

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЛЕКСНОГО ГИДРОТРАНСФОРМАТОРА С МОДИФИЦИРОВАННЫМ КОЛЕСОМ РЕАКТОРА

У статті приводяться результати експериментальних досліджень гідротрансформатора із двома варіантами лопаткової системи колеса реактора, котре було модифіковано з метою зміни основних параметрів зовнішньої характеристики гідротрансформатора

Ключові слова: гідротрансформатор, експериментальні дослідження, модифіковане колесо реактора

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований гидротрансформатора с двумя вариантами лопаточной системы колеса реактора, которое было модифицировано с целью изменения основных параметров внешней характеристики гидротрансформатора

Ключевые слова: гидротрансформатор, экспериментальные исследования, модифицированное колесо реактора

Article contain results of experimental researches of the torque converter with two variants the blades system of a reactor wheel which has been modified for the purpose of change the torque converter external characteristic main parameters

Key words: torque converter, experimental investigation, modified reactor wheel

В. М. Соловьев

Кандидат технических наук, инженер-конструктор 1 кат.*
Контактный тел: 0 (57) 757-41-68, 757-41-01
E-mail: morozov@morozov.com.ua

П. С. Завьялов

Кандидат технических наук, доцент**
Контактный тел: 8 (057) 707-66-46

В. А. Толстолицкий

Кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор*

Ю. А. Подвойский

Научный сотрудник
**Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»
Кафедра «Гидравлические машины»,
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

А. П. Имистер

Начальник отдела
*Казенное предприятие «Харьковское конструкторское бюро
по машиностроению им. А.А. Морозова»,
ул. Плехановская, г. Харьков, Украина, 61001

1. Введение

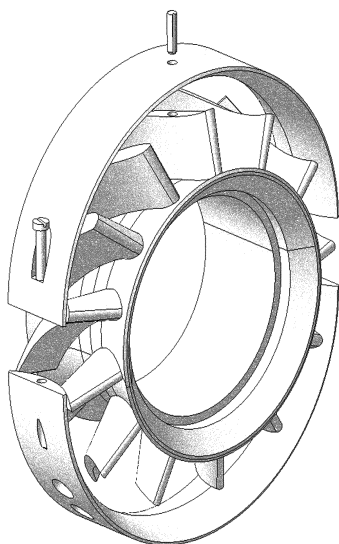
Целенаправленное изменение нагружающих и преобразующих свойств гидротрансформатора, основанное на модифицировании одной из лопаточных систем его рабочих колес, является перспективным направлением, получившим в последнее время широкое распространение [1-6] и является методом, позволяющим провести необходимое корректирование основных параметров внешней характеристики с минимальными затратами (в сравнении с проектированием нового гидротрансформатора), связанных с расчетом, конструированием и изготовлением опытного образца.

Теоретическое обоснование возможности целенаправленного изменения основных параметров внешней характеристики существующего гидротрансформатора при помощи модифицирования лопаточной системы колеса реактора было проведено в [7-10].

2. Изготовление экспериментального образца модифицированного колеса реактора.

В результате оптимизации углов лопаточной системы колеса реактора [7, 8], проведения расчета осесимметричного потока и решения прямой задачи обтекания нескольких вариантов лопаточных систем

колеса реактора с использованием CFD программы Flow Vision [9], предложена конструкция и спроектирована компьютерная 3D модель колеса реактора с новой лопаточной системой, способная формировать необходимые параметры локальной кинематики потока рабочей жидкости в диапазоне тягового режима работы гидротрансформатора:



а



б

Рис. 1. Модернизированное колесо реактора: а – компьютерная 3D модель конструкции механически изготовленного колеса реактора; б – экспериментальный образец в собранном состоянии.

