

УДК 620.186:621.825.6

Н. В. Водолазская, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, Россия

Тел.: +79092025127; *E-mail*: vnv26@bk.ru

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В статье рассмотрены вопросы ремонтпригодности технологической оснастки на примере анализа снятого с эксплуатации насосного оборудования, в частности, роторного насоса. На основании проведенных экспериментов показаны качественная картина изнашивания поверхностей деталей рабочей камеры и количественные характеристики распределения износа. Представлены наиболее вероятные факторы такого износа. Предлагаются рекомендации по обеспечению ремонтпригодности основных элементов рассматриваемого промышленного оборудования.

Ключевые слова: насосное оборудование, рабочая камера, экспериментальные исследования, износ, статистические характеристики величины износа.

N. V. Vodolazskaya

INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON MAINTAINABILITY OF SOME TYPES OF THE INDUSTRIAL EQUIPMENT

Questions of maintainability of industrial equipment on an example of the analysis of the pump equipment out of service, in particular, the rotor pump are considered in this paper. On the basis of the carried-out experiments the qualitative picture of wear process of details surfaces of the working chamber and quantitative characteristics of distribution of wear are shown. The most probable factors of such wear are presented. Recommendations about ensuring maintainability of basic elements of the considered industrial equipment are offered.

Key words: pump equipment, working chamber, experimental investigation, wear process, characteristics of distribution of wear.

1. Введение

В условиях нестабильной внешней среды и динамично изменяющейся конъюнктуры рынка перед предприятиями стоит задача обеспечения необходимых потребительских свойств выпускаемой продукции. Зачастую, эти свойства, а, прежде всего, работоспособность и качество изделий, обусловлены уровнем технологической подготовки сборочного производства и применяемой оснастки [1, 2, 3, 4, 5]. При этом возникает проблема поддержания оборудования и приспособлений к нему в постоянной эксплуатационной готовности путем улучшения его технического обслуживания и ремонта [6, 7].

Одним из видов широко используемого промышленного оборудования является насосное оборудование, применяемое практически во всех отраслях хозяйственной деятельности: машиностроении, энергетике, судостроении, нефтехимической, перерабатывающей и др. Разновидностью такого оборудования являются насосы роторного типа [8, 9]. Несмотря на многообразие конструкций роторных насосов, можно выделить ряд общих положительных признаков, среди которых наиболее существенными являются следующие:

- повышенный КПД насоса за счет отсутствия в конструкции клапанов, приводящих к потере мощности;
- более высокая частота вращения по сравнению с поршневыми и плунжерными насосами;

- более равномерная подача рабочей среды по сравнению с возвратно-поступательными насосами и т.п.

Поскольку герметичность в большинстве конструкций роторных насосов обеспечивается за счет плотного прилегания подвижных узлов к неподвижным частям, к перекачиваемой среде предъявляется ряд повышенных требований, в частности, эта среда не должна оказывать на детали насоса абразивного воздействия и быть неагрессивной по отношению к материалу проточной части. Однако рабочая среда, в технологических линиях предприятий, особенно перерабатывающей промышленности, является весьма агрессивной, в ряде случаев она содержит абразивные примеси. Поэтому в процессе эксплуатации важно предупредить возможные отказы в работе оборудования, вызванные износом его основных элементов [10, 11, 12]. Таким образом, проблема предупреждения отказов из-за износа оборудования является актуальной, так как оценка возможного износа позволит обеспечить высокую эксплуатационную надежность машин в течение запланированного периода работы.

Цель статьи заключается в исследовании влияния эксплуатационных факторов на ремонтпригодность насосного оборудования, а также в статистической оценке износа рабочих поверхностей ответственных деталей роторного насоса.

2. Основное содержание и результаты работы.

