

УДК 620.186:621.825.6

Водолазская Н. В., Минасян А. Г., Пастухов А. Г.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИЗНОСА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Насосное оборудование используется практически во всех отраслях промышленности: машиностроении, энергетике, судостроении, нефтехимической и др. Разновидностью такого оборудования, которое, например, широко применяется на предприятиях агропромышленного комплекса, являются насосы роторного типа [1, 2]. Несмотря на многообразие конструкций роторных насосов, можно выделить ряд общих положительных признаков, а именно: 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. Техническая надежность этого насосного оборудования является одной из наиболее важных характеристик, которая учитывается при разработке, проектировании, монтаже и других стадиях его жизненного цикла. 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 перерабатывающих предприятий является весьма агрессивной, в ряде случаев она содержит абразивные примеси [3]. Кроме того, оборудование работает в тяжелых условиях: во влажной атмосфере, при высоких температурах, при значительных скоростях относительного перемещения трущихся деталей и при наличии вибраций. Поэтому в процессе его эксплуатации важно предупредить возможные отказы в работе оборудования, вызванные износом его основных элементов [4, 5, 6]. При этом немаловажной проблемой является та ситуация, что все выходы из строя деталей и узлов, вступающих в контакт с пищевыми средами, приведут не только к простоям сопряженных с ними агрегатов и нарушению технологического процесса, но и к полной потере или частичному ухудшению качества продукции. Таким образом, проблема предупреждения отказов из-за износа оборудования, которая связана с необходимостью оценки степени износа рабочих поверхностей основных деталей роторного насоса, является актуальной, так как такая оценка позволит обеспечить высокую эксплуатационную надежность машин в течение запланированного периода работы.

Цель данной статьи заключается в определении статистической оценки износа рабочих поверхностей ответственных деталей насосного оборудования, в частности роторного насоса.

Для достижения поставленной цели, в первую очередь, необходимо изучить причины отказов и характер износа ключевых элементов роторных насосов. Эта задача решалась в ходе проведения экспериментальных исследований роторного насоса серии НР-10, временно снятого с эксплуатации. Основными деталями этого насоса являются корпус, износ рабочих поверхностей которого вызывает изменение формы в продольной плоскости, что приводит к потере его производительности, а также рабочие органы насоса – роторы (типа колес Рутса), крышки, зубчатая пара и валы. В качестве объектов исследования были выбраны шлицевые поверхности ведущего и ведомого валов, на которых закрепляются роторы; внутренний диаметр отверстий для установки ведущего и ведомого валов в промежуточной крышке рабочей камеры, а также внутренние поверхности глухой и промежуточной крышек рабочей камеры.

Чтобы получить количественную оценку степени износа деталей машин, можно использовать различные известные методы. Например, микрометрирования – по изменению размеров детали, устанавливаемому с помощью универсальных измерительных средств; искусственных баз – по изменению размера углубления, нанесенного алмазным или твердосплавным инструментом на рабочую поверхность детали и косвенный метод оценки – по изменению эксплуатационных характеристик сопряжения или узла мертвого хода, температуры, измерения шума или давления [7]. В данном случае был выбран микрометрический метод, включающий использование микрометров, индикаторных приборов и других средств измерения, который получил наиболее широкое распространение в практике эксплуатации машин.

В предыдущих работах авторов [8, 9] рассмотрены вопросы изучения конструкции роторного насоса НР-10 и представлена общая методика его экспериментальных исследований, включающая пять этапов. После выполнения этих этапов было установлено, что наибольшему износу подвергаются поверхности рабочей камеры насоса НР-10, а именно внутренние поверхности промежуточной и глухой крышек, замыкающие пространство рабочей камеры, в которой находятся роторы, а также ведущий и ведомый валы. В качестве средства измерения величины износа крышек был использован индикатор часового типа ИЧ-10МН с ценой деления 0,01 мм за ГОСТ 577-68. А для установления изменения размеров наружных диаметров ведущего и ведомого валов – штангенциркуль ШЦ-I (цена деления 0,05 мм ГОСТ 166-89) и микрометр МК50-1 с ценой деления 0,01 мм ГОСТ 6507-90. При этом измерения проводились в такой последовательности:

- определение базовой поверхности на крышках рабочей камеры роторного насоса НР-10 (аналогично определение базовой поверхности для ведущего и ведомого валов);
- определение необходимого числа измерений и точек их расположения;
- подготовка документации для занесения данных эксперимента;
- нанесение контрольных точек на измеренную поверхность;
- установка на измерительную плиту элементов насоса и измерительного средства;
- определение величины износа в указанных точках и запись измеренных данных в подготовленные формы.