Изготовление модернизированного лопаточного колеса реактора было осуществлено в НПФ «Вест Лабс» г. Харьков на 5-ти осевом фрезерном обрабатывающем центре HS664RT производства компании

FIDIA, оборудованном интегрированным наклоняемым поворотным столом с плавным управлением и предназначенном для точной обработки деталей сложных форм:

Основные рабочие характеристики обрабатываемого центра HS664RT:

| | |
|---|----------|
| Скорость рабочей подачи по X-Y-Z, м/мин | 30 |
| Диаметр планшайбы, мм | до 400 |
| Максимальный диаметр вращения, мм | 565 |
| Максимальная мощность, кВт | до 25,8 |
| Максимальная скорость вращения, мин ⁻¹ | до 24000 |
| Допустимая нагрузка, кг | до 200 |



а



б

Рис. 2. Изготовление модернизированного колеса реактора: а – фрезерный обрабатывающий центр FIDIA HS664RT; б – лопаточная заготовка колеса реактора.

Окончательная обработка посадочных поверхностей, шлицевого соединения модернизированного колеса реактора, сборка экспериментального образца выполнена на опытно-производственной базе КП ХКБМ им. А.А. Морозова, г. Харьков.

3. Описание гидротрансформатора и стендового оборудования.

Основные параметры гидротрансформатора:

Тип.....трехколесный, комплексный, блокируемый

Направление вращениялевое

Активный диаметр, Да.....380мм

Число лопаточных колес.....3

Число лопаток:

насосное колесо, Z1, шт.....28

турбинное колесо, Z2, шт22

колесо реактора, Z3, шт13

Режимные параметры (теоретические):

Максимальный гидравлический КПД, ηг.....

..... мах 0,921* (0,922)**

Коэффициент прозрачности, П.....2,09* 1,87)**

* – значения до модернизации лопаточной системы колеса реактора;

** – значения после модернизации.

Насосное и турбинное лопаточные колеса гидротрансформатора изготовлены литьем из алюминиевого сплава и имеют пространственные лопатки с профилем переменной толщины:



Рис. 3. Колесо реактора (вариант до модернизации лопаточной системы), собранное совместно с насосным колесом гидротрансформатора.

Экспериментальные исследования внешних характеристик гидротрансформаторов до и после модернизации лопаточной системы колеса реактора проводились на стендовом оборудовании опытно-производственной базы КП ХКБМ им. А.А. Морозова, г. Харьков, имеющего следующие основные характеристики:

Приводной электродвигатель:

Тип.....балансирный, постоянного тока

Обозначение.....МПБ-55/34

Максимальная

мощность Nдв, кВт.....до 730

Частота вращения вала

электродвигателя, пдв, мин-1.....от 0 до 3000

Напряжение питания

электродвигателя, Uдв, В.....до 700

Нагрузочное устройство:

Тип.....балансирный

электрический индукционный тормоз

Обозначение.....WS-1200

Поглощаемая мощность,

Nт, кВт.....до 1200

Диапазон изменения частоты

вращения,

пт, мин⁻¹от 300 до 4000

В стендовый комплекс также входят:

- система энергообеспечения стендового оборудования;

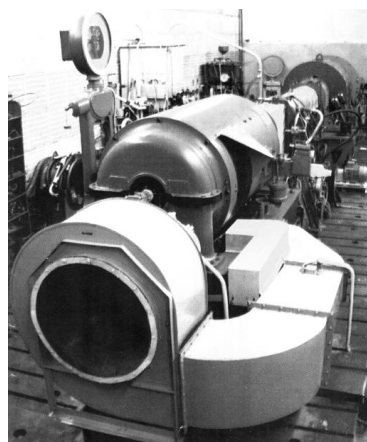
- масляная система охлаждения и смазки гидротрансформатора;

- система водяного охлаждения (обслуживание системы охлаждения индукционного тормоза и водомасляного теплообменника системы смазки);

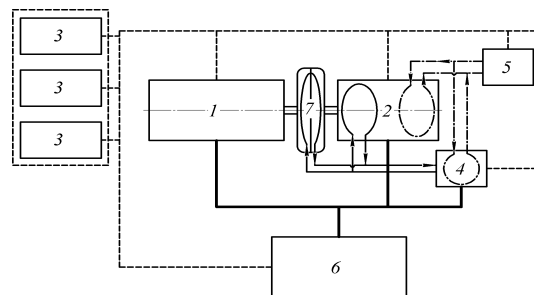
- система мониторинга и управления (проведение замера параметров, управление: приводом, тормозным устройством, системой водяного охлаждения, масломасляной системой, системой энергообеспечения стенда).

