

**ГЕРВИКОН**  
**HERVICON**



**ЭККОН**  
**ЕККОН**



**6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина**

**XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"**  
**Международный форум "НАСОСЫ-2011"**  
**Семинар "ЭККОН-11"**

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

**Овсейко И.В.<sup>1</sup>, Вовнобой М.В.<sup>2</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*В этой статье описана работа по исследованиям, модернизации и замене насосов, выполненная фирмой "ТРИЗ". Необходимость реализации модернизации насосов, а также их замены продиктована повышением требований к экономичности, надежности и ремонтпригодности. Существующий подход в данном виде работ позволяет принимать оптимальные решения в зависимости от поставленной задачи.*

**Ключевые слова:** герметичные насосы, импульсные торцовые уплотнения, демпферные подшипники, магнитные муфты, упругие муфты.

Основные требования, предъявляемые к насосному оборудованию – экономичность, надежность и удобство в эксплуатации и обслуживании, точнее в его не обслуживании. Требования к надежности и безопасности насосного оборудования, перекачивающего различные химические (токсичные, взрывоопасные, абразивные, кристаллизирующиеся и др.) среды, для достижения желаемого экономического эффекта, постоянно повышаются. В условиях дефицита энергоресурсов применение и разработка нового высококоэффициентного насосного оборудования является важной задачей.

---

<sup>1</sup> Овсейко Игорь Викторович, гл. конструктор, ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

<sup>2</sup> Вовнобой Марина Владимировна, руководитель проекта, ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

Из опыта работы в существующих в общей химии и нефтехимии технологических процессах в настоящее время, по нашему мнению, нет места герметичным насосам. Это подтверждается многолетним опытом «разгерметизации герметичных насосных агрегатов», обратного перехода. Так например, анализ результатов эксплуатации, ревизии и восстановления герметичных насосов немецкой фирмы «DICKOW» (тип NMR – поз.712, тип HZMRh – поз.706 ) и голландской фирмы «STORK» (тип PHL – поз.401) на производстве карбамида ОАО «ДнепрАЗОТ» позволил сделать следующие выводы (на рисунке 1 представлен одноступенчатый герметичный насос с магнитной муфтой):

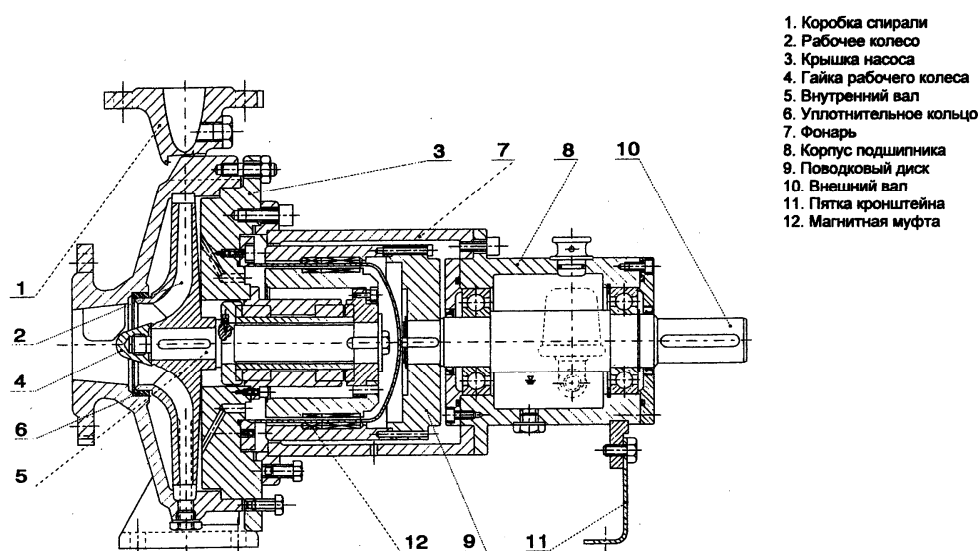


Рисунок 1 – Одноступенчатый герметичный насос

1. Наличие включений газа в перекачиваемой среде приводит к полусухому режиму работы подшипников, их перегреву и разрушению. Неблагоприятным фактором в этом случае является также высокая температура рабочей среды.

