрокары Tesla – законодатели мод в автомобилестроении. На Tesla равняются мировые производители легкой автотехники, переходящие на выпуск электромобилей.

К основным преимуществам автомобилей этого бренда относятся:

- Экологическая чистота и бесшумность.
- Экономичность: сравнение стоимости зарядки Tesla и заправки автомобиля с ДВС указывает на 4-х кратную экономию Tesla.

- Функция автоматического вождения (автопилот): искусственный интеллект способен брать управление автомобиля в свои руки, контролируя дорожную обстановку в радиусе 250 м.
- Высокая технологичность: софт автомобиля мониторит и координирует функциональность механизмов Tesla.
- Безопасность: машины имеют высшую оценку экспертов по гарантиям защищенности находящихся в автомобиле пассажиров и водителя.
- Изысканный, «космический» дизайн. Интерьер и экстерьер Tesla отличается от автомобилей других производителей современными дизайнерскими решениями.
- Вместительность. Отсутствие топливного двигателя «добавило» передний багажник.

К недостаткам Tesly можно отнести продолжительность зарядки/подзарядки и «неподъемную» для среднего автомобилиста стоимость машин. Высокая цена на автомобили с электродвигателем предопределена стоимостью тяговых батарей (32% в смете расходов на изготовление Tesla Model). Глава компании анонсировал разработку и производство более дешевых и «вместительных» по емкости аккумуляторов, что дает возможность снизить стоимость автомобилей.

С 2022 г. Tesla намерена развернуть станции быстрой зарядки, «заправляющих» фирменные автомобили за 30 – 40 минут. Такое решение повысит количество желающих приобрести Teslu и оценить на практике передовые технологии.

Литература

1. Артоболевский, И. И. Механизмы в современной технике, т. 1, М., – 1970; Машиностроение. Энциклопедический справочник, т. 9, М., –1949, с. 95 –98.
2. Луканин В.Н., Шатров М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Книга 2. Динамика и конструирование. 3-е изд., перераб. – М.: Высш. шк. , 2007. – 400 с: ил.
3. Жук А.З., Клейменов Б.В., Фортов В.Е., Шейндлин А.Е. Электромобиль на алюминиевом топливе. – М.: Наука, 2012. – 171 с.

Анализ выявления дефектов подшипников

Магистрант Путиловский В.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Скойбеда А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Для извлечения полезной информации из вибросигнала используются различные способы, которые позволяют сформировать характерные диагностические признаки зарождающихся дефектов даже в тех случаях, когда спектр мощности сигнала практически не меняется. Но, несмотря на то, что различных методов по обработке сигналов достаточно много, статистический анализ современного состояния служб вибродиагностики в промышленности показал, что большинство приборов и систем, применяемых службами, основано на спектральном анализе входящего сигнала. Такое применение обуславливается как простотой метода, так и его универсальностью. Сущность спектрального анализа основана на первичном Фурье-преобразовании входящего сигнала.

Однако погрешности изготовления и монтажа, температурные изменения геометрических параметров деталей и зазоров в сочленениях, изменение вязкости смазки и множество других факторов приводят к флуктуациям амплитуд и размытию дискретных линий спектра полигармонических колебаний. Поэтому методы, основанные на спектральном анализе, не позволяют в полной мере производить всесторонний анализ вибросигнала, что приводит к общим характерным погрешностям при проведении вибродиагностических обследований.

Для различных дефектов, в ряде случаев, спектры гармонических составляющих идентичны. Например, анализ приведенного спектра на рисунке 1 не дает однозначного ответа. Высокое значение второй гармоники частоты вращения ротора (частота показана стрелкой) может указывать на несоосность соединения привода и насоса, перекос и неравномерный износ внутреннего кольца подшипников привода или вибрацию электромагнитного происхождения.

Высокий уровень шумовой составляющей может указывать на ослабление жесткости конструктивных элементов привода или дефекты в подшипниках привода. В процессе спектрального преобразования вибросигнала теряется информация о временном факторе, а также представление о динамике изменения спектрального состава сигнала.

На рисунке 2 приведен спектр, анализ которого не позволил выявить спектральным методом дефект сепаратора. На следующий день после замера произошло разрушение сепаратора, которое привело к аварийной остановке насосного агрегата.

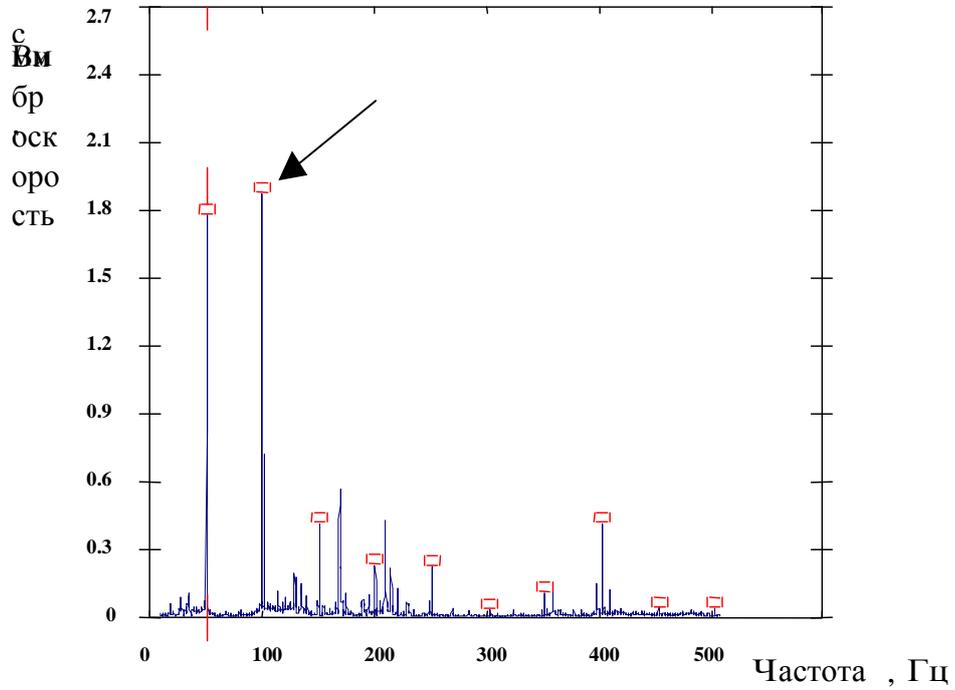
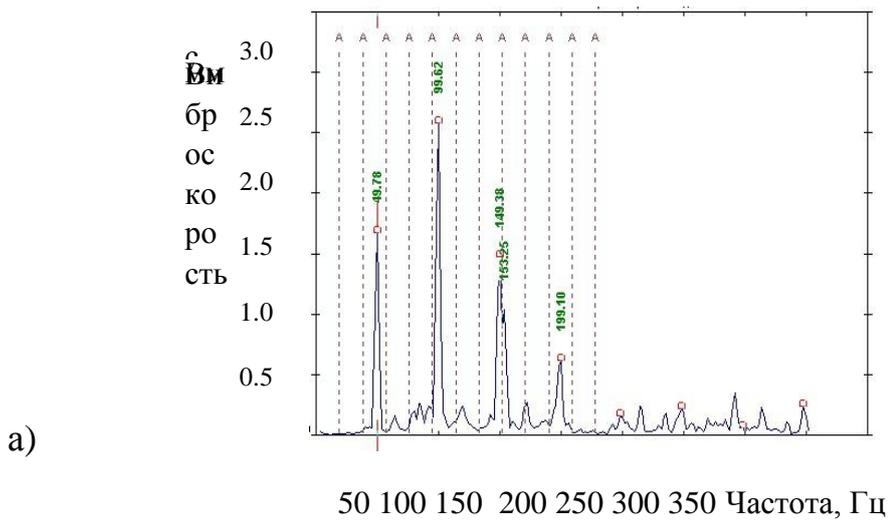


