

В.И. Зайцев, А.С. Косторной, канд. техн. наук (Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного и энергетического насосостроения ПАО «ВНИИАЭН», г. Сумы, Украина)

Анализ работы муфт упругих пластинчатых, разработанных в ПАО «ВНИИАЭН»

В статье приведены базовые конструкции муфт упругих пластинчатых разработки ПАО «ВНИИАЭН» в зависимости от их назначения. Описаны результаты сбора информации о фактических показателях надежности муфт упругих пластинчатых с мест их эксплуатации. Проведен анализ выполнения требований нормативных документов, касающихся соединительных муфт, а также рассмотрены основные направления работ по дальнейшему совершенствованию данных узлов.

Ключевые слова: муфта, надежность, эксплуатация, модернизация

У статті наведено базові конструкції муфт пружних пластинчастих розробки ПАТ «ВНІАЕН» в залежності від їх призначення. Описано результати збору інформації про фактичних показники надійності муфт пружних пластинчастих з місць їх експлуатації. Проведено аналіз виконання вимог нормативних документів, що стосуються з'єднувальних муфт, а також розглянуті основні напрямки робіт щодо подальшого вдосконалення даних вузлів.

Ключові слова: муфта, надійність, експлуатація, модернізація

The article presents the basic constructions of elastic lamellae couplings developed by PJSC «VNIIAEN», depending on their purpose. The results of gathering information on the actual reliability indexes of elastic lamella couplings from their operation sites are described. The analysis of the compliance with the requirements of regulatory documents relating to coupling couplings was carried out, and the main directions of work on further improvement of these nodes were considered.

Keywords: coupling, reliability, operation, modernization.

Введение

Создание и успешное применение центробежных насосных агрегатов, применяемых в электроэнергетической промышленности, тесно связано с задачей обеспечения надежности и долговечности их отдельных узлов, таких как соединительные муфты. Муфты упругие пластинчатые (МУП) наряду с втулочно-пальцевыми и зубчатыми соединительными муфтами служат для передачи крутящего момента от вала привода валам турбомашин разных типов и имеют существенные эксплуатационные преимущества перед последними.

Отличительной особенностью конструкции МУП является наличие упругих элементов, выполненных в виде сплошных кольцевых дисковых пластин, изготовленных из коррозионностойкой стали и собранных в пакеты. Наряду с передачей крутящего момента упругие элементы за счет собственных упругих деформаций обеспечивают эффективную компенсацию радиально-углового и осевого смещения соединяемых валов.

Объектом исследования являются МУП центробежных насосов типа ПТА, ПЭА, ПЭ, ЦН, ЦНА, ЦНР, ЦНСА, КсВА, КсА, ДХ, НМ, Д, СЭ и др. разработки ПАО «ВНИИАЭН», применяемых для тепловой и атомной энергетики, нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности [1, 2].

Предмет исследования

Эксплуатация полужестких (упругих) пластинчатых соединительных муфт типа МУП разработки ВНИИАЭН началась с 1983 г.

В рассматриваемых насосах используются МУП на основе базовой конструкции разработки ВНИИАЭН, состоящей из трех основных элементов: полумуфты привода, полумуфты насоса и проставки. Проставка представляет собой «картридж», состоящий из собственно проставки, компенсирующей расстояние между соединяемыми валами, а также тонких металлических пластин (упругих элементов), собранных в пакеты и скрепленных винтами с помощью фланцев.

По конструктивному испол-

нению упругие элементы делятся на широкие кольцевые диски (пластины), сплошные и со спице-видными перемычками, (рис. 1а) и узкие сплошные, а также с выборками, кольцевые диски (рис. 1б). Именно форма упругих элементов и определяет наименование муфт: пластинчатые или кольцевые.

Базовая конструкция МУП разработки ПАО «ВНИИАЭН» приведена на рисунке 2 [3].