Перед проведением исследований внешних характеристик гидротрансформатора была проведена метрологическая сертификация систем стенда, оборудование было аттестовано и принято в эксплуатацию.

Задействованные в эксперименте датчики прошли тарировку, по результатам которой погрешность их измерений не превышала величину ±1,0% (±1°С для датчиков температуры).



а



б

Рис. 4. Стенд нагрузочных испытаний гидротрансформатора: а – общий вид; б – схема систем стенда: 1 – приводной электродвигатель; 2 – нагрузочное устройство; 3 – система энергообеспечения стендового оборудования; 4 – масляная система охлаждения и смазки; 5 – система водяного охлаждения; 6 – система мониторинга и управления; 7 – гидротрансформатор.

4. Методика проведения испытаний.

1. Осуществить проверку работоспособности систем стенда, провести их регулировку.

2. Подготовительный этап испытаний: выполнить предварительную обкатку гидротрансформатора при частотах вращения вала приводного электродвигателя $n_{вх}=1400, 1700$ мин-1 с заданием тормозного момента на валу турбинного колеса до получения передаточного отношения $i=0,3...0,7$ в течение 30...40 минут. Температура рабочей жидкости в маслосистеме стенда после проведения обкатки должна быть не ниже $t=50...60$ °С.

3. Испытания по снятию параметров внешней характеристики:

3.1. Измерение экспериментальных параметров под нагрузкой выполнять при фиксированных значениях частоты вращения насосного колеса $n_{вх}=1400, 1700$ и/или 1900 мин-1 и передаточного отношения i в диапазоне $i=(0,08-0,97)\pm 0,01$.

3.2. Для каждого фиксированного значения частоты вращения насосного колеса $n_{вх}$ необходимо стремиться к замеру экспериментальных значений, принадлежащих наиболее широкому диапазону передаточного отношения i .

3.3. Первый замер параметров работы гидротрансформатора при фиксированном значении частоты вращения насосного колеса $n_{вх}$ проводить без приложения тормозного момента на валу турбинного колеса.

3.4. Переход на последующий режим работы гидротрансформатора осуществлять ступенчато с шагом $i=0,1\pm 0,05$ плавным увеличением тормозного момента. При этом передаточное отношение i должно изменяться в сторону уменьшения. После проведения увеличения тормозного момента необходимо проверить и при необходимости скорректировать частоту вращения насосного колеса $n_{вх}$. После выполнения замера экспериментальных параметров переход на последующий режим работы выполнять аналогично.

3.5. При выполнении замеров допускаются колебания частоты вращения приводного электродвигателя в диапазоне $\pm 0,7\%$.

3.6. Суммарная внешняя характеристика гидротрансформатора, полученная при частотах вращения $n_{вх}=1400, 1700$ и/или 1900 мин-1 должна находиться в диапазоне передаточного отношения i тягового режима работы гидротрансформатора $i=(0,07...0,09) - (0,96...0,98)$.

3.7. Результирующая безразмерная внешняя характеристика получается наложением характеристик, полученных при частотах вращения насосного колеса $n_{вх} = 1400, 1700$ и/или 1900 мин-1.

4. На всех этапах проведения испытаний не допускаются утечки рабочей жидкости более 1 л/мин, повышенный шум и вибрации.

5. В случае возникновения аварийной ситуации персоналу испытательного стенда немедленно прекратить проведение испытаний и действовать в соответствии с инструкцией по технике безопасности.

6. По результатам испытаний составить:

6.1. Отчет (акт) о результатах стендовых испытаний гидротрансформатора.

6.2. Протокол, в который занести следующие измеренные параметры:

– время проведения замера: часы, минуты, секунды;

– частоту вращения насосного колеса (ротора приводного электродвигателя) $n_{вх}$, мин-1;

– частоту вращения вала турбинного колеса (ротора индукционного тормоза) $n_{вых}$, мин-1;

– крутящий момент на насосном колесе (показания датчика крутящего момента балансира приводного электродвигателя) $M1$, кгс·м;

– крутящий момент на валу турбинного колеса (показания датчика крутящего момента ротора индукционного тормоза) $M2$, кгс·м;

– давление на входе в гидротрансформатор $P_{вх}$, кгс/см²;

– давление на выходе из гидротрансформатора $P_{вых}$, кгс/см²;

– расход охлаждающей жидкости через гидротрансформатор Q , л/мин;

– температура рабочей жидкости на входе $T_{вх}$, °С и выходе из гидротрансформатора $T_{вых}$, °С.