В качестве объекта исследования был выбран снятый с производства по причине отказа насос роторный НР-10. Конструкция такого насоса представлена на рис. 1 [9], где цифрами обозначены: 1 – глухая крышка, 2 - торцевое уплотнение типа Джон Крейн, 3 - болт; 4 - винт, 5 - шайба, 6 - резиновое уплотнительное кольцо; 7- гайка, 8- зубчатое колесо, 9 и 12 - валы в сборе; 10, 11, 19 – крышки, 13 - шестерня, 14, 16 и 21 – корпусные детали, 15 - манжета, 17 - промежуточная крышка, 18 - нагнетательный патрубок, 20 - ротор, 22 - всасывающий патрубок, 23 - маслоуказатель.

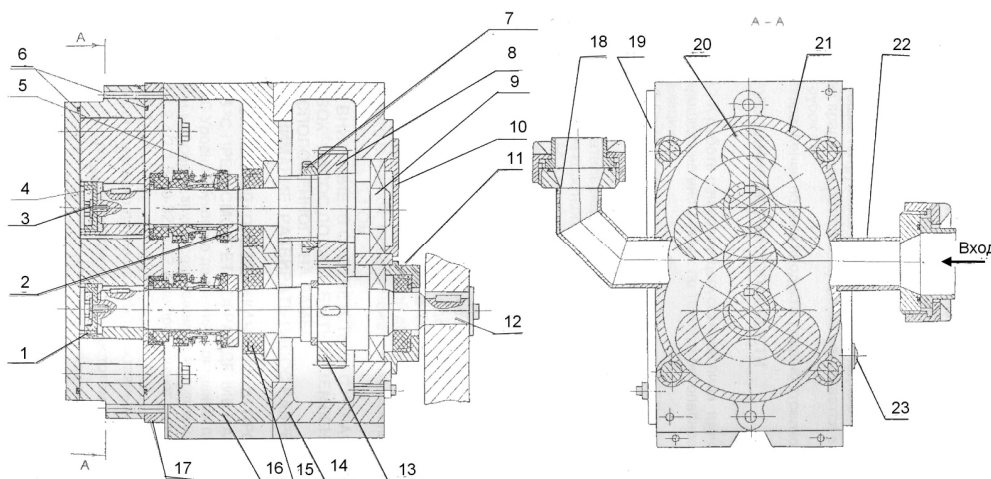


Рисунок 1 - Общий вид роторного насоса модели НР-10 [9]

Принцип работы насоса заключается в следующем: пара синхронизирующих шестерен 13 и 8 (рис. 1), заключенных в корпусе 14, предназначена для передачи крутящего момента с электродвигателя на насос. В расточках корпуса 21 на консольных концах валов 12 и 9 с помощью шлицевых соединений установлены роторы 20 (типа колес Рутса). Рабочие камеры с двух сторон торцов роторов закрыты плоскими крышками 1

(глухая) и 17 (промежуточная). Роторы имеют по три лепестка, расположенных под углом 120° . Межлепестковые впадины и лепестки роторов образуют рабочие камеры, объем которых увеличивается при выходе лепестков из «зацепления» и уменьшается при входе в «зацепление». Перекачиваемый продукт из всасывающей магистрали 22 заполняет межлепестковые впадины и переносится роторами в зону входа лепестков в «зацепление», где он порциями выдавливается ими в нагнетательную магистраль 18. Высота роторов выполняется несколько меньшей расстояния между крышками, чтобы между роторами и крышками образовывался очень малый осевой зазор, что позволяет добиться приемлемой герметичности рабочих камер. Очевидно, чем больше величина осевых и радиальных зазоров в конструкции насоса, тем большее количество перекачиваемого продукта сможет перетекать из зоны нагнетания в зону всасывания внутри насоса, однако это приводит к снижению КПД работы насоса и уменьшает его производительность. С другой стороны, чем больше зазор, тем меньше будет трение между подвижными поверхностями, которое нужно преодолевать при вращении роторов. Величина внутренних утечек продуктов перекачки представляет собой объемные потери, а величина трения определяет механические потери. Здесь возникает проблема выбора эксплуатационных факторов, например, регулировок зазоров, которые в дальнейшем будут оказывать влияние на ремонтпригодность основных деталей насоса. Чем выше давление, которое должен развить насос, тем меньше должны быть зазоры между основными деталями, так как объемные потери возрастают с ростом зазоров, однако чем меньше зазоры, тем больше становятся усилия трения [10]. Таким образом, эффективное функционирование насоса во многом зависит от правильного установления осевого зазора между роторами и крышками 1 и 17, а также между подшипниками,