Рис. 1. Спектр вибрации электродвигателя



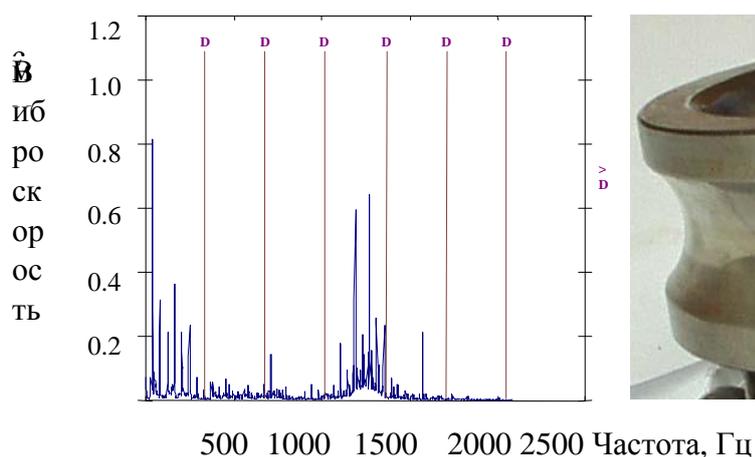


б)

Рис. 2. Спектр вибрации (а) насосного агрегата за день до разрушения сепаратора и поврежденный сепаратор (б) после демонтажа

Из рисунка 2а видно, что ни одна частотная составляющая не совпадает с сеткой частоты вращения сепаратора (показаны пунктирными линиями).

На рисунке 3а приведен спектр для подшипника насоса, у которого в результате некачественного монтажа произошел сильный износ конструктивных элементов подшипника. На рисунке 3б показана внутренняя обойма подшипника, где дорожка качения накатана по краю и имеет неравномерный износ.



а



б

Рис. 3. Спектр вибрации (а) насосного агрегата за четыре дня до разрушения подшипника и дефектная внутренняя обойма (б)

Поэтому для предотвращения таких ситуаций в настоящее время активно разрабатываются новые типы виброанализаторов. В связи с этим возникает необходимость в разработке дополнительных методов анализа вибросигналов, не зависящих от условий работы агрегата и позволяющих более качественно оценивать информацию, получаемую в результате замеров вибрационных параметров дефектных агрегатов. Конструкцию центробежного насоса можно рассмотреть с позиции синергетики, изучающей поведение сложных систем, условия их устойчивости, природу неустойчивостей и эволюцию систем вдали от термодинамического равновесия. Методы синергетики, представляющие собой не что иное, как методы нелинейной физики, дают возможность описать процессы в сложных системах различной природы с помощью некоторых универсальных представлений и моделей. Использование элементов теории детерминированного хаоса в областях нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности в тех или иных аспектах отразилось в работах Мирзаджанзаде А.Х., Ишемгужина Е.И., Хасанова М.М., Смородовой О.В., Солодовникова Д.С. и др. Например, Солодовниковым Д.С. было показано, что для оценки технического состояния насосно-компрессорного оборудования возможно применение метода реконструированных фазовых портретов с использованием теории детерминированного хаоса для достоверного определения таких дефектов, как дисбаланс, несоосность валов, потеря жесткости опор. Эти предпосылки позволяют использовать метод построения фазовых портретов, основанный на теории детерминированного хаоса, для определения дефектов подшипников качения центробежных насосных агрегатов.

В связи с этим необходимо определить алгоритм для построения реконструированных фазовых портретов, характеризующих динамическое поведение ЦНА, непосредственно из самой амплитудно-временной характеристики вибросигналов, а также подобрать количественные характеристики для оценки фазовых портретов применительно к дефектам подшипников как узлов с повышенной вероятностью отказа.

Обследованию подвергались консольные насосы в общем количестве 430 единиц. Замеры производились в каждой точке насосного агрегата в горизонтальном, вертикальном и осевом направлении каждые 30 дней в течение года. Определение технического состояния по вибрационным параметрам производились как по содержанию

соответствующей информации в текущий момент времени, так и на основе анализа изменений ее во времени. Был произведен подбор наиболее оптимальных вибропараметров, способствующих выявлению различных видов дефектов. Производился сбор данных в виде спектров (определялось средне квадратичное значение виброскорости в диапазоне от 3 до 2500 Гц с числом линий в спектре 800 и 1600) и временных сигналов (регистрировался сигнал в режиме ускорения длительностью 160 м/с). Для получения стабильной картины результатов на одном и том же насосе измерения повторялись многократно, а результаты подвергались статистической обработке.

В качестве средства измерения был выбран прибор – спектроанализатор фирмы CSI-2120, который позволяет производить сбор, хранение и анализ спектральных данных с дальнейшей их передачей в базу данных MASTERTREND. Программа позволяет создавать цифровые полотна данных формы волны вибросигналов, необходимые для дальнейшей обработки при помощи методов детерминированного хаоса, в частности, создания фазовых портретов.

Литература

1. Повреждения подшипников / Подшипники. URL: <http://www.pkufa.ru/support/defects/> (дата обр. 2021).
2. Гончаров А., Гай В. Метод вибродиагностики подшипников качения // Информационные системы и технологии. НГТУ. 2015.

Исследование фазовых портретов с различными дефектами подшипников качения

Магистрант Путиловский В.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Скойбеда А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В данной работе задача сводилась к построению фазовых портретов, характеризующих поведение системы. На основе амплитудно-временных сигналов «элементарных» искусственных сигналов, а затем и реальных сигналов виброускорения строились реконструированные аттракторы. Для этого временная последовательность развертывалась в ряд наборов с последовательно возрастающими сдвигами (разностью фаз). Эти наборы и

представляли собой ряд дискретных переменных, необходимых для составления фазового портрета.

Для построения фазовых портретов на основе форм волны вибросигналов была использована программа IMPROS на языке OBJECT PASCAL визуальной среды программирования DELPHI. Внешний вид диалогового окна программы представлен на рисунке 1.

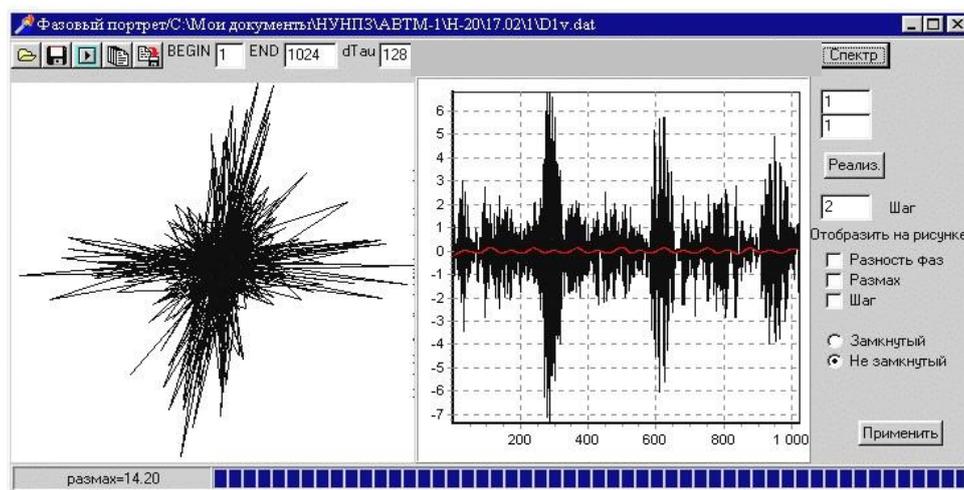


Рис. 1. Внешний вид диалогового окна программы IMPROS для построения фазовых портретов

Анализ статистических данных, собранных службой вибродиагностики в результате обследований группы НКО одного из НПЗ за последние четыре года, показал, что из всей совокупности дефектов в большинстве случаев только один приводит к аварийной ситуации. При этом, по мере развития, его амплитудные значения вибрации начинают преобладать над остальными. Это влияет на детерминированность сигнала, которая начинает определяться характером этого дефекта и динамикой его развития, что, в свою очередь, определяет вид аттрактора. Показателем, свидетельствующим о развитии дефекта при построении фазовых портретов, является рост значения масштабного коэффициента, значение которого равно разности максимального и минимального значений амплитуды исследуемой последовательности виброускорения.