Наиболее распространенной конструкцией МУП является муфта с проставкой (рис. 2), она применяется при достаточно больших расстояниях между валами для обеспечения компенсации угловых, радиальных и осевых отклонений валов. Довольно часто применяется также конструктивная схема МУП в безпроставочном исполнении (рис. 3). Муфты без проставки обычно используются для замены втулочно-пальцевых муфт или же в механизмах с малым расстоянием между валами.

Для агрегатов, работающих во взрыво- и пожароопасных зонах, а также для агрегатов, в которых рабочей средой являются взры-

во- и пожароопасные вещества, в конструкции муфт предусмотрены дополнительные защитные кольца, установленные во фланцы пакетов упругих элементов, предотвращающие искрообразование при разрушении упругих элементов (рис. 4).

В определенных случаях, преимущественно для соединения валов больших диаметров, применяются муфты упругие кольцевые (МУК) на основе кольцевых упругих элементов (рис. 5).

Все изготавливаемые муфты подвергаются балансировке, что упрощает их монтаж на месте эксплуатации. Конструкция МУП позволяет также воспринимать остаточные смещения, заведомо устанавливаемые при сборке агрегата (на тепловое расширение и т. д.).

Благодаря своей конструкции и способу компенсации угловых, радиальных и осевых отклонений осей валов, МУП имеют существенные эксплуатационные преимущества перед упругими втулочно-пальцевыми и зубчатыми соединительными муфтами, а именно:

- из-за отсутствия трущихся деталей имеют практически неограниченный ресурс при минимальных затратах на обслуживание;
- не требуют смазки, что наряду со снижением пожароопасности, в некоторых случаях упрощает систему маслоснабжения агрегатов;
- допускают сравнительно большие взаимные смещения осей соединяемых валов при малых нагрузках на подшипниковые опоры агрегата;
- обладают повышенными виброизолирующими свойствами в части передачи возмущений между сопрягаемыми роторами;
- обладают низкими виброактивными свойствами, а также могут способствовать отстройке от резонансных колебаний в агре-

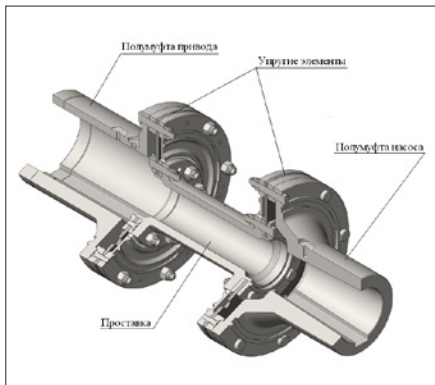


Рис. 2. Базовая конструкция МУП с проставкой

гатах.

Фактические показатели надежности МУП

Промышленная эксплуатация (в течение более 30 лет) МУП производства ПАО «ВНИИАЭН» в центробежных насосах его специализации, а также проведение переоснащения насосных агрегатов, уже работающих на предприятиях электроэнергетики (АЭС, ТЭЦ, ГРЭС) показали их высокие эксплуатационные качества и надежность.

С учетом вышеизложенного исследования по определению фактических показателей надежности работы МУП, с последующей разработкой мероприятий по их дальнейшему совершенствованию представляют значительный научный и практический интерес.

В 2013 году ПАО «ВНИИАЭН» осуществил сбор и анализ актуальных данных с мест эксплуатации о фактических показателях надежности работы муфт упругих пластинчатых в составе насосных агрегатов, разработанных за период с 70-х годов прошлого века по начало 2000-х годов. С этой целью был подготовлен и направлен потребителям типовый опросной лист.

Результаты обработки и анализа заполненных опросных ли-

стов, полученных с Запорожской АЭС, Ровенской АЭС, Хмельницкой АЭС, Балаковской АЭС, Калининской АЭС, Нововоронежской АЭС, Молдавской ГРЭС, Киевэнерго ТЭЦ-6 приведены ниже:

1. Нарботка МУП для постоянно работающих насосов составляет, в зависимости от времени запуска оборудования в эксплуатацию, от 5000 часов до свыше 50 000 часов в насосных агрегатах АЦН 60–180 Хмельницкой АЭС.