На фотографиях (рис. 1) зафиксирован процесс установки на измерительную плиту промежуточной крышки с измерительным средством (рис 1, а) и процесс выполнения замеров ведущего вала (рис. 1, б).



а)



б)

Рис. 1. Выполнение замеров промежуточной крышки и ведущего вала

Крышку устанавливали таким образом, чтобы базовая поверхность (неповрежденные и неизношенные участки исследуемых крышек) была строго горизонтальна. Горизонтальность проверялась с помощью индикатора ИЧ-10МН, закрепленного на универсальном магнитном штативе. Измерения осуществлялись последовательно: сначала промежуточной крышки, затем глухой, после нанесения контрольных точек на этих крышках. Результаты измерения величины износа исследуемых деталей с учетом кодировки заносились в подготовленные формы. Один из вариантов результатов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Износ по области трения для промежуточной крышки от воздействия ведущего ротора

Пояс измерения	Значения, мм							
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
1	0,00	0,00	0,04	0,06	0,06	0,11	0,09	0,05
2	0,01	0,02	0,05	0,08	0,09	0,15	0,13	0,05
3	0,00	0,01	0,04	0,08	0,13	0,23	0,18	0,04
4	0,00	0,00	0,00	0,09	0,12	0,25	0,18	0,01

По результатам проведенных замеров выполнена графическая интерпретация распределения величин износа по области трения для глухой и промежуточной крышек в области действия каждого ротора. Пример распределения величины износа представлен на рис. 2.