Если в роторном оборудовании развивается не один дефект или степень развития дефекта незначительна, то в этом случае фазовый портрет выглядит как шумовой сигнал, пример которого представлен на рисунке 2а. Для анализа такого фазового портрета требуется разработка рекомендаций по очистке сигнала от шумовой составляющей. С этой

целью применялся программный пакет MATLAB 6.0. Объем выборки оцифрованной формы волны при этом должен содержать не менее чем 2^{10} (1024) значений.

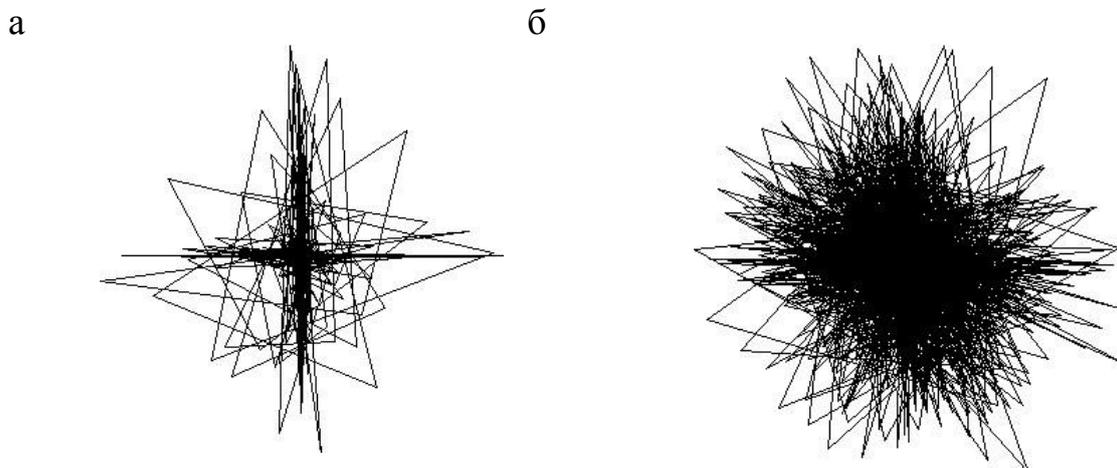


Рис. 2. Фазовый портрет исходного (а) и очищенного от шума (б) сигнала подшипника с раковинной на наружной дорожке качения

Для очищения сигнала от шума использовалось дискретное вейвлет преобразование сигнала (инструментарий программы Wavelet 1-D, вызываемый по команде `wavemenu`). По результатам спектрального анализа выбиралась частота развивающегося дефекта, характер которого требовалось установить, и, по необходимости, отфильтровывался сигнал в этой области.

Проведенными исследованиями было определено, что идентификация дефектов подшипников по фазовым портретам достигается при следующих параметрах очищения сигнала: тип вейвлета `db3`, число уровней дискретизации от пяти до восьми. Максимальный уровень дискретизации – одиннадцать, использовался для более точной локализации детерминированной составляющей в определенном частотном диапазоне. В качестве примера на рисунке 3 представлен зашумленный и очищенный сигнал, содержащий дефект подшипника.

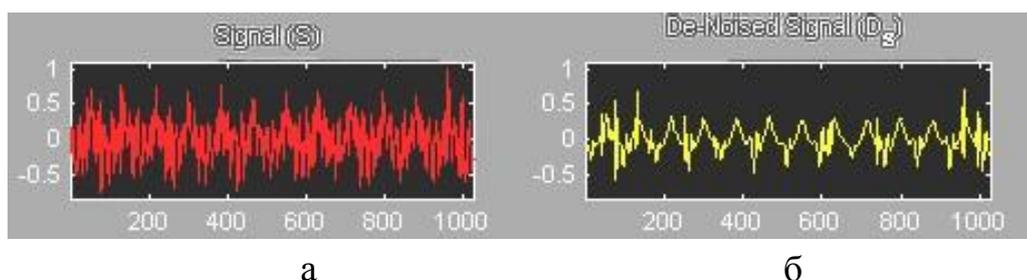


Рис. 3. Исходная (а) и очищенная от шума (б) форма волны (тип вейвлета db3, число уровней дискретизации – восемь)

Из рисунка 3б видно, что при очищении сигнала от шумовой составляющей происходит преобразование фазового портрета в крестообразную форму. Это объясняется тем, что во временном сигнале, содержащем дефекты подшипников, возникают ударные импульсы. Однако при очищении сигнала уменьшается значение масштабного коэффициента, что приводит к снижению истинного значения дефекта. Кроме того, форма фазового портрета в виде крестообразной формы не позволяет определить принадлежность дефекта к какому-либо конструктивному элементу подшипника (сепаратор, тела качения, дорожки качения).

Литература

Нафиков А.Ф., Закирничная М.М., Кузеев И.Р. и др. Применение метода фазовых портретов для технической диагностики насосного оборудования // Прогрессивные технологии в машиностроении и приборостроении, 2003.

Оценка возможности определения дефекта подшипника

Магистрант Путиловский В.А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Скойбеда А.Т.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

На рисунке 1 приведена форма волны, представленная в виде зависимости виброускорения от числа оборотов вала (рисунок 1а) и, для наглядности, в виде зависимости виброускорения от значения выборки сигнала (рис. 1б).

Значение виброускорения (G) составляет $9,81 \text{ мм/с}^2$.

На рисунке 1б видны три участка с максимальными всплесками вибрации, помеченные буквой А. Для каждого участка, представленного в виде отдельного диапазона на рисунке 2, был построен соответствующий фазовый портрет, показанный на рисунке 3.

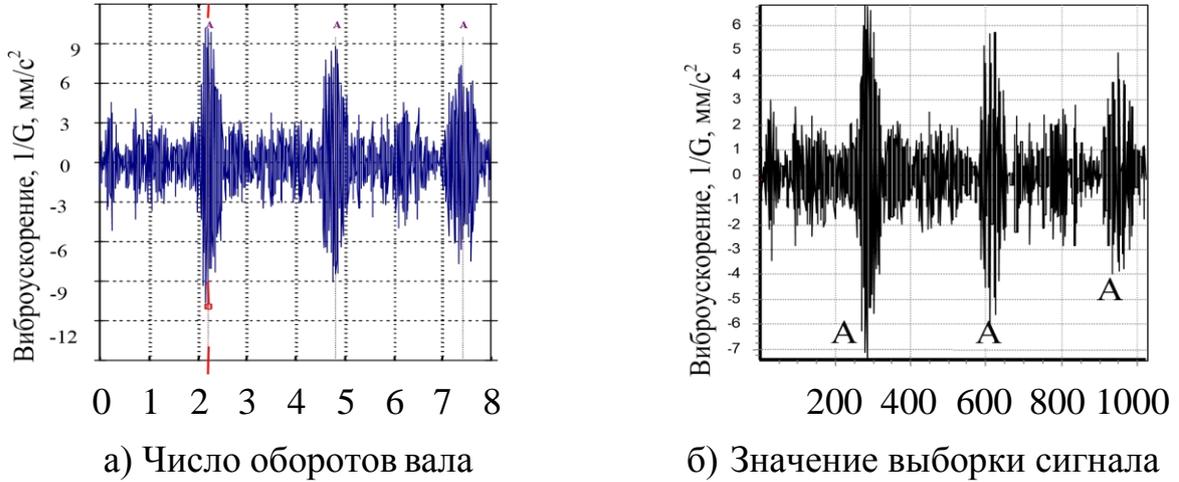
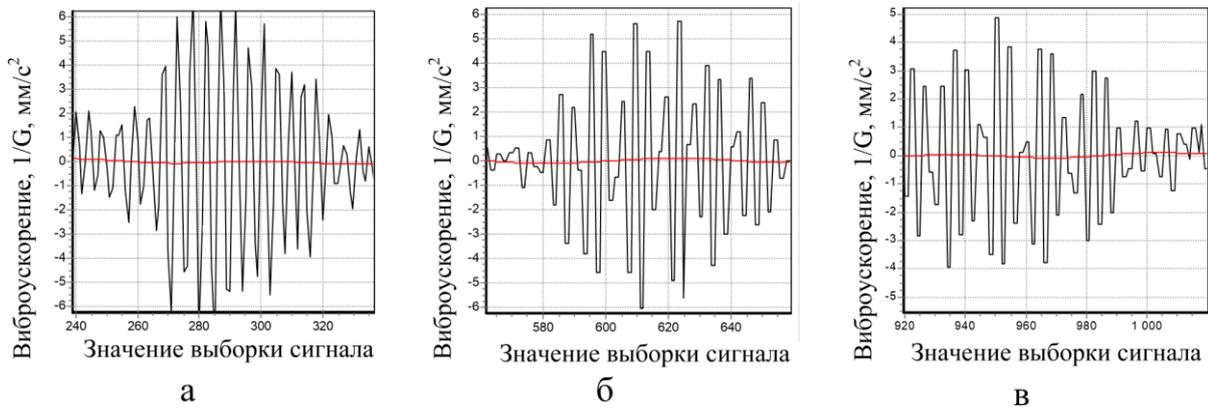
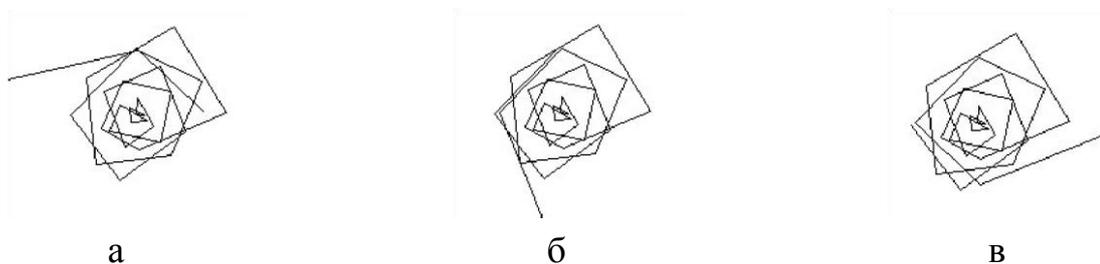


