

УДК 621.833

**В.Е. СПИЦЫН, В.Н. КУПЧИК, А.И. МИРОНЕНКО, Е.А. ГАМЗА***ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», Украина***УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ СТЕНДЫ  
ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ УГЛОВЫХ РЕДУКТОРОВ  
ПО ЗАМКНУТОМУ КОНТУРУ**

Представлены созданные и работающие стенды замкнутого контура для испытаний угловых редукторов различных газотурбинных установок кораблей на воздушной подушке. Освещены основные проблемные вопросы, которые возникли при проектировании стендов и испытания на них редукторов. Показаны существенные преимущества указанных стендов по сравнению с полноразмерными испытаниями редукторов с приводом от газотурбинного двигателя.

**стенд замкнутого контура, угловой редуктор, испытания, крутящий момент, центровка, частота вращения, трансмиссия**

**Введение**

Газотурбинные установки (ГТУ) для кораблей на воздушной подушке, которые создаются в ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», оснащены в основном угловыми редукторами с применением конических зубчатых передач. Ресурсные (длительные) испытания этих редукторов первоначально проводились на полноразмерных стендах с приводом от газотурбинного двигателя (ГТД) и применением мощных загрузочных устройств или штатных движителей (воздушных винтов). Однако, выполнение таких испытаний требовало огромных энергетических и материальных затрат на работу ГТД. Поэтому, с увеличением количества вновь создаваемых ГТУ для кораблей на воздушной подушке назрела необходимость в новых более экономичных стендах для длительных испытаний угловых редукторов. Таким требованиям отвечают стенды, работающие по методу замкнутых мощностей, с приводом от электродвигателя и нагружением специальными нагрузочными.

В известных публикациях [1 – 3] дана информация только о стендах для цилиндрических редукторов или для чисто конических зубчатых передач находящихся в одном корпусе. В связи с этим перед

конструкторами предприятия была поставлена задача создания универсальных стендов для испытаний угловых редукторов с коническими зубчатыми колесами для различных модификаций ГТУ.

**1. Требования к стендам  
для испытаний угловых редукторов**

Стенд для испытаний угловых редукторов представляет сложное инженерное сооружение с многочисленными несущими конструкциями и вспомогательными системами (электрическими, измерительными, смазки, управления и др.). Для проверки всех функциональных задач, возложенных на редуктор, создаваемые стенды должны обеспечивать:

- достаточную жесткость его несущих конструкций во избежание недопустимых расцентровок испытываемых редукторов;
- возможность центровки редукторов при их расположении в рамке замкнутого контура;
- создание экстремальных условий испытаний по отдельным параметрам (крутящему моменту, частоте вращения, температуре масла и т.д.);
- установку масляной системы, максимально соответствующей штатному исполнению всех испытываемых редукторов;
- установку контрольно-измерительной аппара-

туры с текущей записью всех испытуемых параметров на ЭВМ.

Всем указанным требованиям соответствуют два стенда, созданных для испытаний угловых редукторов для различных модификаций ГТУ.

## 2. Принцип работы стенда

Принципиальная схема испытательного стенда показана на рис. 1.

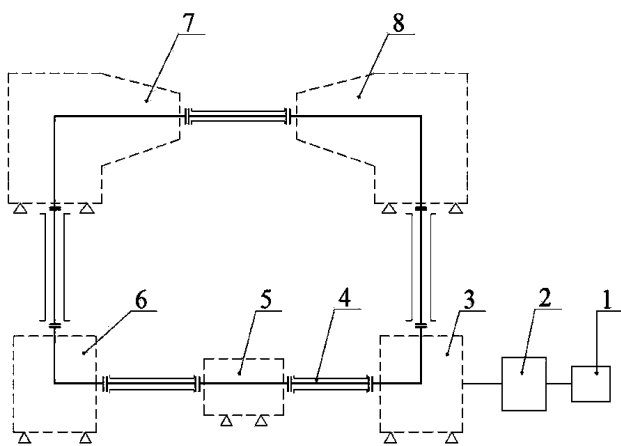


Рис. 1. Принципиальная схема испытательного стенда:

- 1 – электродвигатель; 2 – мультипликатор;
- 3, 6 – нижние редукторы; 4 – рессора ИКМ;
- 5 – нагрузитель; 7, 8 – верхние редукторы воздушного винта

