

УДК 62.229

Д.С. Мырзалиев, О.Б. Сейдуллаева*, Д.А. Абзалова, З.А. Ибрагимова, А.К. Кушербай

к.т.н., доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

докторант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

к.т.н., доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

PhD, доцент, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

магистрант, ЮКУ им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: orynkul_s@mail.ru

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НАДЕЖНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Аннотация

В статье анализируются как традиционные, так и современные подходы к обеспечению надежной эксплуатации центробежных насосных агрегатов, применяемых в нефтеперерабатывающей отрасли. Особое внимание уделено системе планово-предупредительного ремонта: выявлены её сильные стороны и недостатки. Также рассмотрены принципы технического обслуживания по фактическому состоянию на основе вибродиагностики. Подчеркивается важность комплексного подхода, включающего прогнозирование ресурса деталей, что позволяет повысить эффективность и надежность эксплуатации насосного оборудования.

Следует учитывать, что элементы и узлы насосных установок нефтеперерабатывающих предприятий функционируют в сложных условиях, подвергаясь одновременно механическим нагрузкам, воздействию высоких температур и коррозионным процессам. Это приводит к изменению физико-химических характеристик материалов, нарушению геометрии и размеров деталей, увеличению зазоров между сопрягаемыми элементами. В итоге появляются посторонние шумы, вибрации и преждевременные поломки. Износ может протекать естественным образом при корректной эксплуатации, либо носить аварийный характер – возникать внезапно из-за нарушений правил технической эксплуатации. Именно поэтому грамотное техническое обслуживание и своевременные ремонтные работы являются ключевыми условиями надежной и безопасной работы насосного оборудования, а также долгосрочного сохранения его работоспособности.

Ключевые слова: центробежный насос, надежность, техническое обслуживание, планово-предупредительный ремонт, вибродиагностика

Введение

Центробежные насосные агрегаты относятся к ключевому оборудованию, используемому в различных технологических процессах, в том числе в нефтеперерабатывающей промышленности. Их функционирование происходит в условиях воздействия значительных механических нагрузок, температурных перепадов и агрессивных коррозионных факторов. Это влечет за собой постепенный износ деталей, снижение производительности и вероятность возникновения аварийных отказов.

Для обеспечения надежной работы насосов традиционно применялась система планово-предупредительных ремонтов (ППР), базирующаяся на строго установленных межремонтных интервалах. Данный подход действительно снижал риск непредвиденных остановок, однако имел ряд ограничений: перерасход материальных ресурсов и отсутствие учета реального технического состояния агрегатов [1–2].

На сегодняшний день поддержание работоспособности насосных установок во многом обеспечивается системой планово-предупредительного ремонта [3–4]. В её основу положено проведение профилактических мероприятий различного объема в заранее определенные сроки. Для этого разрабатываются и соблюдаются графики проведения текущих, средних и

капитальных ремонтов. Основным преимуществом такого подхода является существенное сокращение вероятности внезапного выхода оборудования из строя.

Система ППР включает несколько форм технического воздействия на агрегаты: межремонтное обслуживание, текущий, средний и капитальный ремонт, а также регулярные осмотры и контроль технического состояния. Для каждого насоса определяется содержание работ, порядок их выполнения, длительность эксплуатации до ремонта и время простоя при его проведении.

Техническое обслуживание представляет собой совокупность операций, направленных на сохранение работоспособности оборудования в межремонтный период. Его выполнение возлагается как на эксплуатационный персонал (аппаратчиков, машинистов, операторов), так и на обслуживающих специалистов (дежурных слесарей, электриков, помощников мастера). Все работы осуществляются в соответствии с действующими нормативами по технической эксплуатации и правилами безопасного обслуживания.

Базовой основой организации является, как правило, 52-недельный график технического обслуживания, разрабатываемый службой главного механика. Эта служба не только контролирует бюджет и определяет плановые мероприятия, но и выполняет ряд административных функций: ведет учет и пополнение запасных частей, хранит историю эксплуатации агрегатов, осуществляет функционально-стоимостной анализ ремонтных мероприятий.

Текущий ремонт проводится в процессе эксплуатации и направлен на поддержание надежной работы насосного оборудования. Он включает разборку отдельных узлов, замену и восстановление отдельных деталей с последующей регулировкой. В перечень операций входят:

- промывка насоса и замена смазочных материалов;
- регулировка наиболее нагруженных и изнашиваемых сборочных единиц;
- частичная разборка агрегата с заменой элементов, ресурс которых соответствует одному межремонтному периоду;
- сборка и контроль отремонтированных узлов;
- выполнение работ, предусмотренных регулярными осмотрами.

Текущие ремонты обычно выполняются в нерабочее время: во время вечерних или ночных смен, в выходные дни, а при круглосуточной эксплуатации оборудования – в специально выделенные для этого плановые периоды [1–2]. Частота проведения, объем и содержание текущих ремонтных мероприятий зависят от срока службы отдельных деталей, а также от степени интенсивности эксплуатации агрегатов в межремонтный период.

В ремонтной карте отражаются все сведения, связанные с проведением текущего ремонта: обнаруженные неисправности, результаты технологических проверок и информация об устранении выявленных дефектов.