Рис. 1. Исходная форма волны вибросигнала, полученная с помощью программ MASTERTREND (а) и IMPROS (б)



а – 270-300; б – 610-640; в – 950-980

Рис. 2. Узкополосные участки исходной формы волны вибросигнала



а – 270-300; б – 610-640; в – 950-980

Рис. 3. Фазовые портреты, построенные по соответствующим узкополосным участкам. Масштабный коэффициент 14,21.

Данный метод анализа формы волны эффективен на начальной стадии зарождающихся дефектов, когда в вибросигнале шумовая составляющая импульсы от других видов дефектов проявляются слабо. Он позволяет отметить время зарождения дефекта и служить сигналом для проведения дополнительных обследований агрегата.

Однако очень часто в форме волны вибросигнала отсутствуют явные ударные импульсы, хотя на спектре присутствуют составляющие, характеризующие наличие дефектов в агрегате. В таком случае можно использовать другой подход определения дефектов в подшипниках качения, основанный на сравнении фазового портрета исследуемого насосного агрегата с фазовым портретом, соответствующим предельному состоянию конструктивного элемента.

Для построения фазовых портретов конструктивных элементов подшипников в предельном состоянии были определены значения амплитуды, соответствующие основным частотам подшипниковой вибрации, которые, в свою очередь, были рассчитаны по общеизвестным формулам для подшипников, применяемых на исследуемых агрегатах. На рисунке 5а показано наложение на спектр сетки частот подшипниковой вибрации, соответствующих дефекту сепаратора. Значение амплитуды пика на частоте 20 Гц (по которому произошло наложение) использовалось для построения «искусственного» спектра (рисунок 5б), соответствующего этому дефекту.

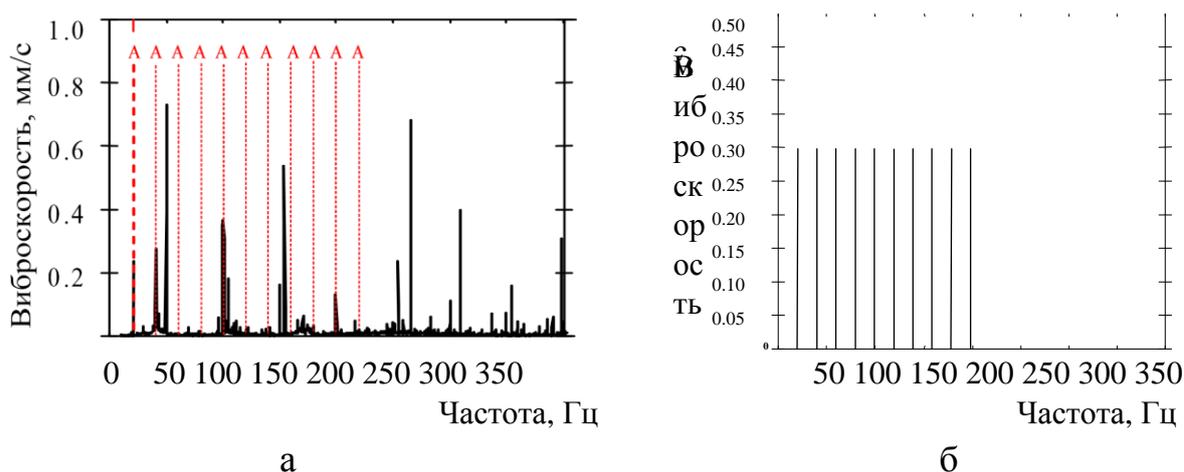


Рис. 5. Спектры реального (а) и «искусственного» (б) сигнала

Аналогичным образом были получены «искусственные» спектры остальных дефектов конструктивных элементов подшипника. На их

основе построены «элементарные» фазовые портреты, представленные на рис. 6.

Отработка представленного выше подхода при оценке технического состояния подшипников качения была проведена на основе анализа вибросигнала на конкретном примере с развитым дефектом подшипника. Для этого поочередно складывались реальный сигнал, спектр которого показан на рисунке 7а, искусственно созданные сигналы для дефектов конструктивных элементов подшипника с амплитудой, равной величине максимального пика, показанного горизонтальной стрелкой. В качестве примера на рисунке 7б приведен спектр, полученный сложением реального спектра и спектра «искусственного» сигнала, соответствующего дефекту внутренней дорожки качения. По полученным в результате сложения сигналам были построены фазовые портреты.