Замкнутая система испытуемых редукторов приводится во вращение электродвигателем постоянного тока 1 с плавной регулировкой частоты вращения. Привод осуществляется через стендовый мультипликатор 2, повышающий частоту вращения до требуемой. Величина крутящего момента, циркулирующего в замкнутом контуре, контролируется по углу закрутки тарированной рессоры 4 с выдачей замера на прибор измерения крутящего момента (ИКМ). Для измерения крутящего момента используются фазоимпульсные датчики собственной разработки и изготовления. Нагружение замкнутого контура угловых редукторов 3, 6, 7 и 8 крутящим моментом производится при помощи гидравлического или волнового нагрузителя 5. Гидравличе-

ский нагрузитель У-361 собственной разработки и изготовления с максимальными параметрами  $M_{кр}=16 \cdot 10^3$  Н·м и  $n = 7500$  об/мин имеет ресурс безотказной работы более 30 лет.

Необходимо отметить некоторую особенность испытаний редукторов по методу замкнутых мощностей. При взаимном расположении показанном на рисунке 1 редукторы 6 и 7 испытываются с рабочими усилиями и рабочим направлением вращения, а редукторы 3 и 8 – с рабочими усилиями, но обратным направлением вращения.

Испытания на указанном стенде проводятся с обеспечением в силовых элементах редукторов нагрузок и частот вращения, действующих на объекте. Потребляемая мощность приводного двигателя расходуется только на преодоление внутренних потерь в испытуемых редукторах и нагрузителе и составляет около 8-10 % от циркулирующей мощности в замкнутом контуре.

Стенд позволяет с достаточной точностью определить потери в редукторах по контролю силы тока и напряжения на клеммах электродвигателя и температурного перепада масла на входе и выходе из каждого редуктора.

## 3. Стенд для испытаний редукторов воздушного винта

Стенд создан для испытаний угловых редукторов воздушного винта определенной модификации ГТУ. Принципиальная схема стенда соответствует рисунку 1, его внешний вид показан на рис. 2.

Одновременно с испытанием 4-х угловых редукторов на этом стенде проходят испытания штатные (поставочные) вертикальные трансмиссии, расположенные между редукторами воздушного винта и нижними редукторами, а также горизонтальная трансмиссия нижнего редуктора. Соединение редукторов воздушного винта между собой выполняется при помощи стендовой рессоры и двух эластичных муфт.

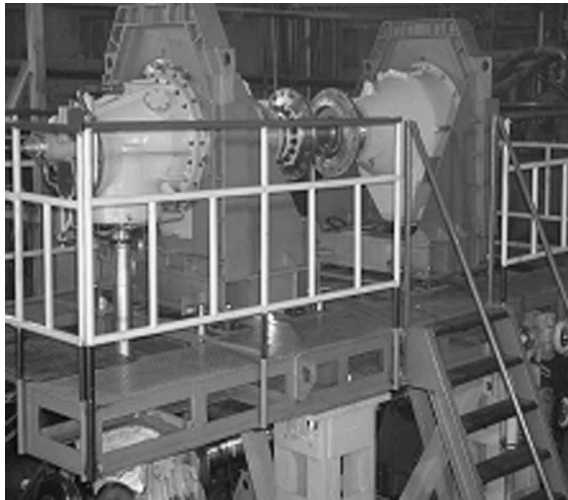


Рис. 2. Стенд для испытания редукторов воздушного винта

Частота вращения приводной трансмиссии стенда, соответствующая частоте вращения штатного ГТД, составляет  $n = 7000$  об/мин. Циркулирующая в замкнутом контуре мощность  $N = 6000$  кВт.

В процессе испытаний проводится контроль следующих параметров:

- температуры и давления масла на входе и выходе из редукторов;
- расхода масла через каждый редуктор;
- частоты вращения трансмиссий;
- угол закрутки тарированной рессоры;
- сила тока и напряжения на клеммах электродвигателя;
- корпусная амплитудная вибрация редукторов.

При длительных испытаниях головных редукторов на этом стенде на режиме максимальной нагрузки и максимальной температуре масла на входе в редуктора, что соответствует экстремальным условиям работы редукторов по техническим условиям, произошло превышение корпусной вибрации редуктора 8 (рис. 1) до 100 мм/с при допустимом значении 35 мм/с. После дополнительного подкрепления силовых конструкций стенда и улучшения центровки всех испытываемых элементов корпусная вибрация редукторов не превышала допустимых значений. Этот факт подтверждает главенствующую роль же-

сткости силовых элементов стенда и точности центровки редукторов на результаты испытаний.