2. Даже кратковременная эксплуатация герметичных насосов в режиме кавитации или гидроудара недопустима.

3. Работа магнитной муфты в условиях высокой температуры приводит к постепенному уменьшению срывного момента, а при перегреве происходит её размагничивание и выход из строя.

4. Подшипники из карбидов кремния, бора и аналогичных материалов не выдерживают тепловых ударов. Это приводит к появлению трещин и

быстрому разрушению подшипников. С другой стороны, при необходимости экстренного пуска насоса из резерва, плавный прогрев невозможен.

5. Большинство химических сред обладает плохой смазывающей способностью при высокой температуре, поэтому в подшипниках с зазорами от 0,03 до 0,06 мм, происходит повышенное тепловыделение, что сказывается на ресурсе их работы.

6. Для герметичных насосов характерна высокая стоимость ремонта, так как неисправность, как правило, обнаруживается после значительных повреждений внутри насоса. Высокая твердость осколков подшипников приводит к разрушению наружной оболочки внутреннего магнита и порыву колпака, повреждениям или поломке вала и щелевых уплотнений рабочих колес.

7. К.П.Д. герметичных насосов ниже классических не герметичных.

Для восстановления работоспособности насосов поз.712, 706 и 401, фирмой «ТРИЗ» была выполнена реконструкция из герметичных, в вариант насосов с концевыми уплотнениями валов. Проточная часть (рабочие колеса, отводы, секции) и часть корпусных деталей были сохранены. В зависимости от условий эксплуатации и свойств перекачиваемых сред предложены различные типы концевых уплотнений валов:

- насос поз. 712 - одинарное торцовое уплотнение с вынесенным из перекачиваемой среды упругим элементом (рисунок 2);

- насос поз. 401 - в качестве основного уплотнения применён импеллер (динамическое уплотнение), а в качестве стояночного – радиально торцовое сальниковое уплотнение с набивкой фирмы «BURGMANN» (рисунок 3).

Альтернативой торцовым механическим уплотнениям, в случаях, когда они не удовлетворяют необходимым требованиям по герметичности, являются импульсные газозатворные торцовые уплотнения.

Благодаря гарантированному зазору в торцовой паре импульсные уплотнения имеют высокую надёжность и могут работать с газовыми средами. Применение в качестве затворной среды газа, имеющегося в технологической схеме предприятия, попадание которого в перекачиваемую среду разрешено по техпроцессу, снижает затраты на организацию подвода затворной среды к минимуму. Импульсные уплотнения имеют низкие потери мощности и надёжно работают в качестве стояночных уплотнений. Кроме того, уплотнения имеют высокую ремонтпригодность благодаря возможности повторной притирки рабочих поверхностей торцовой пары. В итоге газовые импульсные уплотнения являются одним из самых надёжных и

экономичных решений для применения в химических центробежных насосах с токсичными рабочими средами.

Для насоса поз. 706 предложены торцовые уплотнения с резервными радиально-торцовыми сальниками (рисунок 4).