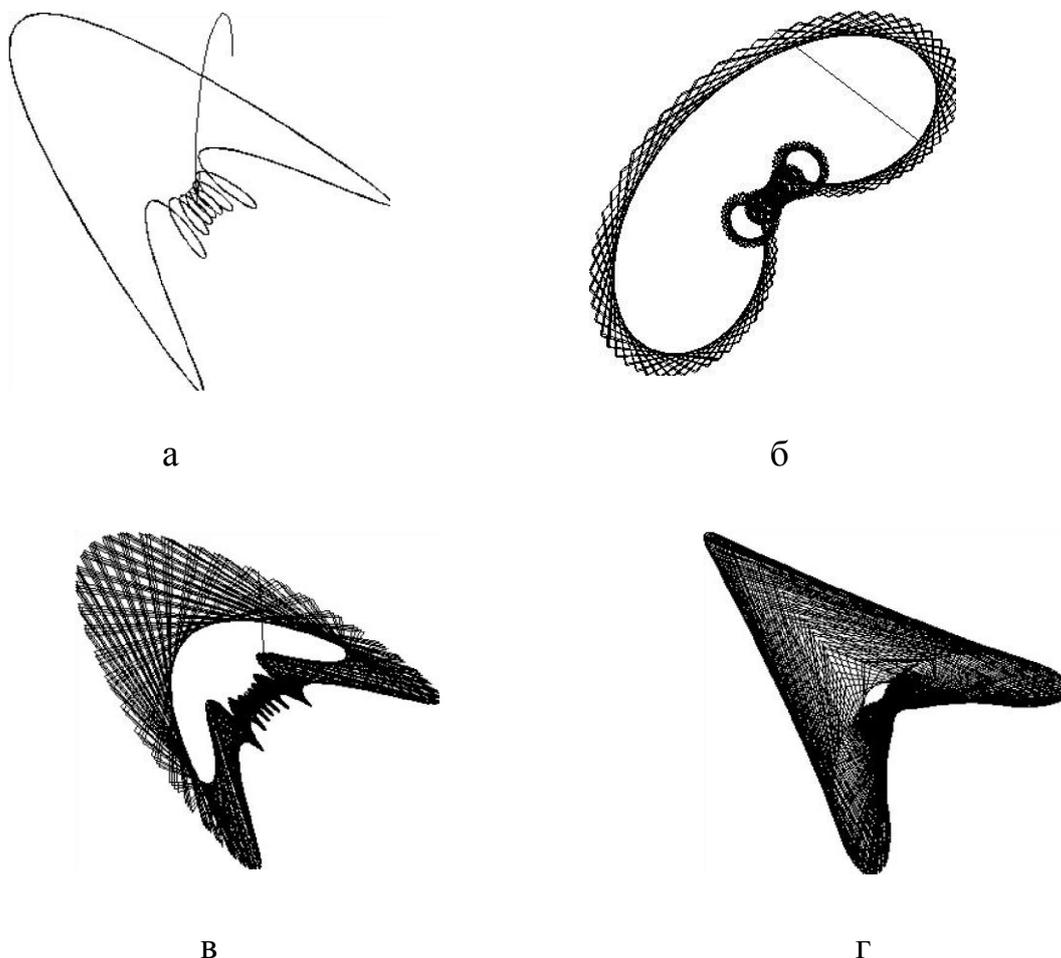


Рис. 6. Элементарные фазовые портреты «искусственных» сигналов, соответствующие дефектам сепаратора (а), тел качения (б), наружного кольца (в), внутреннего кольца (г)

По мере необходимости сигналы очищались от основных несущих частот, способствующих зашумлению фазового портрета. Построенные фазовые портреты сравнивались с соответствующими «элементарными» фазовыми портретами. В результате сравнения было определено, что в данном случае подшипник содержит дефект внутренней дорожки качения (рисунок 6). Данный вывод был подтвержден в результате визуального осмотра подшипника после остановки агрегата. Фотография дефектного участка представлена на рисунке 9.

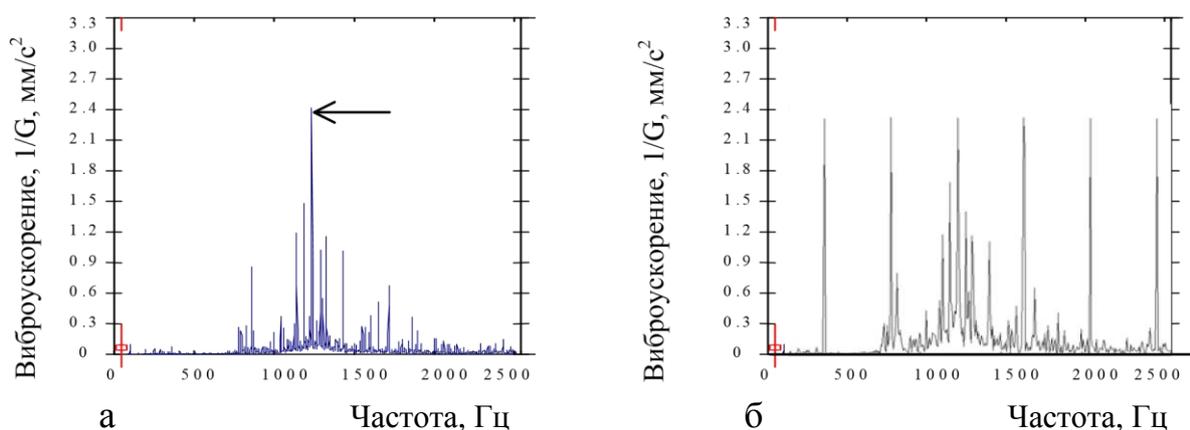


Рис. 7. Спектры вибрации реального (а) и суммированного сигнала (б)

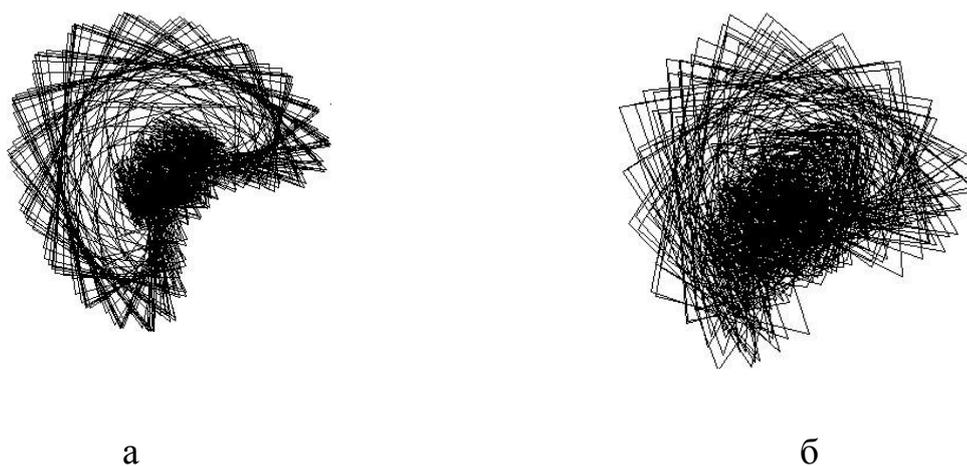


Рис. 8. Фазовые портреты дефектного подшипника: а – элементарный сигнал; б – суммированный сигнал



Рис. 9. Дефект на внутренней дорожке качения

Данная методика применялась для идентификации дефектов на ранней стадии развития. С этой целью был выбран насосный агрегат с зарождающимся дефектом сепаратора подшипника.

Периодически проводились замеры вибрации, производилась предварительная очистка сигнала от основных рабочих частот с использованием подобранных ранее параметров очистки (вейвлет Добеши, число дискретизации 11). При этом шумовая составляющая не исключалась.

Далее строились фазовые портреты на основе суммы реального и «искусственного» сигнала, соответствующего дефекту сепаратора. Видно, что фазовый портрет начинает приобретать форму, соответствующую дефекту сепаратора, с момента, когда амплитуда частоты, относящаяся к его вибрации, превышает шумовую составляющую в 2,5 раза.

Литература

1. Автоматизированная система обработки и анализа виброакустических сигналов URL: <http://www.pkufa.ru/support/defects/>
2. Выявление дефектов подшипника качения с использованием системы признаков/ В. Гай [и др.] // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13, № 3. С. 3136.
3. Метод оценки частоты основного тона в условиях помех // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 4. С. 171.

Проблемы трения в современной технике

Студент гр. 10110118 Гремчук И.М.

Научный руководитель – доцент Дубовская Е.М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Надежность и долговечность автомобильного, сельскохозяйственного и других и других видов транспорта во многом обусловлены явлениями трения и изнашивания, происходящими в узлах машин.

Изнашивание приводит к нарушению герметичности узлов, потери точности взаимного расположения деталей и перемещений. Возникают заклинивания, удары, вибрации, приводящие к поломкам. Трение приводит к потерям энергии, перегреву механизмов, снижению передаваемых усилий, повышенному расходу горючего и других материалов. Кроме того, трение также оказывает положительное влияние - работа механизмов торможения, сцепления, движения колес. Явления трения и изнашивания взаимно обусловлены: трение приводит к изнашиванию, а изнашивание поверхностей деталей в ходе работы приводит к изменению трения.

Проблемы трения, износа и смазки в машинах изучает наука трибология. Современная наука трибология изучает трение, износ, смазку в процессе взаимодействия контактирующих поверхностей при их взаимном перемещении. Кроме того, трибология охватывает теоретические и экспериментальные исследования физических, химических, биологических и других явлений, связанных с трением. Прикладными задачами по повышению износостойкости и управлению трением за счет применения новых конструкций узлов, материалов и эксплуатационных приемов занимается триботехника.

К настоящему времени трибология окончательно сформировалась как самостоятельная отрасль знаний. На сегодняшний день во многих развитых странах имеются научные трибологические центры, ведется подготовка инженеров-трибологов. Решение проблем трения, изнашивания и смазки позволяет добиться высокого экономического эффекта: снижение потребления энергии, затрат на смазочный материал и техническое обслуживание.