Произвести расчет передаточного отношения i и параметров, характеризующих внешнюю безразмерную характеристику гидротрансформатора: коэффициент трансформации K , полный коэффициент полезного действия гидротрансформатора η .

5. Экспериментальные исследования.

При проведении экспериментального снятия внешних характеристик гидротрансформатора при частоте вращения насосного колеса $n_{вх}=1400$ мин-1 с вариантами колеса реактора до и после модернизации, были получены результаты представленные в табл. 1 (приведены граничные и осредненные значения эксплуатационных параметров, связанные с принудительным отводом тепла из гидротрансформатора и обеспечением отсутствия условий возникновения кавитации), а также на рис. 5 (представлены внешние характеристики гидротрансформатора):

Таблица 1

Значения эксплуатационных показателей, зафиксированные при снятии внешних характеристик гидротрансформатора ($n_{вх}=1400$ мин-1)

| Вариант | $P_{вх}$, кгс/см ² | | $P_{вых}$, кгс/см ² | | \bar{Q} , л/мин | $\bar{T}_{\text{а\text{в}\text{д}}}$, °С |
|--------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------|---|
| | min | max | min | max | | |
| до модернизации | 6,2 ($i=0,2$) | 8,2 ($i=0,95$) | 4,5 ($i=0,2$) | 5,7 ($i=0,71$) | 66,7 | 67,20 |
| после модернизации | 7,1 ($i=0,07$) | 9,3 ($i=0,65$) | 5,5 ($i=0,07$) | 7,3 ($i=0,65$) | 66,8 | 69,51 |

Для проверки полученного значения максимального значения полного КПД гидротрансформатора с модернизированным вариантом колеса реактора, при частоте вращения насосного колеса 1700 мин-1 был проведен замер параметров внешней характеристики на расчетном режиме работы, в ходе которого были подтверждены полученные ранее значения полного КПД (см. табл. 2):

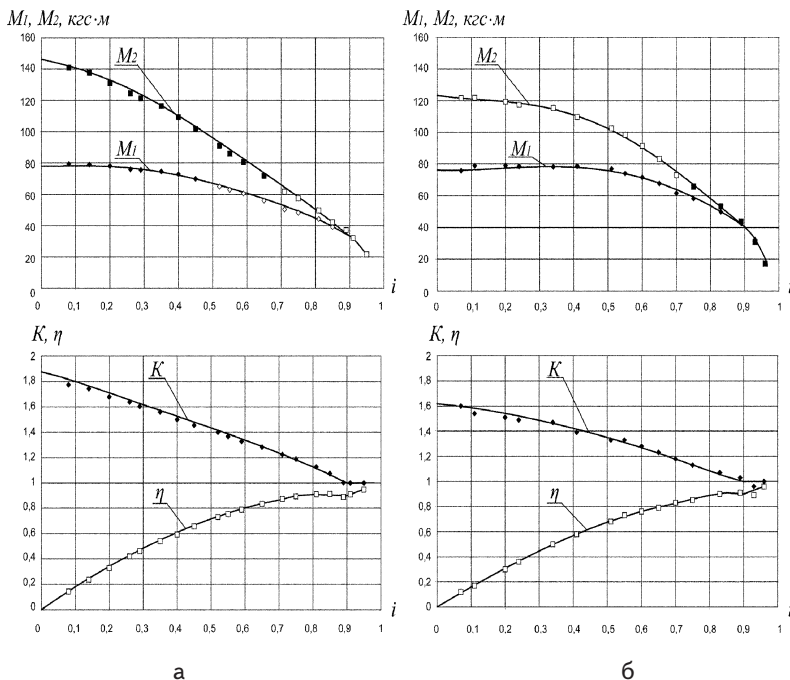


Рис. 5. Внешние характеристики гидротрансформатора с колесом реактора (пвх=1400 мин⁻¹): а – до модернизации лопаточной системы; б – после модернизации.