2. За весь период эксплуатации муфты упругие пластинчатые не ремонтировались. Только в опросном листе Балаковской АЭС отмечено, что в насосных агрегатах АЦН 60–180 основной причиной ремонта МУП были требования регламента на проведение планово-предупредительных ремонтов, периодичность ППР – 12000 ч. 3. Практически во всех отзывах с мест эксплуатации, куда были направлены

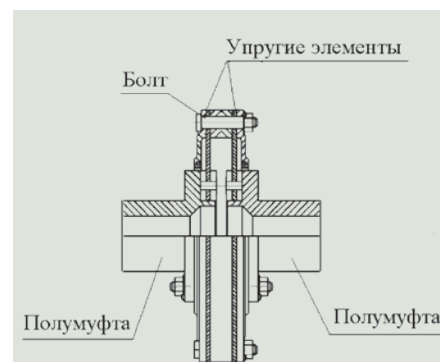


Рис. 3. МУП без проставки

опросные листы, доля от общего количества отказов агрегата по причине МУП составляет менее 1 %.

4. В опросных листах предложения и пожелания разработчику по улучшению конструкции МУП отсутствуют.

Соответствие нормативным документам

Требования стандарта API 671 предусматривают определение жесткостных свойств и собственных частот осевых колебаний проставок пластинчатых муфт в области допускаемых осевых смещений путем испытаний муфт [4]. Для проведения таких испытаний в ПАО «ВНИИАЭН» разработаны и изготовлены специальные

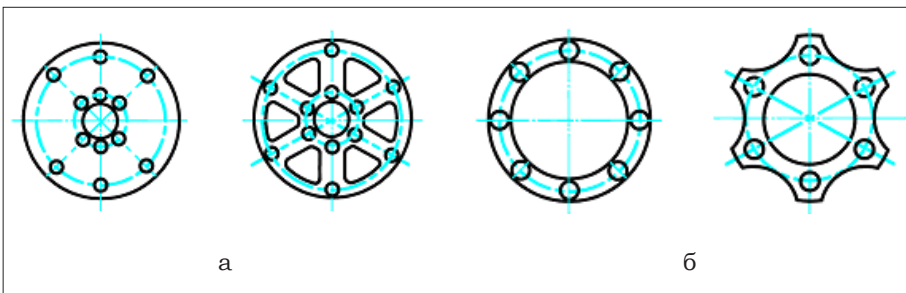


Рис. 1. Конструктивные исполнения упругих элементов:

а) упругие пластины муфт типа МУП; б) кольцевые упругие элементы

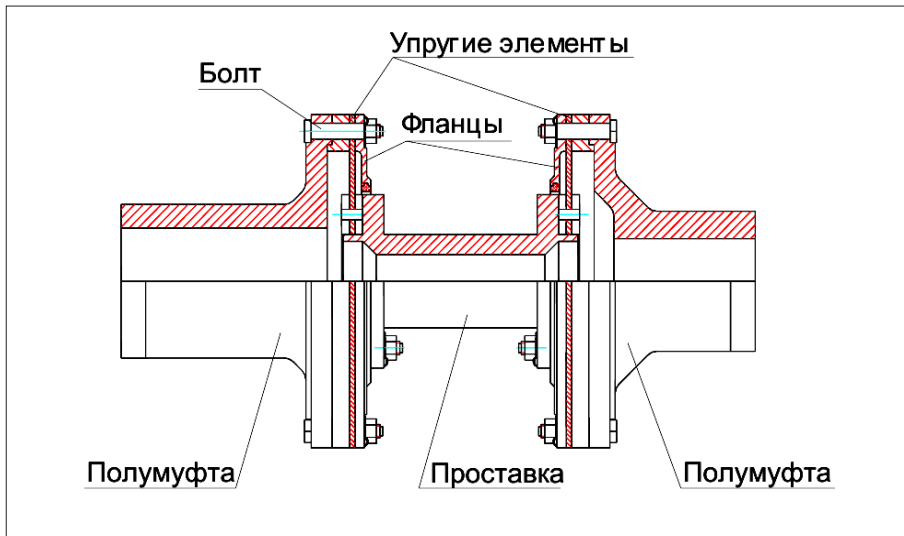


Рис. 4. МУП для взрыво- и пожароопасных условий эксплуатации

сертифицированные стенд и аппаратный комплекс (рис. 6), которые дают возможность определять осевую жесткость и собственные частоты осевых колебаний пластинчатых муфт в области допустимых осевых смещений [5].

Осевая жесткость определяется путем нагружения муфты через образцовый динамометр с замерами осевых перемещений и построения характеристики. Динамические испытания по определению собственных частот осевых колебаний проставки муфты в области допустимых осевых смещений проводятся путем возбуждения проставки МУП вибровозбудителем с построением амплитудно-частотной характеристики и определением собственных частот колебаний проставки МУП. По результатам замеров строится кривая зависимости осевых перемещений от приложенной нагрузки (рис. 7).

Конструктивные схемы МУП разработки ПАО «ВНИИАЭН» полностью удовлетворяют требованиям стандарта API 610, кроме п. 7.2.8, касающегося посадочного конуса под полумуфты, который согласно стандарту должен быть 1 к 16 [6]. Ввиду сложившейся практики проектирования насосного оборудования, с учетом имеющихся на предприятиях-изготовителях отработанной технологии, оснастки, наличия режущего и мерительного инструмента, а также отсутствию отрицательных отзывов с мест эксплуатации, полумуфты разработки ВНИИАЭН устанавливаются на вал с конусностью 1 к 10.

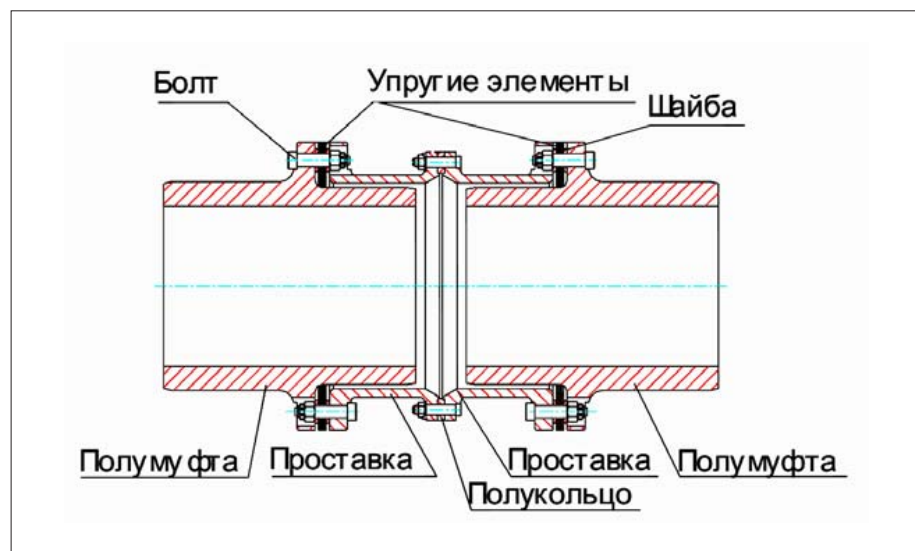


Рис. 5. Базовая конструкция МУП

На данный момент в нормативных документах на центробежные насосы отсутствуют требования по показателям надежности к муфтам упругим пластинчатым. Данная информация присутствует в технических требованиях и конструкторской документации (паспортах) производителей МУП.

МУП разработки ПАО «ВНИИАЭН» имеет следующие показатели надежности, заявленные в конструкторской документации:

1. Средняя наработка на отказ – не менее 50 000 ч.
2. Средний полный срок службы полумуфт и проставки – не менее 30 лет.

Критерием отказа является возникновение и развитие усталостных трещин в упругих эле-

ментах.