Знание основ триботехники является важным аспектом при подготовке специалистов по инженерным специальностям. Полученные

знания позволяют правильно рассчитать и применить конструкцию трибосопряжения; подобрать соответствующие материалы пар трения; назначить оптимальные режимы работы узла трения; выбрать наиболее эффективные технологические методы изготовления, обработки и упрочнения трибологических материалов; обеспечить надлежащие режимы эксплуатации, ремонта и обслуживания машин.

Повышенный износ деталей в сочленениях в одних случаях нарушает герметичность рабочего пространства машины (например, в поршневых машинах), в других – нарушает нормальный режим смазки, в третьих – приводит к потере кинематической точности механизма. В результате изнашивания понижается мощность двигателя, увеличивается расход горюче-смазочных материалов, падает производительность компрессоров, возникает возможность утечки ядовитых и взрывоопасных продуктов через сальники и уплотнения, понижаются тяговые качества транспортных машин, ухудшается управление самолетами и автомобилями (понижается безопасность движения), уменьшается производительность, снижается точность и качество обработки изделий на металлорежущих станках и т.д.

Износ инструмента и рабочих органов машин, помимо снижения производительности, повышает расход энергии. Например, с износом и затуплением зубьев ковша экскаватора уменьшается сечение срезаемой стружки грунта, увеличивается сопротивление резанию последнего, требуется больший путь для заполнения ковша.

Износ и повреждение поверхностей снижают сопротивление усталости деталей и могут служить причиной их разрушения даже при незначительных концентраторах напряжений и весьма низких номинальных напряжениях. Повышенный износ нарушает нормальное взаимодействие деталей в узлах, может вызвать значительные дополнительные нагрузки, удары в сопряжениях и вибрации, стать причиной внезапных разрушений. С повышенным износом нередко связан недопустимый шум машин.

Заедание или заклинивание деталей может привести к аварийной ситуации. Так, заедание лопатки ротора масляного насоса может вызывать его заклинивание, прекращение подачи масла к подшипникам и аварию машины.

В многозвенных механизмах даже небольшой износ отдельных элементов может суммироваться на ведомом звене и нарушать нормальное функционирование механизма.

Износ цилиндропоршневой группы двигателя увеличивает засорение воздуха отработавшими газами: 100 изношенных автомобилей загрязняют воздух отработавшими газами как 125 новых автомобилей. Примечательно, что масса механизма или машины по мере их износа уменьшается незначительно.

Например, автомобильный двигатель средней мощности после полного износа имеет потерю массы не более 1 % от исходной, а грузовой автомобиль средней грузоподъемности – не более 3 кг.

Выход из строя деталей и рабочих органов машин при нормальных условиях эксплуатации является следствием физического износа разных видов: усталостных разрушений, ползучести материалов, механического износа, коррозии, эрозии, кавитации, старения материала и др.

Особенно велик износ деталей и рабочих органов машин орудий, которые эксплуатируются в абразивной и агрессивной средах, и деталей транспортных машин, работающих в условиях грязи и пыли. Например, ресурс дробящих плит составляет в среднем 4...6 месяцев, зубьев ковшей экскаваторов, скреперов и бульдозеров, шнеков – 6...8 месяцев. На дробилке массой 6 т при дроблении высокоабразивных пород расходуется в год 17 т дробящих плит. Контрольные сроки службы до капитального ремонта угольных комбайнов – 8...12 месяцев, а конвейеров в угольных шахтах – 2...3 года. Дизели, установленные на мощных автосамосвалах, требуют капитального ремонта после 1500...2000 ч работы, т.е. через 6...8 месяцев. Бортовые шестерни тракторов работают до замены не более 2000...2500 ч, срок службы транспортных трансмиссий до ремонта составляет 2500...3500 ч.

За сезон работы тракторов на песчаных почвах приходится заменять два-три комплекта гусениц, что в среднем обходится в 50 % стоимости нового трактора. Лемех тракторного плуга в среднем обрабатывает до полного износа всего 15...20 га почвы, это вынуждает ежегодно изготавливать для сельского хозяйства свыше 20 млн лемехов, не говоря уже о том, что на тяжелых почвах режущая кромка лемеха требует ремонта через 4...6 га работы плуга. Годовая потребность в запасных звеньях приводных цепей сельскохозяйственных машин составляет около 100 млн штук.

Для двигателей автомобилей, тракторов и комбайнов следует отметить, что за весь срок службы их ремонтируют до 5 раз. Ресурс двигателя после ремонта по сравнению с ресурсом нового двигателя составляет 40...50 %.

Большинство машин (85...90 %) выходит из строя по причине износа деталей. Затраты на ремонт и техническое обслуживание машины в несколько раз превышают ее стоимость:

- для автомобилей в 6 раз;
- для самолетов до 5 раз;
- для станков до 8 раз.

На ремонт тракторов задействовано в 4 раза больше производственных мощностей, чем на их изготовление. Легковой автомобиль, имеющий массу 1000 кг, становится непригодным для ремонта, если потеря его массы от износа составит 1 кг. Проанализировано и подсчитано, что для списания трактора Т-130 на запасные части для ремонта и технического обслуживания нужно израсходовать столько же металла, сколько он сам весит – 12·103 кг.

Причинами малого ресурса двигателей после ремонта являются:

- низкое качество обработки поверхностей деталей; станки ремонтных предприятий не обеспечивают той точности обработки, которую имеют детали, изготовленные на заводах серийной продукции;
- отсутствие средств надежной промывки деталей перед сборкой, запыленность абразивной пылью сборочных цехов, в целом – невысокая культура производства;
- плохая приработка деталей после ремонта, отсутствие современных испытательных стендов, приборов, контролирующих процесс приработки, загрязненность абразивами смазочных и гидравлических систем;
- недостаточная специализация производства на ремонтных предприятиях по сравнению с ее уровнем на заводах серийной продукции, что не позволяет разрабатывать и реализовывать наиболее рациональные технологические процессы; результатом этого является в первую очередь малый срок службы деталей.

Велики потери в результате снижения мощности двигателей от износа деталей. По данным С.А. Серова, суммарная мощность двигателей внутреннего сгорания, установленных только на автомобилях, тракторах и

различных самоходных установках, достигает в нашей стране 0,5 млрд кВт.

Изношенные двигатели внутреннего сгорания при работе значительно загрязняют атмосферу отработавшими газами по сравнению с новыми двигателями.

Большие материальные потери народное хозяйство терпит от повышенного трения в узлах машин. Известно, что более половины топлива, потребляемого автомобилями, тепловозами и другими видами транспорта, расходуется на преодоление сопротивления, создаваемого трением в подвижных сочленениях. В текстильном производстве на преодоление сопротивления трению затрачивается около 80 % потребляемой энергии. Низкий КПД многих машин обусловлен главным образом большими потерями на трение. Так, КПД глобоидного редуктора, устанавливаемого в лифтах, металлорежущем оборудовании, шахтных подъемниках и др., в приработанном состоянии составляет только 0,65...0,70, а в такой распространенной паре, как винт-гайка, всего лишь 0,25.

Интенсивное развитие машиностроения непрерывно стимулирует деятельность специалистов в области триботехники, ставя перед ними новые задачи. Развитие космических исследований, атомной энергетики требует обеспечения работоспособности трущихся сопряжений в широком диапазоне температур (от криогенных до 1500 °С), в вакууме, агрессивных средах, жидкостях, не обладающих смазочным действием, в том числе жидких металлах, в условиях интенсивной радиации. Необходима разработка материалов для работы подшипников в биологически активных средах.

Общей проблемой для ряда отраслей промышленности: автомобильной, тракторной, судостроительной и др. – является повышение надежности, долговечности и коэффициента полезного действия поршневых двигателей внутреннего сгорания. Новые задачи возникли в связи с созданием более экономичных и экологически чистых двигателей, работающих на водородном топливе, адиабатических и автомобильных газотурбинных двигателей.

Триботехника, как и другие науки, непрерывно развивается. Этапы ее развития связаны с созданием корабельной техники, металлообрабатывающей промышленности, железнодорожного транспорта, автомобильной промышленности, авиации и космонавтики.