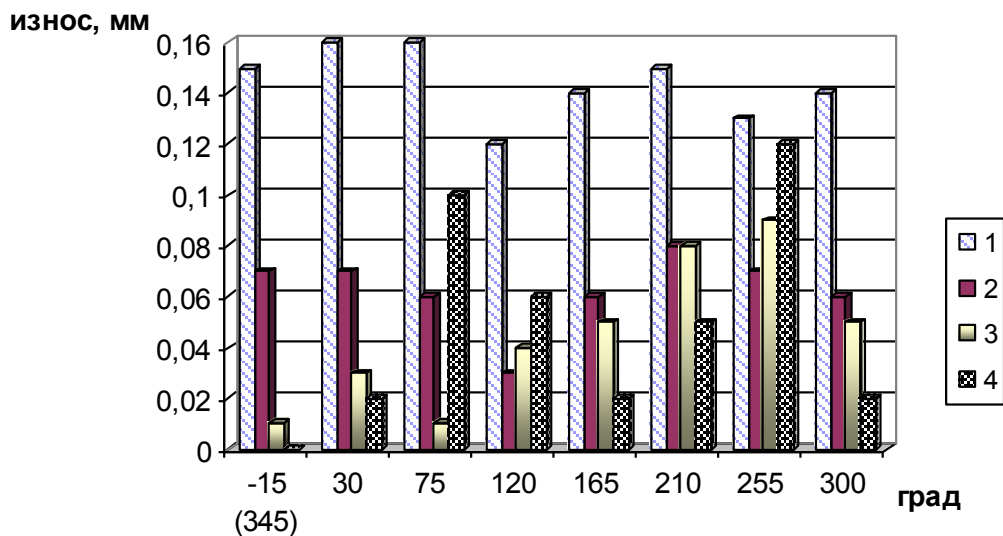


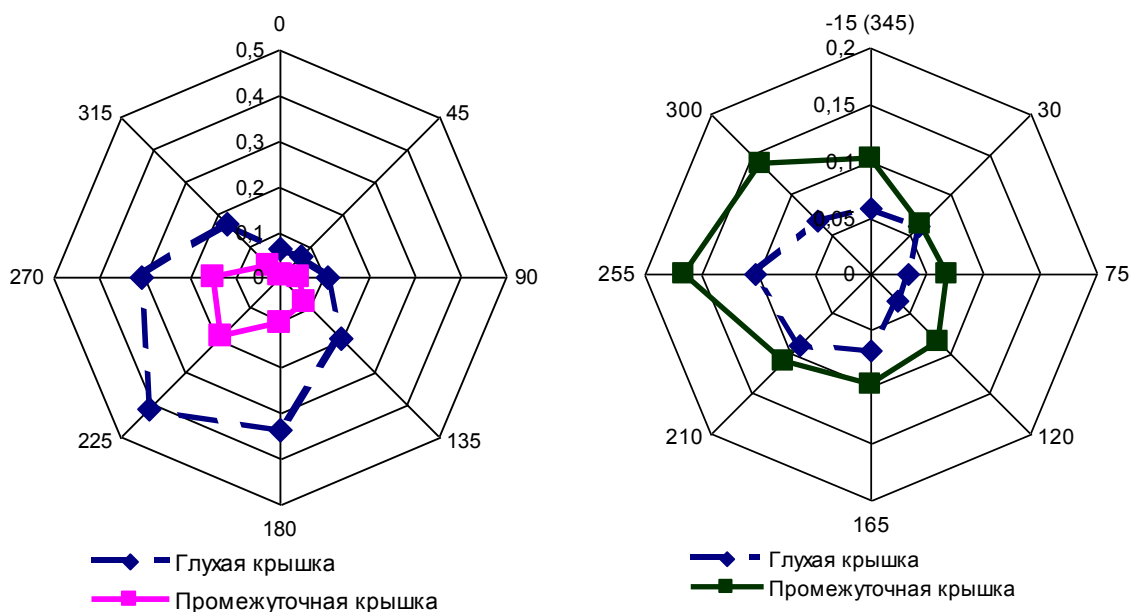
Рис. 2. Распределения величины износа по области трения для промежуточной крышки от воздействия ведомого ротора

Чтобы установить характер изменения износа по поверхностям глухой и промежуточной крышек 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 [10–12].

Статистическая обработка массива данных 1-го замера измеренных величин износа по разметочным окружностям показала, что средние значения величины износа уменьшаются от центра к периферии, изменяясь последовательно по разметочным окружностям: 0,164 мм – № 1, 0,103 мм - № 2, 0,103 мм - № 3, 0,083 мм - № 4. При этом значения дисперсий расположились следующим образом по разметочным окружностям: №1 – 0,0131 мм²,

№2 – 0,0076 мм², №3 – 0,0101 мм², №4 – 0,0119 мм², а значения среднеквадратичных отклонений: №1 – 0,1147 мм, №2 – 0,0871 мм, №3 – 0,1005 мм, №4 – 0,1089 мм. Характер изменения значений дисперсий показывает степень изменчивости (рассеивание) опытных данных, поэтому наибольшей изменчивостью обладают данные для окружностей № 1, № 4, № 3 и № 2 в порядке убывания. Анализ средних квадратичных отклонений величины среднего значения (средняя ошибка) подтверждает упомянутый факт. Сопоставление статистических характеристик опытных данных по разметочным окружностям приводилось на основе коэффициента вариации. 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).

С целью наглядного представления качественной картины изнашивания в зонах крышек представим данные износов на графиках в виде радаров (рис. 3).



а) от воздействия ведущего ротора;

б) от воздействия ведомого ротора

Рис. 3 - Характеристика зоны изнашивания крышек рабочей камеры

При этом на графиках отчетливо отмечается формирование зоны износа по направлениям лучей 180°...270° для ведущего вала (рис.3,а) и 210°...300° для ведомого вала (рис. 3,б) со смещением по направлению вращения валов.

Выполнение одной серии замеров позволило выполнить контроль величины износа в 32 точках каждой зоны от воздействия ведомого и ведущего роторов промежуточной и глухой крышек. Для увеличения однородности совокупности замеров было принято решение о проведении дополнительных двух серий замеров. Это позволило увеличить в три раза количество замеров в каждой зоне промежуточной и глухой крышек, а именно выполнить контроль величины износа по 96 измерениям. После выполнения всех серий замеров величины износа в расчетных точках был проведен статистический анализ данных для каждой серии замеров. Статистическая обработка массива данных трех серий замера величин износа по разметочным окружностям и ее анализ показали, что средние значения величины износа практически совпадают для каждой серии: 0,113 мм - № 1, 0,105 мм - № 2, 0,128 мм - № 3; при этом значения дисперсий для каждой серии составляют: №1 – 0,0012 мм², №2 – 0,0005 мм², №3 – 0,0007 мм², а значения среднеквадратичных отклонений: №1 – 0,0353 мм, №2 – 0,0235 мм, №3 – 0,0267 мм. Характер изменения значений дисперсий показывает степень изменчивости (рассеивание) опытных данных, поэтому наибольшей изменчивостью обладают данные для