Параметры расчетного режима работы гидротрансформатора

| пвх, мин ⁻¹ | пвых, мин ⁻¹ | M1, кгс·м | M2, кгс·м | Рвх, кгс/см ² | Рвых, кгс/см ² | Q, л/мин | Твх, °С | i | K | η |
|---------------------------|----------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|------------------------------|-------------|------------|------|------|------|
| 1706 | 1471 | 70,6 | 74,7 | 9,6 | 7,1 | 73,8 | 75,5 | 0,86 | 1,06 | 0,91 |

Выводы

1. На основании результатов, полученных в ходе оптимизации углов профиля лопатки системы колеса реактора, расчета осесимметричного и пространственного потоков, разработана конструкция, спроектировано и изготовлено колесо реактора, имеющее модифицированную лопаточную систему.

2. Проведенная метрологическая сертификация стендового оборудования и разработанная программа испытаний позволили с достаточной точностью экспериментально определить внешние характеристики гидротрансформатора с двумя вариантами колес реактора.

3. Параметр внешней характеристики гидротрансформатора, подвергшийся корректированию – коэффициент прозрачности П, влияет на величину моментного диапазона совместной работы приводного двигателя и гидротрансформатора, и характеризует нагружающее свойство гидротрансформатора:

до модернизации колеса реактора: П=1,97 (2,09); η_{max}=0,91 (η_{gmax}=0,921);

после модернизации: П= 1,82 (1,87); η_{max}=0,91 (η_{gmax}=0,922).

(в скобках приведены теоретические данные).

Сравнение расчетных данных с экспериментальными показывает удовлетворительное совпадение, что

подтверждает состоятельность предложенных ранее методик [7-10].

Литература

1. Нагайцев М. В. Автоматические коробки передач современных легковых автомобилей / Нагайцев М. В., Харитонов С. А., Юдин Е. Г. – М.: Легион-Автодата, 2000. – 128с.
2. Харитонов С. А. Автоматические коробки передач / Харитонов С. А. – М.: АСТ, 2003. – 480 с.
3. Shin S. Numerical investigation of the pump flow in an automotive torque converter / Shin S., Chang H. J., Athavale M. // SAE International Congress & Exposition, March 1999, Detroit, MI, USA, Session: Transmission & Driveline Systems Symposium (Part C&D). – №108/2. – P.1969–1977.
4. The effect of reactor blade geometry on the performance of an automotive torque converter / [S. Shin, D.-J. Kim, I.-S. Joo and others]. // SAE 2002 World Congress & Exhibition, March 2002, Detroit, MI, USA, Session: Transmission & Driveline Systems Symposium (Part D). – №111/6. – P. 1286–1293.
5. Ainley S. B. Laser velocimeter measurements in the stator of an automotive torque converter / S. B. Ainley, R. D. Flack // International Journal of Rotating Machinery. – 2000. – № 6. – P. 417–431.
6. Kim G.-W. Effects of stator shapes on hydraulic performances of an automotive torque converter with a squashed torus / G.-W. Kim, J. Jae-Duk // SAE 2002 World Congress & Exhibition, March 2002, Detroit, MI, USA, Session: Transmission & Driveline Systems Symposium (Part D) – Torque Converters. – SP-1655.

Таблица 2

7. Соловьев В.М. Методика увеличения коэффициента трансформации на пусковом режиме гидротрансформатора / В.М. Соловьев, П.С. Завьялов, Ю.А. Подвойский // Східно – Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2006. – №6/3 (24). – С. 62-65.
8. Соловьев В.М. Введение дополнительных ограничений при оптимизации реактора гидротрансформатора / В.М. Соловьев // Східно – Європейський журнал передових технологій. – Харків. – 2007. – №3/3 (27). – С. 18-22.
9. Завьялов П.С. Численное моделирование потока в решетке реактора гидротрансформатора / П.С. Завьялов, В.М. Соловьев, Ю.А. Подвойский // Пробл. машиностроения. – 2009. – 12, №3. – С. 11-21.
10. Математическая модель рабочего процесса гидротрансформатора / Веретенников А.И., Соловьев В.М., Стримовский С.В. [и др.]// Інтегровані технології та енергозбереження. – 2010. – №3. – С.50-56.