Из анализа опубликованных трудов конференций, семинаров и др. можно подразделить вопросы развития триботехники на следующие части, которые содержат самостоятельные этапы:

- учение о трении и изнашивании деталей машин;
- конструктивные решения вопросов трения и изнашивания;
- технологические методы повышения износостойкости деталей;
- эксплуатационные мероприятия по повышению долговечности машин.

Триботехнике как науке приходится решать различные задачи, из них можно выделить наиболее фундаментальные:

- исследование механизмов трения и изнашивания трибосопряжений и моделирование процессов, протекающих в области контактного взаимодействия при трении;
- разработка методов управления этими процессами с целью повышения долговечности и надежности трибосопряжений;
- разработка расчетных методов оценки контактной жесткости, сил трения и долговечности трибосопряжений при заданных эксплуатационных условиях.

Основные прикладные задачи триботехники это:

- обеспечение требуемых значений контактной жесткости, износостойкости, долговечности трибосопряжений при заданных условиях эксплуатации;
- снижение энергетических потерь на трение (опоры), обеспечение высокой энергоемкости (тормоза, фрикционные передачи);
- экономия материалов за счет снижения их износа;
- решение экологических проблем.

В настоящее время в развитии триботехники появились новые перспективные направления развития, такие как:

- развитие теория трения и изнашивания на микро- и наномасштабных уровнях;
- разработка присадок к маслам с использованием нанотехнологий; - компьютерное моделирование сложных трибосистем;
- создание новых смазочных материалов и покрытий, использование эффекта «суперсмазки»;
- развитие методов расчета на долговечность трибосопряжений с многослойными нанопокрывтиями с учетом параметров поверхностного рельефа;

- построение моделей механики фрикционного взаимодействия с учетом изменения свойств поверхностных слоев в процессе трения и изнашивания, в том числе с учетом протекающих в зоне контактного взаимодействия химических реакций, влияющих на свойства поверхностных слоев и скорость их деформирования;

- построение моделей контактного взаимодействия с учетом массопереноса вещества с одной поверхности пары трения на другую;

- объединение подходов трибохимии и трибомеханики (учет влияния напряженного состояния в контакте на протекание химических реакций);

- разработка методов управления физическими, механическими и химическими процессами на поверхностях трения;

- изучение роли геометрии поверхности (параметров ее шероховатости и субшероховатости) в протекании процессов фрикционного взаимодействия, особенно для наноструктурированных материалов;

- развитие многомасштабного моделирования процессов фрикционного взаимодействия;

- развитие ионно-плазменных технологий; - разработка присадок к маслам с использованием нанотехнологий;

- развитие средств трибодиагностики и трибомониторинга, включая встроенные и портативные системы;

- изучение трения и износа в суставах живых существ, а также износа зубов.

Важным фактором в развитии трибологии является разработка и использование нового оборудования для проведения микро- и наноисследований, испытательных машин для исследования триботехнических свойств материалов, оборудования и приборов для изучения тонких поверхностных слоев (и самих поверхностей), высокоэффективных присадок к смазочным маслам.

Борьба с трением и износом машин требует комплексных исследований теоретических основ трения, износа и смазки, совершенствования инженерных методов расчета узлов трения при проектировании машин, создания новых материалов, а также новых принципов конструирования и новых технологий изготовления узлов трения и материалов для них, подготовка высококвалифицированных специалистов в области трения.

Литература

Беркович, И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: учеб. для вузов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; под ред. Д.Г. Громаковского. – Самара: Изд-во Самар. гос. техн. ун-та, 2000. – 268 с.

Гаркунов, Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность: учеб. для вузов / Д.Н. Гаркунов. – М.: Изд-во МСХА, 2001. – 616 с.

Демкин, Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей: учеб. пособие / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 226 с.

Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ: учеб. для вузов / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

**Анализ модельного ряда и подходов
к диагностике ГМП НА МЗКТ**

Магистрант МСФ Дубовик А.В.

Научный руководитель – доц. Капуста П.П..

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Модельный ряд по основным изделиям составляет ГМП с диапазоном мощностей от 150 до 850 л.с. и предназначен для установки в состав трансмиссий соответствующего ряда шасси МЗКТ.

Гидромеханическая коробка передач состоит из гидротрансформатора и механической коробки передач (Рис. 1).

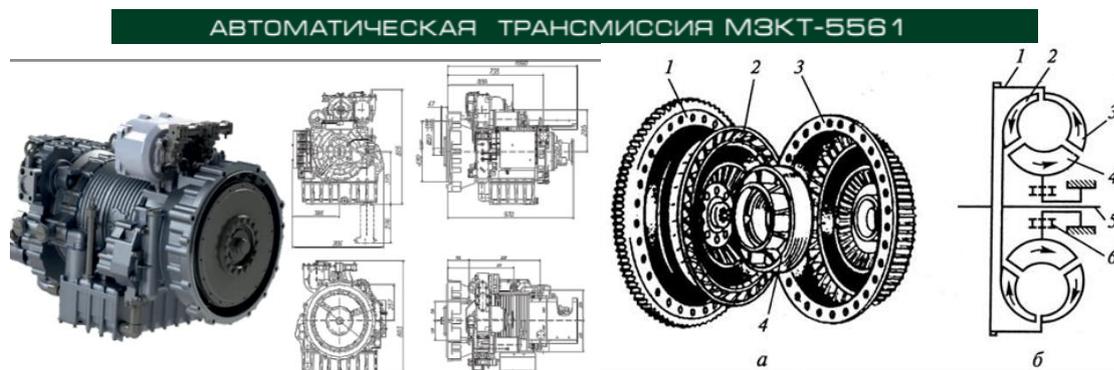


Рисунок 1 - Гидротрансформатор:

а – общий вид; б – схема; 1 – маховик; 2 – турбинное колесо; 3 – насосное колесо; 4 – реактор; 5 – вал; 6 – муфта.

ТЕХНИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ			
ХАРАКТЕРИСТИКИ		СИСТЕМА СМАЗКИ	
Макс. входная мощность	404 кВт	Емкость системы	60 л
Макс. входной момент	2100 Нм	Фильтрующие элементы	1 сменный, 1 встроенный
Макс. входная частота вращения	2400 мин ⁻¹	Применяемое масло	Марка A, Dextron III
Сухой вес	580 кг	АВАРИЙНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	
ГИДРОТРАНСФОРМАТОР		Гидравлическая, в ручном включение первой передачи и передачи заднего хода	
Тип	одноступенчатый, 3-элементный, полифазный	УСТАНОВКА/КРЕПЛЕНИЕ	
Коэффициент трансформации	2	К двигателю	SAE No.1
ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ОТНОШЕНИЯ (Без учета коэффициента трансформации)		К шасси	Возможно дополнительное крепление в задней части трансмиссии
	1-ая	4.4 : 1	
	2-ая	2.2: 1	
	3-ая	1.52: 1	
	4-ая	1.0: 1	
	5-ая	0.74: 1	
	6-ая	0.65: 1	
	Задний ход	- 4.95: 1	
Порядок переключения [С = гидротрансформатор не заблокирован; L = гидротрансформатор заблокирован]		Варианты отбора мощности: Один постоянный выход ($i=0,83$) Три постоянных выхода ($i_{1,2}=1,136$; $i_3=1,065$) Два постоянных выхода ($i_{1,2}=1,136$), один выход с возможностью отключения ($i_3=1,065$)	
Опция 1: 1C[1L]-2C-2L-3C-3L-4C-4L-5L Опция 2: 1C[1L]-2C-2L-3C-3L-4C-4L-5L-6L			
		ВАРИАНТЫ ОТБОРА МОЩНОСТИ	
		Постоянный отбор мощности	
		30 кВт	
		Кратковременный отбор мощности	
		100 кВт	
		Расположение отбора мощности	
		на 12 часов (если смотреть сзади)	

Конструкция и кинематические схемы переключения передач ГМП МЗКТ

Гидротрансформатор представляет собой гидравлический механизм, который размещен между двигателем и механической коробкой передач. Он состоит из трех колес с лопатками: насосного (ведущего); турбинного (ведомого); реактора. Насосное колесо 3 закреплено на маховике 1 двигателя и образует корпус гидротрансформатора, внутри которого размещены турбинное колесо 2, соединенное с первичным валом 5 коробки передач и реактор 4, установленный на роликовой муфте 6 свободного хода. Внутренняя полость гидротрансформатора на 3/4 своего объема заполнена специальным маслом малой вязкости.