Анализ рабочих деталей, проведенный после разборки насоса снятого с эксплуатации, показал, что основными причинами возникновения отказов насоса являются заклинивание роторов, износ валов, износ и излом шестерен, выход из строя подшипников, выход из строя торцевого уплотнения, износ рабочих поверхностей крышек [13, 14]. Данные отказы зависят от ряда конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов, которые приводит к такому показателю величины осевого зазора, при достижении которого, эксплуатация насоса становится экономически невыгодной и технически нецелесообразной без замены или восстановления изношенных основных элементов

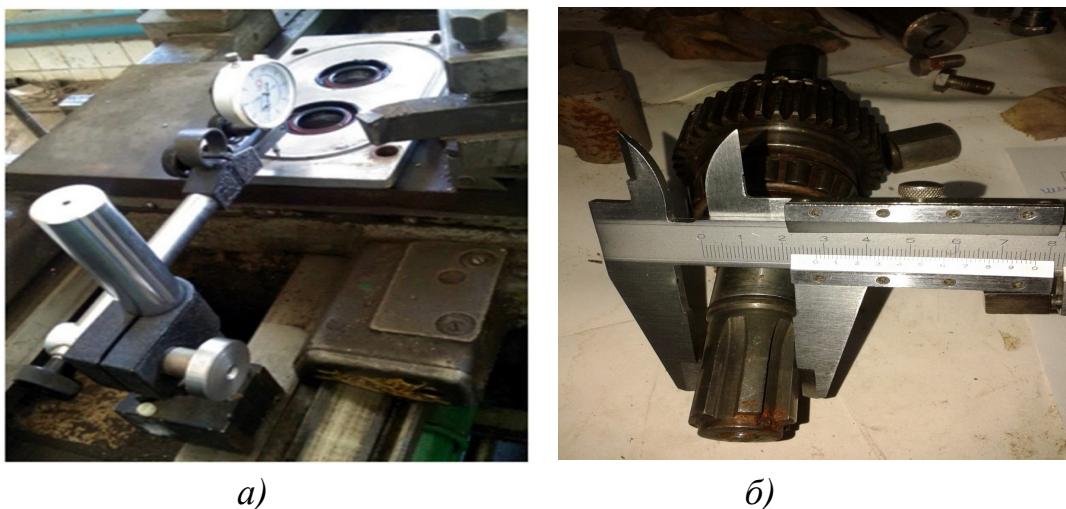


Рисунок 2 - Выполнение замеров промежуточной крышки и ведущего вала

Для определения ремонтпригодности основных элементов роторного насоса и правильного выбора метода восстановления их поверхностей необходимо иметь точное представления о качественной картине износа и его величине. При оценке степени износа деталей был выбран микрометрический метод, включающий использование микрометров, индикаторных приборов и других средств измерения, который получил наиболее широкое распространение в практике эксплуатации машин [15]. На рисунке 2 зафиксированы примеры процесса установки на измерительную плиту промежуточной крышки с измерительным средством (рис 2, а) и процесс выполнения замеров ведущего вала (рис. 2, б). В качестве базовой поверхности были приняты неповрежденные (неизношенные) участки по углам крышки. Горизонтальность поверхности проверялась с помощью индикатора часового типа ИЧ-10МН.