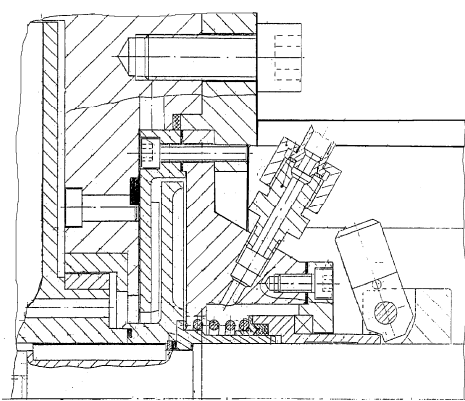


Рисунок 2 – Торцовое уплотнение насосов поз. 712

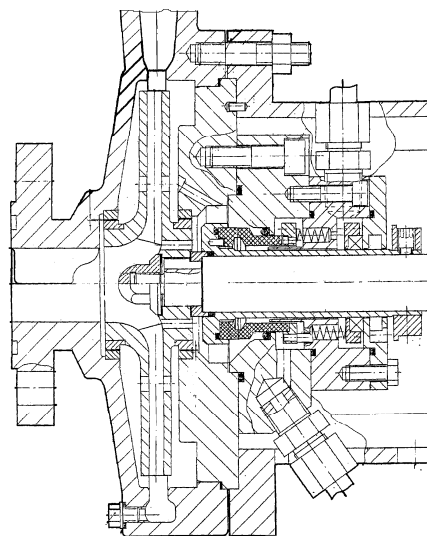


Рисунок 3 – Динамическое уплотнение насосов поз. 401

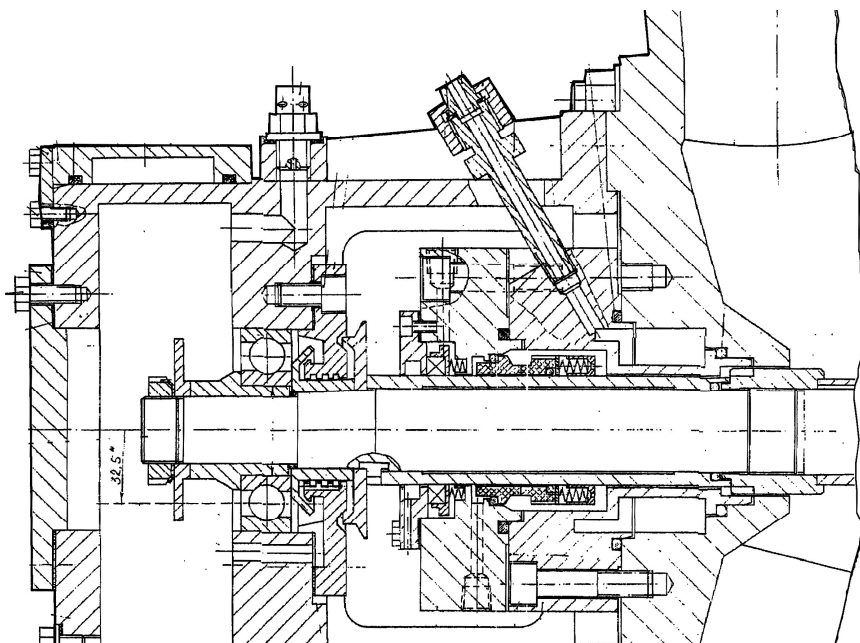
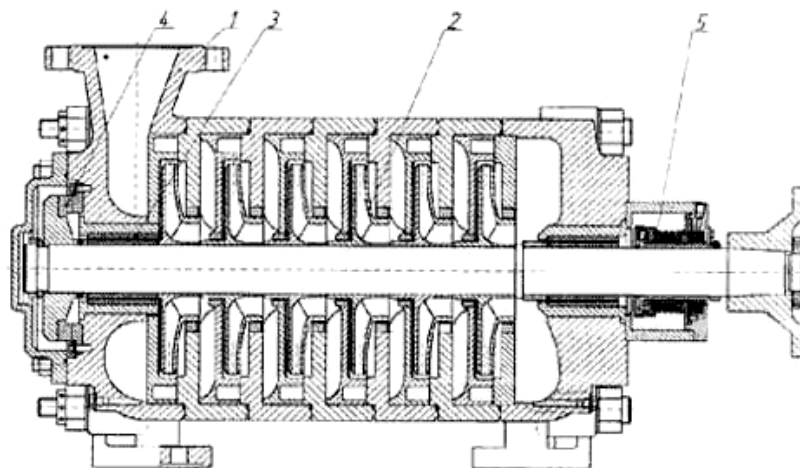


Рисунок 4 – Торцовое уплотнение насосов поз. 706

Уплотнение такого типа впервые применено в 1996 г. в разработанном фирмой «ТРИЗ» насосе ЦН 30/410 поз. Р-501С для цеха производства хлорвинила ЗАО «Лукор» г.Калуш. Уплотняемая среда – дихлорэтан,  $t=50^{\circ}\text{C}$ .

До модернизации конструкция насоса была следующая: два выхода вала в атмосферу и два концевых уплотнения, выносные опоры качения с консистентной смазкой, два двойных концевых уплотнения с подводом запирающей среды (масло специальной марки), сложная автономная маслосистема.