Критерием предельного состояния является износ посадочных поверхностей призон-болтов, при котором предельные отклонения размеров сопряженных поверхностей становятся больше предельных отклонений, установленных требованиями чертежей.

Дальнейшие шаги по усовершенствованию конструкции

МУП производства ПАО «ВНИИАЭН» входят в состав агрегатов на основе динамических машин, предназначенных для использования практически во всех отраслях промышленности. В связи с чем, в зависимости от условий

эксплуатации насосного оборудования, окружающей среды в месте его установки, конструктивных особенностей соединения привода с насосом, появлению новых технологических возможностей и др., специалистами института проводится постоянный поиск новых конструктивных решений, анализируется возможность применения специфических материалов деталей МУП, отслеживается эффективность работы ранее поставленного оборудования.

В последние годы ПАО «ВНИИАЭН» занимается производством МУП на вертикальные насосы, такие как НПВ, КсВ, НМВ и т. д. Также, в настоящее время, начата разработка МУП в электроизолированном исполнении, которые предназначены для диэлектриче-

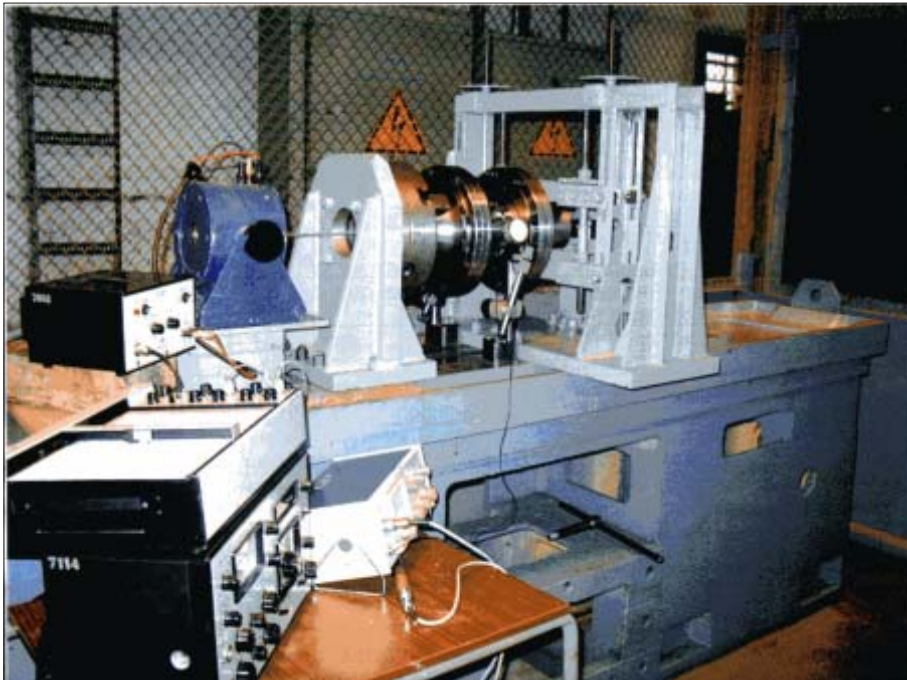


Рис. 6. Стенд для испытаний МУП с аппаратным комплексом

ского разделения двигателя и насоса.

Выводы

1. В статье выделены основные типы муфт упругих пластинчатых, проектируемых в ПАО «ВНИИАЭН».

2. ПАО «ВНИИАЭН» имеет тридцатилетний опыт проектирования и производства упругих пластинчатых муфт. Причем за данный период по муфтам не было предъявлено ни одной рекламации.

3. За указанный период не получено ни одной заявки на производство муфт взамен ранее установленных, т. е. велика вероятность, что первые изготовленные муфты работают и в настоящее время.

4. Проанализировано выполнение требований нормативных документов API 671 и API 610.