Индикатор установили на универсальном электромагнитном штативе и неподвижно закрепили на продольной направляющей станка (рис 2, а). Измерения осуществлялись последовательно: сначала промежуточной крышки, затем глухой, после нанесения контрольных точек на этих крышках. Для определения изменения размеров наружных диаметров ведущего и ведомого валов в качестве одного из измерительных инструментов был использован штангенциркуль ШЦ-I (рис. 2,б) с ценой деления 0,05 мм. Исследуемая часть вала разбивалась на 3 сечения, в каждой из которых выполнялись замеры через 60°. Результаты измерения величины износа исследуемых деталей с учетом кодировки заносились в подготовленные формы. Эти данные были использованы для графической интерпретации распределения величин износа по областям трения для глухой и промежуточной крышек в области действия каждого ротора. Аналогичные математические операции были проделаны также для ведущего и ведомого валов. Пример распределения величины износа представлен на рис.3.

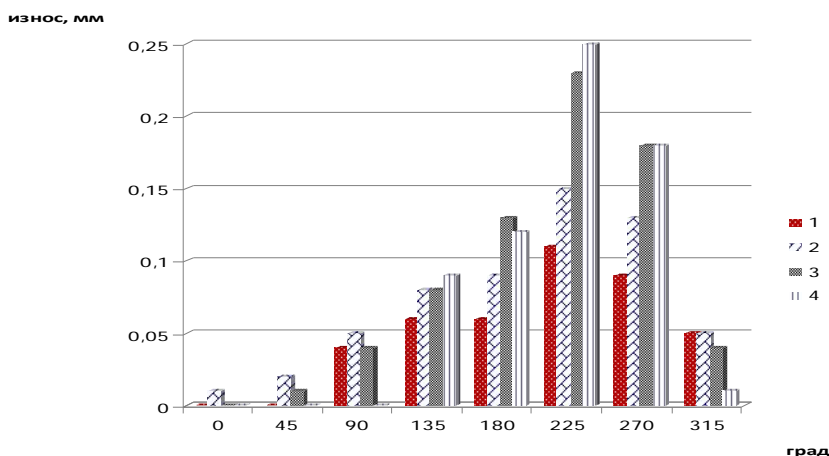
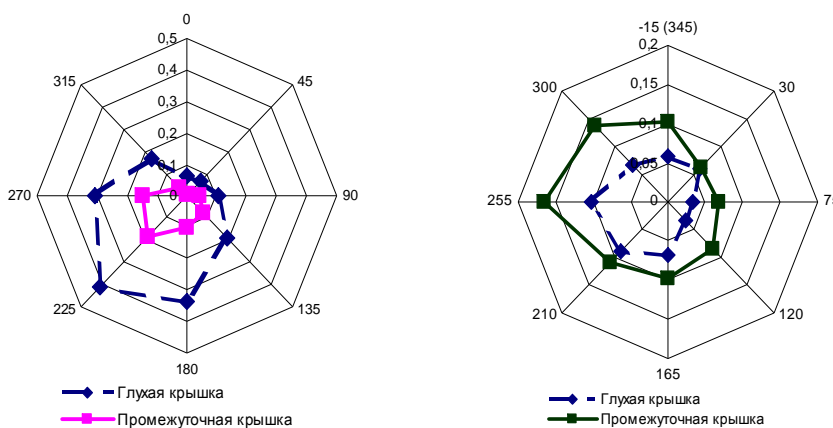


Рисунок 3 - Распределения величины износа по области трения для промежуточной крышки от воздействия ведущего ротора

Качественная картина изнашивания в зонах крышек наглядно представлена на графиках в виде радаров (рис.4).

Как видно из графиков, отчетливо сформированы зоны износа по направлениям лучей 180°...270° для ведущего вала (рис.4,а) и 210°...300° для ведомого вала (рис. 4,б) со смещением по направлению вращения валов. Глубина износа в этом секторе доходит до 0,25 мм. Такой характер износа свидетельствует о длительном перекосе осей ро-

торов и несоответствии такого эксплуатационного фактора как торцевой зазор между роторами и крышками рабочей камеры роторного насоса нормируемому значению



а) от воздействия ведущего ротора; б) от воздействия ведомого ротора
 Рисунок 4 - Характеристика зоны изнашивания крышек рабочей камеры