первой серии замеров. Это подтверждает анализ значений среднего квадратичного отклонения величины износа (средняя ошибка). Сопоставление статистических характеристик опытных данных по сериям замеров также было проведено на основе коэффициента вариации. Однако в данном случае величина коэффициента вариации для каждой серии замеров (№ 1 – 0,313, № 2 – 0,223, № 3 – 0,208) оказалась ниже 0,33, что свидетельствует об однородности совокупности величины износа для каждой серии замеров.

Исследование средних значений изменения износа по области трения для глухой и промежуточной крышек от воздействия ведущего и ведомого роторов показали, что динамика изменения величины износа постоянно по указанным секторам, что совпадает со статистическими исследованиями совокупности величины износа для каждой серии замеров.

ВЫВОДЫ

Статистические исследования рабочих поверхностей основных элементов роторного насоса подтверждают, что формирование отказов обусловлено механическим износом внутренних поверхностей крышек рабочей камеры в радиальном направлении. Максимальное значение износа 0,46 мм и 0,31 мм, соответственно для глухой и промежуточной крышек. Наиболее вероятные причины такого износа - несоблюдение рекомендуемых регулировок зазоров в камере и упругие деформации валов, несущих роторы на консольных концах, со смещением зоны наибольшего износа по направлению их вращения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 32600-2013. Насосы. Уплотнительные системы вала для центробежных и роторных насосов. Общие технические требования и методы контроля. [Электронный ресурс] http://standartgost.ru/g/ГОСТ_32600-2013
2. Махортов Н. Е. Об использовании диагностики основных элементов роторного насоса для повышения его надежности [Текст] / Н. Е. Махортов, Н. В. Водолазская // *Материалы международной студенческой научной конференции (9–10 февраля 2016 г.) Том 2.* – Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С. 45.
3. Водолазская Н. В. Повышение ресурса оборудования молочно перерабатывающей промышленности за счет использования композиционных материалов / Н. В. Водолазская, А. Г. Пастухов, А. Г. Минасян // *Конструирование и производство изделий из композиционных материалов : Труды Междунар. науч.-практ. конф., Караганда, 29 сентября 2015 г. / Карагандинский гос. технический ун-т – Караганда, 2015.* – С. 15-16.
4. Крагельский, И. В. Узлы трения машин: справочник / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
5. 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. Тези доповідей Десятої Всеукр. молодіжної наук.-техн. конф. (26–30 жовтня 2010 р.).* – Суми.: СумДУ, 2010. – С.25-27.
6. Petropoulos G. 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. Vol. 12, № 1, 2006.* – P. 7–15.
- 7 Пучин, Е.А. Основы теории надежности и диагностики технических систем: научно-практическое издание / Е.А Пучин. – М.: ФГБНУ «Росинформазротех», 2013. – 182 с.
8. Pastukhov A. Method and results of the evaluation of the wear of the rotary pump / A. Pastukhov, N. Vodolazskaja, A. Minasyan // *Journal of Scientific Society of Power Machines, Tractors and Maintenance.* – Serbia, University of Novi Sad, 2015. – Vol.20. – No.1 – P. 36–42
9. Водолазская Н. В. Экспериментальные исследования износа поверхностей рабочей камеры насоса роторного НР-10 / Водолазская Н. В., Пастухов А. Г., Минасян А. Г. // *Труды ГОСНИТИ, 2016.* – Т.122. – С. 33–39.
10. Зима П. Ф., Тимошенко Г. М. Теория инженерного эксперимента: Учеб. пособие - К.: УМК ВО, 1991. – 124 с.
11. Водолазська Н. В. Технічні системи: сьогодні і завтра / Н. В. Водолазская. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – 203 с.
12. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. школа, 2000. – 480 с.