5. Заявленные в конструкторской документации показатели надежности (средняя наработка на отказ – не менее 50000 часов и средний полный срок службы полумуфт и проставки – не менее 30 лет) хорошо согласуются с требованиями по аналогичным показателям для насосного оборудования в целом.

6. Отсутствие замечаний со стороны эксплуатации свидетельствует о достаточно надежной конструкции муфт, правильности основных конструкторских

и технологических решений, высоком качестве производства.

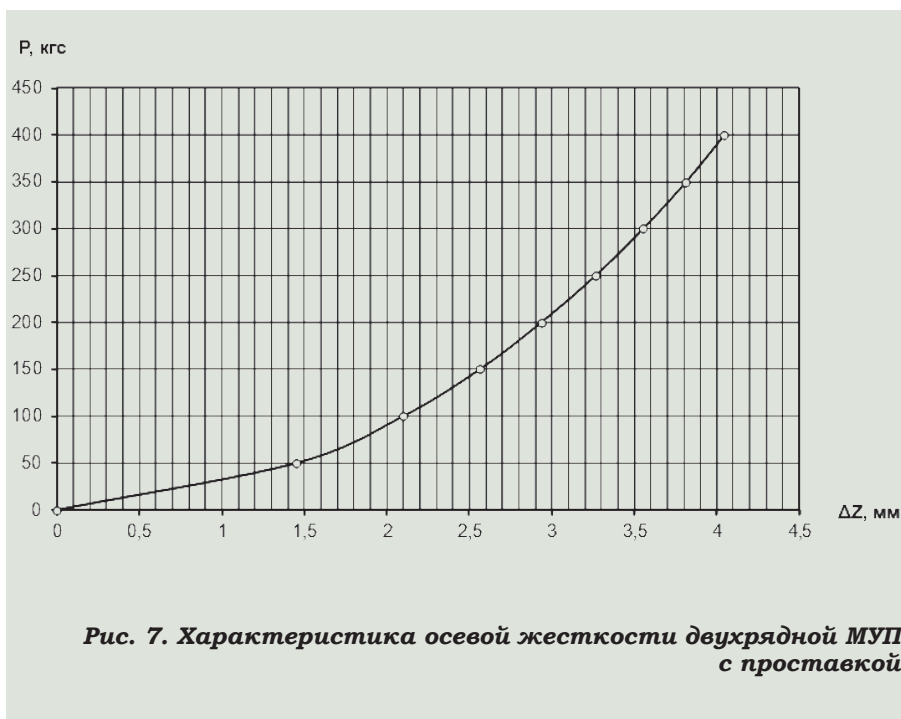


Рис. 7. Характеристика осевой жесткости двухрядной МУП с проставкой

Что, однако, не отменяет необходимости поиска новых решений с целью снижения затрат и повышения конкурентоспособности продукции.

Список литературы:

1. Пак П. Н., Белоусов А. Я., Пак С. П. Насосное оборудование атомных станций. – М.: Энергоиздат, 2003. – С. 93–177.

2. Давиденко А. К., Елин В. К., Елин А. В. ОАО «ВНИИАЭН» на рубеже 50-летнего юбилея: достигнутые успехи, стратегия и перспективы развития. Труды 11-й межд. научн. – техн. конференции «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования – Гривикон-2005» в 3 т. – Сумы: Изд-во СуМГУ, 2005. – Т. 1. – С. 13–31.

3. Номенклатурный каталог ПАО «ВНИИАЭН». Муфты соединительные упругие пластинчатые и упругие кольцевые. Сумы.

4. Special Purpose Couplings for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. API Standard 671 Fourth Edition, August 2007/ISO 10441: 2007 (Identical), Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Flexible couplings for mechanical power transmission – Special-purpose applications, 57 p.

5. А.Д. Цема. В.Д. Кисель. Стенд для статических и динамических испытаний упругих пластинчатых муфт // Насосы

и оборудование – 2004. – № 5(28), 49стр.

6. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. ANSI/API Standard 610 Eleventh Edition, September 2010/ISO 13709: 2009, (Identical) Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries. – 194 p.