Чтобы установить характер изменения износа по поверхностям глухой и промежуточной крышек, а также для исследуемых частей ведущего и ведомого валов была выполнена статистическая обработка полученных замеров. Расчет статистических показателей, которые позволяют оценить достоверность различия, корреляцию и взаимное влияние анализируемых факторов производился по определенной технологии с использованием математических функций и моделей эксперимента [16, 17, 18]. Статистическая обработка массива, например, данных 1-го замера измеренных величин износа по разметочным окружностям промежуточной крышки показала, что средние значения величины износа уменьшаются от центра к периферии, изменяясь последовательно по разметочным окружностям от 0,164 мм до 0,083 мм. Величина коэффициента вариации для каждой из разметочных окружностей (№ 1 – 0,698, № 2 – 0,847, № 3 – 0,980, № 4 – 1,313) находится выше предела 0,33, что свидетельствует о значительном рассеивании величины износа, как в пределах каждой разметочной окружности, так и в радиальном направлении зон износа (от центра к периферии).

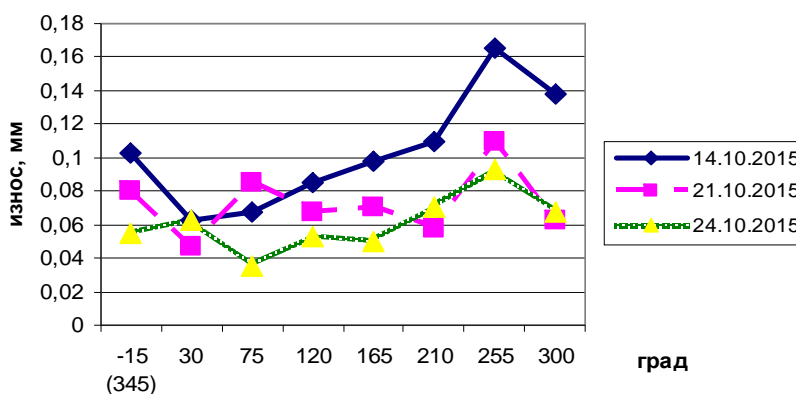


Рисунок 5 - Динамика изменения средней величины износа по области трения для промежуточной крышки от воздействия ведомого ротора по трем сериям измерений

Исследование средних значений изменения износа по области трения, например, для промежуточной крышек от воздействия ведущего и ведомого роторов позволили проследить динамику изменения величины износа (рис.5), которая совпадает со статистическими исследованиями совокупности величины износа для каждой серии замеров.

4. Заключение.

Анализ представленных данных позволяют высказать предположение о том, что формирование отказа роторного насоса обусловлено механическим изнашиванием внутренних поверхностей крышек рабочей камеры. Наиболее вероятным эксплуатационным фактором является несоблюдение рекомендуемых регулировок зазоров в рабочей камере, которое приводит к упругой деформации ведущего и ведомого валов, несущих роторы на консольных концах, со смещением зоны наибольшего износа по направлению их вращения.