Конструкция насоса после модернизации: опоры ротора работают на перекачиваемой среде, один выход вала в атмосферу, одно двойное торцовое импульсное уплотнение с одной рабочей парой, запираемое нейтральным газом (азотом). Валы насоса и двигателя соединены упругой пластинчатой муфтой, не требующей смазки. Для разгрузки насоса от осевых сил применяется гидропята, в качестве цилиндрической щели которой используется несущая поверхность опорного подшипника скольжения со стороны нагнетания. Уплотнение выполнено в патронном исполнении для облегчения процесса установки и исключения монтажных ошибок (рисунок 5).



1 корпус; 2 - ротор насоса; 3 подшипник опорный;  
4 гидропята; 5 уплотнение вала насоса

Рисунок 5 - Насос ЦН 30/410

Для подачи в узел уплотнения затворного газа установлен блок подготовки затворной среды. Расход газа составляет не более 2 Нл/мин. Утечка затворного газа, попадающая в насос, отводится через систему дегазации в емкость с дихлорэтаном. [1]

Следующим примером модернизации герметичных химических насосов с применением газовых импульсных уплотнений и системой подготовки газа фирмы «ANGA» является «разгерметизация» ЦГ 200/50-45-4 (пр-во «Молдовагидромаш») в цехе перегрузки метанола на Одесском припортовом заводе (насос ЦНВ 200/50, рис.6). В результате модернизации от герметичного насоса остался один корпус. К основным преимуществам модернизированной конструкции с одним выходом вала в атмосферу можно отнести высокую надежность, гарантированное предотвращение выхода перекачиваемой среды (метанола) наружу, более высокую экономичность по сравнению с герметичной конструкцией, повышенный кавитационный запас и облегченный доступ к ротору без демонтажа электродвигателя.[1,2]

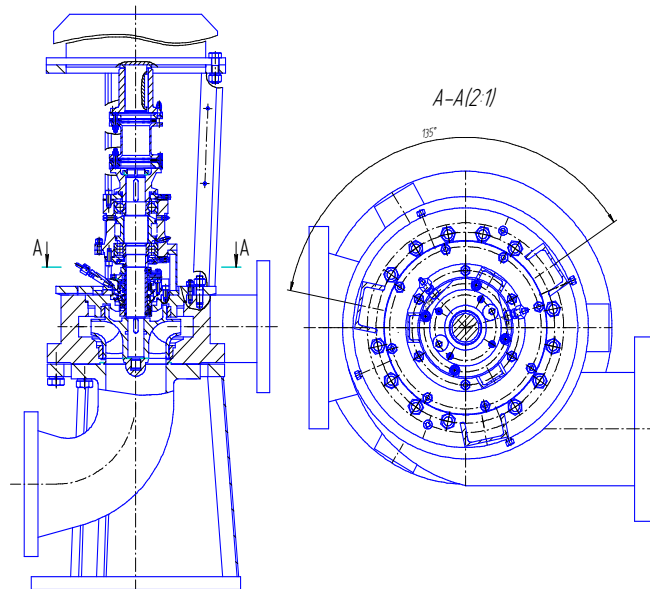


Рисунок 6 – Насос ЦНВ 200/50 (модернизированный ЦГ200/50-45-4 )

Подобная конструкция уплотнения успешно работает на вертикальном конденсатном насосе КсВ40/88 Одесского припортового завода. Уплотняемая среда – пар,  $t=100^{\circ}\text{C}$ ,  $p=0,1\text{МПа}$ . Давление азота  $p=0,2\text{кг/см}^2$ , расход  $\leq 1\text{Нл/мин}$ . Уплотнение позволило полностью исключить протечки пара и конденсата, которые приводили к обводнению подшипникового узла и в последующем к выходу его из строя, а также улучшились условия обслуживания насоса.[1]

Применение данного уплотнения на конденсатном насосе позволяет рекомендовать данную конструкцию для уплотнения газовых и газожидкостных сред.

Для улучшения работоспособности и герметичности была выполнена модернизация насоса 2 ½ НЕ 2 «S» поз. 118J (перекачиваемая среда – жидкий аммиак  $t=-34^{\circ}\text{C}$ ) цеха производства аммиака Одесского припортового завода. (рисунок 7).

Анализ работы базового насоса показал, что на переходных режимах возникает повышенная вибрация ротора насоса, и, как следствие, появляются задиры на щелевых уплотнениях рабочих колес, преждевременно выходят из строя концевые уплотнения и шарикоподшипники.