Особое внимание необходимо обратить на центровку редукторов на рассматриваемом стенде замкнутого контура с ортогональными пересекающимися осями.

Исходное условное положение редукторов в замкнутом контуре показано на рис. 3. Расчет перемещений элементов многосвязной системы сложен, так как перемещение любого элемента вызывает перемещение всех последующих, а вычисление этих дополнительных перемещений вносит изменения в результаты исходных замеров (угловых смещений в точках присоединения валов), которые являются единственной информацией о взаимном и соответственно пространственном положении редукторов.

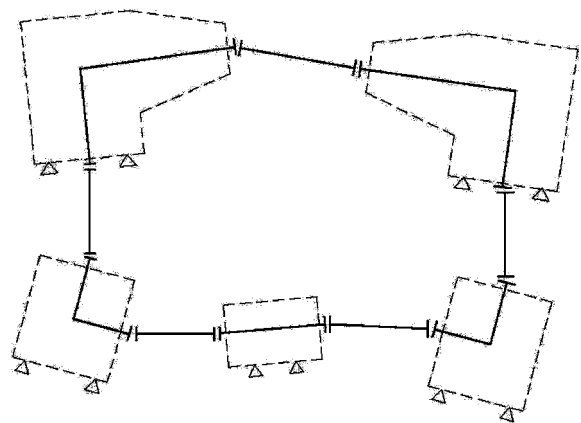


Рис. 3. Исходное положение редукторов в замкнутом контуре

Для выполнения всего комплекса расчетов была составлена программа для ЭВМ, использование которой позволило улучшить центровку и существенно сократить ее время проведения в основном за счет рационального выбора базового механизма и значительного сокращения числа пробных перемещений [4].

В настоящее время указанный стенд находится в работоспособном состоянии и готов к очередным испытаниям.

#### 4. Универсальный стенд для испытаний угловых редукторов

Стенд создан для испытаний угловых редукторов воздушного винта и вентилятора, трансмиссий кораблей на воздушной подушке. Принципиальная схема стенда в основном соответствует показанной на рис. 1, но с некоторыми, не показанными на рисунке, различиями в части приводной трансмиссии. Так, в качестве одного из приводных мультипликаторов используется авиационный редуктор АИ-20. Внешний вид стенда изображен на рис. 4.

Параметры испытываемых редукторов на этом стенде, а также контролируемые параметры во время испытания и условия центровки в основном аналогичны стенду, изображенному на рис. 2.



Рис. 4. Универсальный стенд для испытаний угловых редукторов

Данный стенд является универсальным. На нем испытываются угловые редуктора воздушного винта и вентилятора различных трансмиссий как серийных изделий, так и вновь создаваемых.

Этот стенд также позволяет проводить испытания цилиндрических редукторов по замкнутому

контуру благодаря имеющемуся универсальному присоединительному модулю.

#### Заключение

Созданные стенды для испытаний угловых редукторов по методу замкнутых мощностей имеют бесспорное преимущество по сравнению с полномерными испытаниями редукторов с приводом от ГТД вследствие:

- отсутствия ГТД и систем его обеспечения;
- отсутствия мощного загрузочного устройства или штатного движителя (воздушного винта);
- полной экономии топлива и масла на работу ГТД;
- возможности более точного определения потерь (кпд) в испытываемых редукторах.

#### Литература

1. Решетов Д.Н. Машины и стенды для испытания деталей. – М.: Машиностроение, 1979. – 343 с.
2. Материалы третьего мирового конгресса по редукторам и силовым трансмиссиям. – Париж, 1992. – 840 с.
3. Флик Э.П. Состояние и тенденции развития стендового оборудования и методов испытаний силовых механических приводов сельскохозяйственных машин. – М., ЦНИИ ТЭИТракторсельмаш, 1977. – 40 с.
4. Селивановский В.Ю., Селивановский Ю.М., Сорочан В.В. Ускорение центровки редукторов на стендах замкнутого контура // Международная научно-техническая конференция «Современное состояние производства и метрологии зубчатых передач». – Х., 2003. – С. 88-90.

Поступила в редакцию 30.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. А.П. Попов, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, Николаев.