Проведенные экспериментальные исследования картины износа основных элементов насоса НР-10 показали их ремонтпригодность и возможность восстановления функционирования насоса. Основное направление технологий восстановления заключается в доведении изношенных поверхностей до первоначальных параметров. Для этого применяются типовые технологические приёмы – сварка, пайка, наплавка, напыление металлопокрытий, осаждение металла, нанесение полимерных материалов и некоторые другие [19, 20]. В рассматриваемом случае наиболее предпочтительными способами восстановления работоспособности насоса являются ремонтное шлифование с учетом компенсации изменения звеньев функциональной размерной цепи, которое заключается в нанесении слоя материала на плоскую поверхность крышек с последующим шлифованием до заводского размера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водолазская, Н. В. Технологические особенности различных видов сборки изделий машиностроения / *Journal of Advanced Research in Technical Science.-North Charleston, USA, 2016. – Is.2. - С. 12 – 16.*
2. Водолазская, Н. В. Модели, алгоритмы и технические средства обеспечения качества сборки резьбовых соединений: монография. - Донецк: ДонНТУ, 2013. – 207 с.
3. Водолазская, Н. В. Сборка резьбовых соединений. Проблемы и перспективы совершенствования технологии сборочных процессов: монография / Н. В. Водолазская, В. М. Искрицкий, Е. Г. Водолазская. – Краматорск: ДГМА, 2014. – 192 с.
4. Водолазская, Е. Г. О повышении качества сборки резьбовых соединений / Е. Г. Водолазская, Н. В. Водолазская. // *Наука і освіта - 98. - Дніпропетровськ, 1998. -Т. 3. – С. 382.*
5. Водолазская, Е. Г. Управление процессом регулирования качества сборочных операций / Е. Г. Водолазская, Н. В. Водолазская // *Придніпровський науковий вісник, 1998.- №110 (177). - С.19-21.*
6. Водолазская, Н. В. Совершенствование системы ТОиР за счет повышения надежности ремонтной оснастки / Н. В. Водолазская // *Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий. - Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С.21 - 23.*
7. Водолазская, Н. В. Увеличение нормативного срока службы мостовых и металлургических кранов путем совершенствования системы ТОиР / Н. В. Водолазская // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. - Краматорськ: ДДМА, 2013. – С. 32.*

8. ГОСТ 32600-2013. Насосы. Уплотнительные системы вала для центробежных и роторных насосов. Общие технические требования и методы контроля. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://standartgost.ru/g/ГОСТ_32600-2013.
9. Насос роторный [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://moltechsnab.ru/nasos_rotornyj_v3-ora-10_nr-10.
10. Крагельский, И. В. Узлы трения машин: справочник / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. - М.: Машиностроение, 1984. - 280 с.
11. Водолазская, Н. В. Проблема повышения долговечности деталей машин, эксплуатируемых в агрессивных средах. / Н. В. Водолазская, Д. А. Шевченко // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. - Суми: СумДУ, 2010. – С. 25-27.
12. Another approach of surface texture in turning using motif and "Rk" parameters / G. Petropoulos, A. Marinkovic, N. Vodolazskaya, A. Korlos, I. Ntziantzias // Journal of the Balkan Tribological Association, 2006. - Vol. 12, № 1, P. 7 - 15.
13. Водолазская, Н. В. О причинах отказа и об оценке износа насосного оборудования перерабатывающих предприятий АПК. / Н. В. Водолазская, А. Г. Минасян, О. А. Шарая // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2016. - № 3 (11). - С. 14 – 23.
14. Водолазська, Н. В. Проблеми працездатності обладнання АПК на прикладі статистичних досліджень зносу насосу роторного типу / Н. В. Водолазська, О. Г. Пастухов // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Наук. журнал. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2016. - №5. – С. 55 – 63.
15. Стребков, С. В. Обработка информации при анализе состояния деталей по результатам микрометрирования / С. В. Стребков, А. В. Сахнов. – Белгород: ФГБОУ ВО БелГСА, 2011. – 35 с.
16. Зима, П. Ф. Теория инженерного эксперимента: учебное пособие / П. Ф. Зима, Г. М. Тимошенко. - К.: УМК ВО, 1991. – 124 с.
17. Водолазська, Н. В. Теорія і практика дослідження операцій енергоємних виробництв / Н. В. Водолазська, В. О. Будішевський, А. О. Суліма – Донецьк: ДонНТУ, 2009. - 212 с.
18. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высш. школа, 2000. – 480 с.
19. Стребков, С. В. Матричные технологии восстановления и упрочнения деталей / С. В. Стребков, А. П. Слободюк, А. В. Бондарев // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий – Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С. 104 – 105.
20. Михайлов, А. Н. Повышение долговечности деталей машин на базе функционально-ориентированных покрытий / А. Н. Михайлов, Д. А. Михайлов, Р. М. Грубка, М. Г. Петров // Научно-технические технологии в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2015. – № 7 (49).

Поступила в редколлегию 03.02.2017г.