С целью устранения недостатков выявленных в процессе работы, была выполнена модернизация насоса, которая включила в себя:

– перевод насоса с концевыми уплотнениями валов в «полугерметичную» конструкцию;

– установка бесконтактных уплотнений для предотвращения утечки масла из корпуса подшипников.

Перевод насоса в полугерметичную конструкцию заключался в следующем: со стороны привода конструкция насоса осталась без изменений, с противоположной стороны – подшипник качения и уплотнительный узел заменены герметичным узлом с подшипником скольжения, работающем на перекачиваемой жидкости. Отвод жидкости из полости за подшипником скольжения в полость всасывания осуществляется через отверстие в валу.

В результате перевода насоса в полугерметичную конструкцию улучшились вибрационные характеристики за счет уменьшения межопорного расстояния.

Для нормальной работы подшипника скольжения установлен гидроциклон, обеспечивающий подачу в подшипник очищенной от твердых частиц катализатора жидкости.

Для обеспечения нормальной работы подшипников качения установлены бесконтактные уплотнения, предотвращающие утечку смазки и попадание внутрь пыли. Также, учитывая условия работы (перекачиваемая среда – жидкий аммиак  $t=-34^{\circ}\text{C}$ ), рекомендовано контролировать уровень воды в масле.

В настоящее время на производстве успешно эксплуатируются 2 модернизированных насоса 2 ½ НН 2 «S», и еще 2 насоса готовятся к вводу в эксплуатацию.[3]

Проблема повышенной вибрации, неустойчивой работы характерна для многих насосных агрегатов, в связи с чем актуальной является задача оптимизации конструкции валопроводов насосных установок с целью обеспечения их динамической устойчивости и надежности.

Для решения указанных проблем фирмой «ТРИЗ» используются современные конструкции опорных и упорных подшипников, соединительные муфты с упругими металлическими элементами.



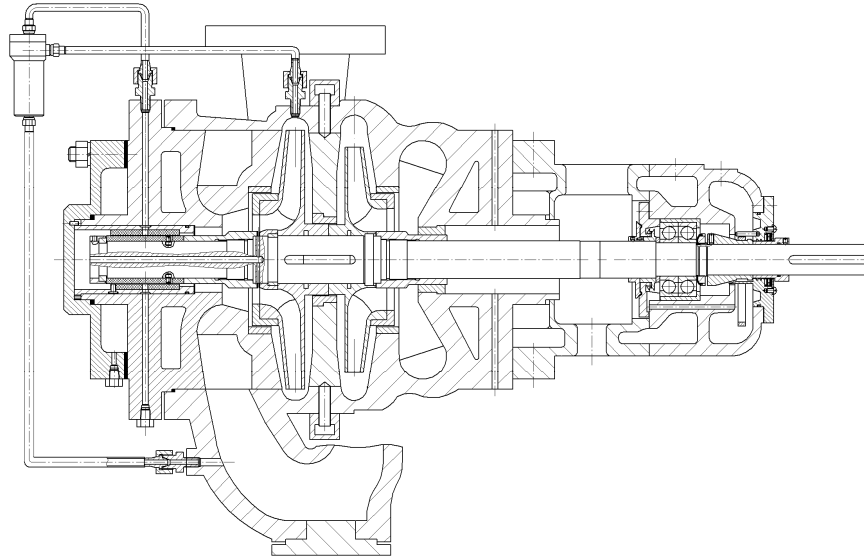


Рисунок 7 – Насос 2 ½ HE 2 «S» модернизированный

Проблема недостаточной несущей способности, низкого ресурса работы штатных опорных подшипников и повышения динамической устойчивости ротора успешно решается заменой штатных подшипников на демпферные подшипники с самогенерируемой гидростатической масляной опорой типа ПД производства ООО «ТРИЗ» (рис. 8). Для нагруженных, высокооборотных, мощных насосных агрегатов, работающих в непрерывном режиме эксплуатации, эти подшипники не имеют альтернативы [4]. Это доказано девятнадцатилетним опытом эксплуатации. В них аккумулированы решения, обеспечивающие:

- повышение межремонтного цикла подшипника в 3-5 раз, а иногда на порядок;
- снижение уровня вибрации во всём спектре частот не менее чем в 1,5 раза, в некоторых случаях в 4-5 раз, что гарантирует снижение эксплуатационных затрат по агрегату в целом, ведь именно вибрация является провоцирующим фактором усталостного разрушения деталей машин;
- стабильность зазоров в подшипниках, обусловленная отсутствием механических контактов опорных колодок с корпусом и т.н. "просадки", гарантирует снижение износа уплотнений и, как следствие, снижение скорости падения производительности и экономичности агрегата к концу межремонтного цикла, что характерно для агрегатов, использующих штатные подшипники скольжения;

- высокая несущая способность и демпфирующие свойства обеспечивают снижение тяжести последствий аварийных ситуаций;
- высокая ремонтпригодность обеспечивается отсутствием трудоемкой операции подгонки вкладышей при их замене;
- низкие потери мощности на трение и низкий расход смазки;
- межремонтный ресурс подшипников составляет не менее шести лет.

Диапазон поставок подшипников: диаметр шейки вала от 45 до 280 мм, частота вращения от 3000 до 24000 об/мин, нагрузка на подшипник от 60 до 9500 кгс.

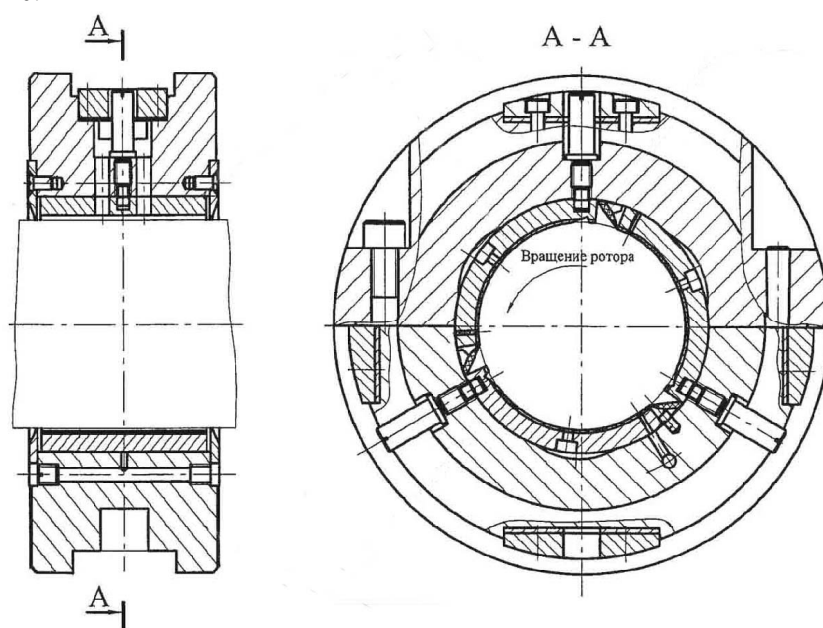


Рисунок 8 - Демпферный подшипник типа ПД

Модернизация насосных агрегатов с применением демпферных подшипников дает одинаково хорошие результаты как при больших нагрузках на подшипники (ротор электродвигателя СТД-2500 для нефтяного магистрального насоса ГАО ПМН Кременчуг), так и для высокооборотных насосных агрегатов (ротор насоса НМР 3512 с частотой вращения 15600 об/мин, НАК «АЗОТ» Новомосковск).

Одной из интересных и объемных работ с применением демпферных подшипников является модернизация насоса 6UZD15 поз. 106J цеха производства аммиака Одесского припортового завода. (рисунок 9) .

Модернизация насоса 6UZD15 поз. 106J заключалась в следующем:

- в замене рабочих колес на колеса с повышенными кавитационными свойствами;

- в замене шарикоподшипников демпферными подшипниками скольжения, обладающих повышенными демпфирующими свойствами и высокой надежностью (для обеспечения работы подшипников была установлена индивидуальная маслосистема);

- для установки демпферных подшипников скольжения были изготовлены новые корпуса подшипников, вал (ротор).

Ротор насоса разгружен от осевых сил с помощью симметричной конструкции рабочих колес. Для восприятия радиальных и остаточных осевых сил ротора установлены опорные подшипники ПД-63 и упорный подшипник ПУР-150 с рычажной выравнивающей системой. Контроль температуры масла в подшипниках осуществляется с помощью датчиков.