Гидромеханические трансмиссии имеют гидромеханическую коробку передач, в состав которой входят гидродинамический преобразователь момента (гидротрансформатор, комплексная гидропередача) и механический редуктор. Преимущества этих трансмиссий состоят в автоматическом изменении крутящего момента в зависимости от внешних. Основным недостатком этих трансмиссий является сравнительно низкий КПД из-за низкого КПД гидротрансформатора. При КПД гидропередачи не ниже 0,8 диапазон изменения момента не более трёх, что вынуждает иметь механический редуктор на три-пять передач, включая передачу заднего хода. Необходимо иметь специальную систему охлаждения и подпитки

гидроагрегата, что увеличивает габариты моторно-трансмиссионного отделения.

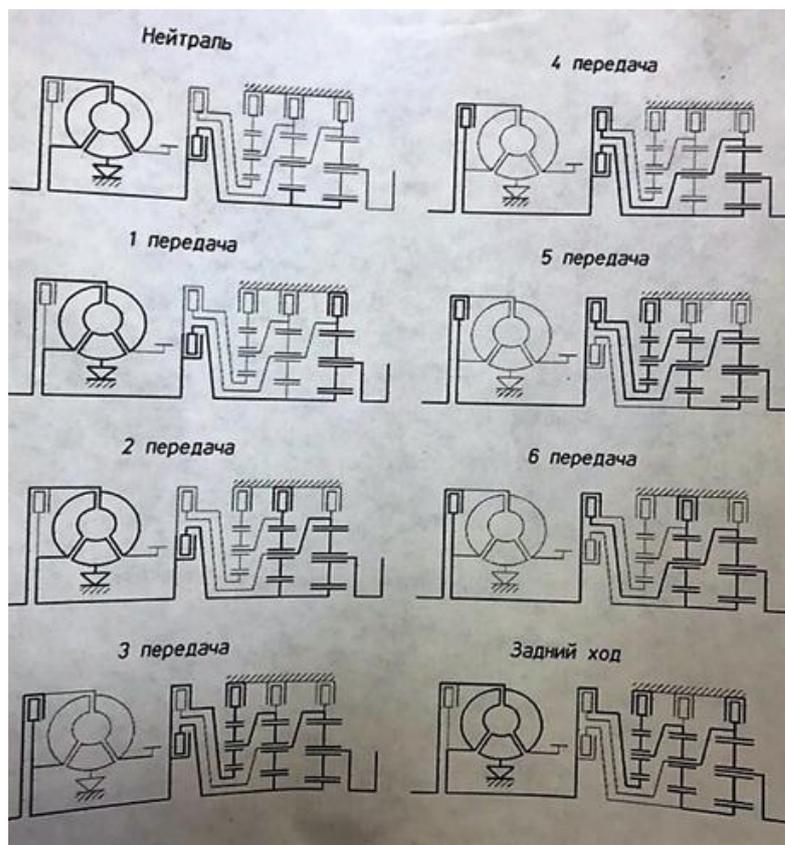


Рисунок 2 - Кинематические схемы переключения передач ГМП

Без специальных автологов или фрикционов не обеспечиваются торможение двигателем и пуск его с буксира. Возможность автоматизации переключения передач и облегчении управления, фильтрации крутильных колебаний и снижении пиковых нагрузок, действующих на агрегаты трансмиссии и двигатель, и в повышении вследствие этого надёжности и долговечности двигателя и трансмиссии.

Разработка новых типов ГМП МЗКТ является инновационной, а следовательно, может найти очень широкое применение во многих трансмиссиях мобильных машин различного назначения.

Переключение скоростей планетарной гидромеханической трансмиссии производится при помощи фрикционных муфт. Также для сглаживания ударов при переключении на пониженную, применяют специальный тормоз. При работе «тормоза» снижается величина крутящего момента на фрикционных муфтах ГМП, при этом переключение скоростей более плавное, нежели у валвных аналогов. Плавное переключение передач планетарной трансмиссии также

обеспечивает гидравлический трансформатор. На рисунках 10, 11 представлена гидравлическая схема переключения передач ГМП.

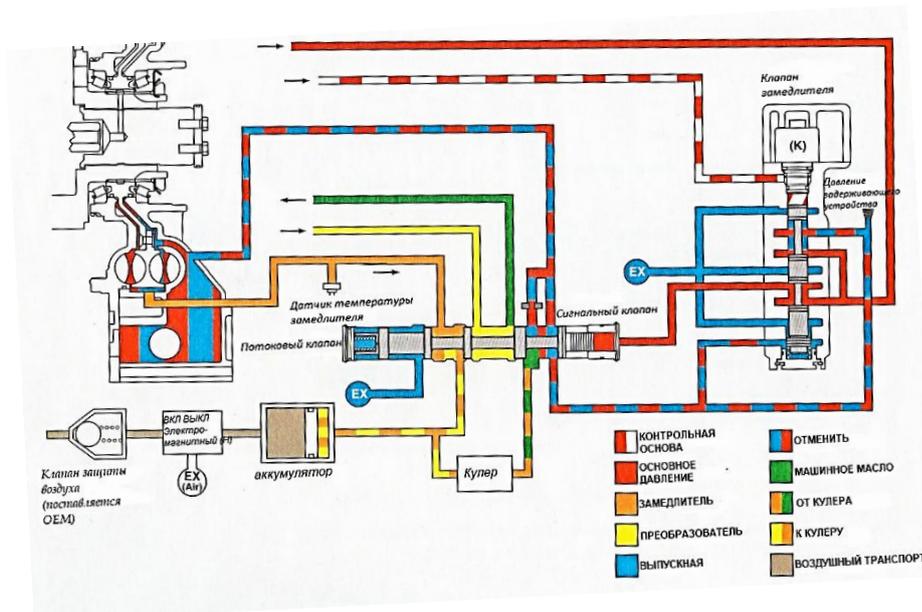


Рисунок 3—Схема гидравлического управления ГМП

Проводится анализ приемочно-сдаточных испытаний (промежуточных постадийной сборки, стендовых на форсированных режимах, эксплуатационных для экспертной оценки нагрузочных режимов и режимов переключения передач).

По завершении указанного этапа проводятся детальные расчетно-экспериментальные исследования и предварительная доводка ГМП и трансмиссий.

Мониторинг работоспособности ГМП и ГМТ по результатам непрерывной диагностики в условиях эксплуатации.

Литература

1. Скойбеда, А.Т. Гидромеханические передачи мобильных машин. Проектирование и диагностика / А.Т. Скойбеда, С.А. Рынкевич, – Могилев: УПКП «Могилев. обл. укруп. типогр. им. С.Соболя», 2014. – 230 с.: ил.
2. Герике, Б.Л. Диагностика горных машин и оборудования / Б.Л. Герике – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 310 с.
4. Богдан, Н.В. Техническая диагностика гидросистем / Н.В. Богдан, М.И. Жилевич, Л.Г. Красневский. – Мн.: УП «Белавтотракторостроение», 2000. – 120 с.

5. Тарасик, В.П. Технологии искусственного интеллекта в диагностировании автотранспортных средств / В.П. Тарасик, С.А. Рынкевич – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2007. – 280 с.

6. ГОСТ 30241.1-96. Системы контроля и управления электронные для автотракторной техники. Общие технические условия. – Минск: Межгосуд. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1997, – 30 с.

7. ГОСТ 25176-82. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация, общие технические требования. – Москва: 1986, – 9 с.

8. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ. 2009, – 9 с.

9. Косенков А.А. Устройство автоматической коробки передач и трансмиссий.- Ростов-на-Дону, 2003.

10. ОСТ 37.001.407-85 Трансформаторы гидродинамические, передачи гидромеханические. Методы стендовых испытаний.

11. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. – М.: ООО «Издательство АСТ», 2003.