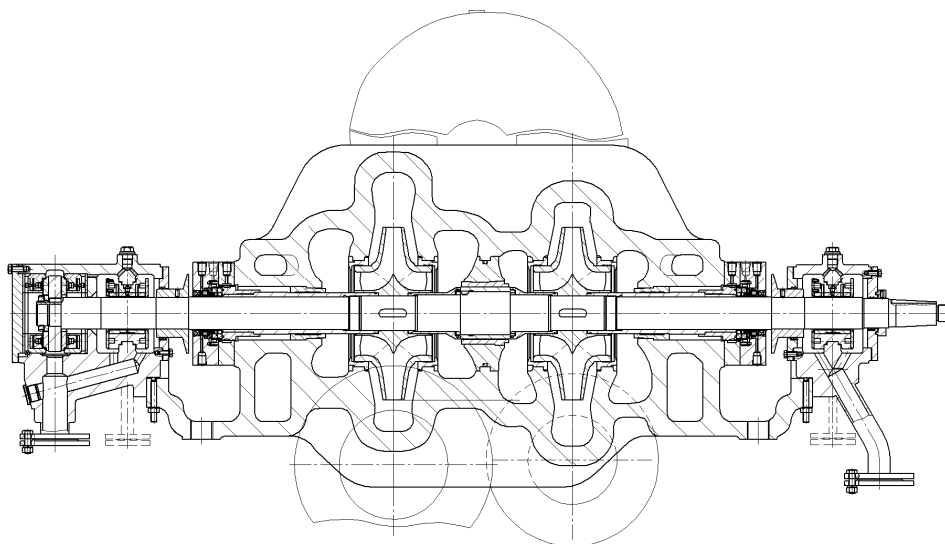


Рисунок 9 – Насос 6UZD 15 модернизированный

Повышенные кавитационные свойства и применение опор, имеющих высокую нагрузочную и демпфирующую способности, позволили в результате модернизации обеспечить надежную работу агрегата.

Фирма «ТРИЗ» имеет также опыт значительного повышения несущей способности упорных подшипников скольжения в штатных габаритах при одновременном сокращении расхода смазки, что существенно повышает надежность и экономичность их работы [5]. Такие технические решения, как индивидуальный подвод масла к упорным колодкам, охлаждение термонагруженной зоны и входной кромки колодки, формирование заходной поверхности на входной кромке, применение рычажной выравнивающей

системы с повышенными компенсирующими свойствами, использование многофункциональных маслосъемных скребков, позволяют повышать несущую способность упорных подшипников до 3,5 раз.

Реализация таких технических решений предоставляет потребителю возможность выбора. В тех случаях, когда страдает надежность агрегата из-за недостаточной несущей способности упорного подшипника и частых осевых сдвигов, установка модернизированного узла тех же габаритов позволяет решить эту проблему и повысить надежность работы агрегата без увеличения потребляемой мощности. В тех же случаях, когда несущей способности штатных упорных подшипников достаточно для восприятия действующих на ротор осевых сил, можно заменить штатный подшипник на модернизированный с меньшими габаритами, за счет чего сократить потери мощности в подшипнике в сравнении со штатными.

Применение упругих соединительных муфт в насосных агрегатах позволяет утверждать, что по сравнению с другими типами соединительных муфт, такие муфты обладают высокими компенсирующими и виброизолирующими свойствами, удобны при обслуживании и монтаже [6].

Преимущества упругих муфт:

- отсутствие изнашивающихся трущихся деталей, благодаря чему не требуется смазка;
- наборная конструкция мембран не подвержена заклиниванию;
- на порядок меньшие реактивные силы в сравнении с зубчатыми муфтами;
- не передают вибрации по валопроводу;
- за счёт гибкости в осевом и угловом направлении компенсируют значительные расцентровки валов;
- в случае разрушения пакета (при многократной перегрузке) обеспечивается передача крутящего момента до остановки агрегата.

Упругие муфты не подвержены заклиниванию, так как у них нет трущихся деталей. В аварийных ситуациях имеют меньшие повреждения и не теряют работоспособности.

Обладают ремонтпригодностью - возможна замена повреждённых упругих элементов или полная замена пакетов.

После замены зубчатых муфт на упругие уровень вибрации снижается в 1,5...3 раза, так как нагрузки на упорные и опорные подшипники уменьшаются в несколько раз.

При проектировании соединительных муфт для каждого насосного агрегата проводится оптимизационный расчет пакета упругих элементов в соответствии с условиями эксплуатации.

Анализ разрушения упругих муфт после их многолетней эксплуатации (20...30 лет) показал что причиной явилась фреттинг-коррозия гибких элементов. Для предотвращения этого явления фирмой «ТРИЗ» совместно с кафедрой технического сервиса сумского национального университета разработана технология повышения надежности и долговечности гибких элементов упругих муфт за счет применения специальных металлоплакирующих материалов [7,8]. При нанесении плакирующих смазывающих материалов происходит заполнение микронеровностей поверхности заготовок и увеличение площади их фактического контакта, а также снижение коэффициента трения, что в конечном итоге значительно снижает силу трения и как результат разрушение и износ контактирующих поверхностей.

Таким образом, с внедрением в производство технологии позволяющей предотвращать фреттинг-коррозию контактирующих элементов, сделан еще один шаг на пути повышения надежности и увеличении ресурса работы упругих муфт в составе насосных агрегатов.

Накопленный опыт показывает, что при проектировании насосного оборудования необходимо обращать внимание не только на рабочие параметры, но и учитывать все особенности работы насоса в технологическом процессе и в соответствии с ними разрабатывать конструкцию и материальное исполнение агрегата.

## ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Марцинковский В.С., Овсейко И.В., Скирдаченко Е.И. Обеспечение герметичности центробежных насосов химической промышленности.//Труды научно – технического семинара «Безопасность эксплуатации компрессорного и насосного оборудования».- Одесса.- 2001.- С.93-97
2. Копнин В.А, Левицкий Г.С., Вовнобой М.В. Модернизация и замена насосного оборудования. // Труды 11-й междунар. научно-технической конференции «Герметичность, виброненадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования» Т. 3, Сумы, 2005. - С.83-103.
3. Вовнобой М.В., Волков В.И., Копнин В.А., Овсейко И.В. Насосы химической промышленности.// Zeszyty naukowe 12th international scientific and engineering conference Hermetic Sealing, Vibration Reliability And Ecological Safety Of Pump And Compressor Machinery, Kielce-Przemysl, T.2, 2008.- S.327-332.

4. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Развитие радиальных демпферных подшипников с вкладышами на гидростатической опоре. // Мир техники и технологий. 2009. № 1. С. 28-31.
5. Марцинковский В.С., Юрко В.И. Эффективное повышение несущей способности упорных подшипников скольжения турбокомпрессорных агрегатов. // Мир техники и технологий. 2009. № 3. С. 2-7.
6. Марцинковский В.С., Овсейко И.В., Юрко В.И. Опыт разработки и перспективы использования упругих муфт в центробежных компрессорных агрегатах газовой и нефтехимической промышленности // Газотурбинные технологии. 2007. № 3. С. 36-40.
7. Братушак М.П., Марцинковский В.С., Тарельник В.Б. К вопросу оптимизации трибосопряжений гибких элементов муфт.// Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства.-2006.-Вип.46.-С.64-69
8. Тарельник В.Б, Братушак М.П., Шалапко Ю.И. Разработка технологии повышения долговечности гибких элементов упругих муфт.// Zeszyty naukowe 12th international scientific and engineering conference Hermetic Sealing, Vibration Reliability And Ecological Safety Of Pump And Compressor Machinery, Kielce-Przemysl, T.1, 2008.- S.315-321.

## RELIABILITY IMPROVEMENT OF THE PUMPS EQUIPMENT IN CHEMICAL INDUSTRY

**Igor Ovseyko, Marina Vovnoboy,  
TRIZ Ltd**

### SUMMARY

*This article describes works about research, modernization and substitution of pumps executed by firm "ТРИЗ". The necessity for realization of modernizations of the pumps and also in their replacement dictates increase of the requirements to economy, reliability and maintainability. The approach in existence in the given kind of works allows accepting the optimum decisions according to the put task.*

**Keywords: leakproof pumps, pulse face seals, damping bearings, magnetic couplings, flexible couplings.**