Средний ремонт осуществляется на основании ведомости дефектов и предполагает частичную разборку оборудования. В процессе выполняется замена либо восстановление наиболее изношенных узлов, производится регулировка рабочих механизмов и контроль правильности взаимного положения отдельных элементов и сборочных единиц. Такой тип ремонта охватывает детали, срок службы которых равен или меньше установленного межремонтного интервала. По объему выполняемых работ и трудозатратам средний ремонт составляет примерно 50–60 % от капитального [2].

Капитальный ремонт направлен на восстановление полной исправности агрегата и ресурса, максимально приближенного к первоначальному. В его рамках допускается замена или восстановление любых элементов оборудования, включая базовые узлы, с последующей регулировкой и проверкой. Характерной особенностью капитального ремонта является одновременная замена большого числа деталей и сборочных единиц, что обеспечивает

восстановление эксплуатационных характеристик до уровня, соответствующего техническим условиям для нового или прошедшего полное восстановление агрегата.

В программу капитального ремонта, помимо восстановительных мероприятий, нередко включаются работы по модернизации оборудования, а также мероприятия по автоматизации и механизации, направленные на повышение эффективности технологического процесса. По завершении всех ремонтных операций агрегат подлежит приемке комиссией, в состав которой входят главный механик, инженер отдела технического надзора, специалист по охране труда и начальник производства.

Следует отметить, что в большинстве зарубежных стран практика среднего ремонта практически не применяется. Вместо этого используются три основных вида технического воздействия: планово-предупредительное обслуживание, аварийный (внеплановый) ремонт и капитальный ремонт.

Наибольшее распространение за рубежом получило именно планово-предупредительное обслуживание, поскольку эта стратегия появилась раньше систем диагностики по фактическому состоянию и обладает развитой методической базой. В его состав входят внешний осмотр, смазка узлов, устранение мелких неисправностей, а также замена деталей, подвергшихся износу. Такие работы могут выполняться как в запланированные сроки, так и в случае выявления существенного ухудшения состояния оборудования. По статистике, на предупредительное обслуживание приходится около 60 % всех затрат на ремонт, тогда как на аварийные ремонты — порядка 10–15 %. Практический опыт и проведенные исследования [2] показали, что внедрение программы планово-предупредительных ремонтов позволяет снизить эксплуатационные расходы более чем на 30 % по сравнению с затратами при реактивном обслуживании, применявшемся до перехода на данную систему.

Эффективность планово-предупредительной системы обеспечивается за счет использования статистических данных об отказах оборудования и анализа закономерностей изнашивания его узлов. На основе этих сведений определяется оптимальная продолжительность межремонтного интервала, при котором риск интенсивного износа минимален. Плановая ревизия и замена деталей по истечении установленного срока значительно снижают вероятность внезапных поломок.

В основе системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) лежит поддержание оборудования в исправном состоянии и обеспечение его стабильной производительности. Регулярное выполнение таких ремонтов позволяет равномерно распределять нагрузку между ремонтными бригадами, повышать качество восстановительных работ и снижать затраты на эксплуатацию насосного парка.

Методика проведения ППР зависит от категории оборудования. Для основных агрегатов применяется схема периодических принудительных ремонтов, тогда как для вспомогательных устройств чаще используется послеосмотровое обслуживание. Такой подход нередко реализуется при ремонте трубопроводов и запорной арматуры. На предприятиях с хорошо организованной системой технического обслуживания допускается применение послеосмотрового метода и к части основных установок, особенно при проведении капитальных ремонтов.

Классификация агрегата как «основного» или «вспомогательного» определяется его значимостью в технологическом процессе. Если остановка оборудования ведёт к полному прекращению работы технологической линии, оно относится к основным и подлежит ремонту в обязательном порядке [1, 5].

При формировании графика ППР учитываются:

- длительность ремонта;
- численность и квалификация персонала;
- потребность в запасных частях и инструментах;

- возможность выполнения модернизационных мероприятий во время простоя.

Ремонты планируются через определённые интервалы эксплуатации, а их содержание и объём уточняются непосредственно при выполнении работ с учётом фактического состояния агрегатов.

Межремонтный цикл определяется периодом работы между двумя капитальными ремонтами и подразделяется на:

- ресурс до первого капитального ремонта (устанавливается заводом-изготовителем и фиксируется в технической документации);

- межремонтный ресурс, то есть время работы между последующими капитальными ремонтами.

Нормативные документы регламентируют структуру ремонтного цикла: текущий ремонт обычно составляет 10–20 % от капитального, а расширенный текущий ремонт может достигать 30–40 %.

Время простоя оборудования во время ППР включает несколько этапов: подготовительный, основной и заключительный. Подготовка охватывает остановку агрегата, удаление остатков рабочей среды, промывку, продувку и пропарку. Продолжительность ремонтных работ зависит как от сложности выполняемых операций, так и от времени, необходимого на испытания (на прочность, герметичность) и холостую обкатку. Завершающий этап включает рабочую обкатку и вывод насоса в штатный эксплуатационный режим.

В процессе эксплуатации элементы насосного агрегата постепенно изнашиваются и теряют свои первоначальные свойства, что может проявляться как в постепенном снижении рабочих параметров, так и во внезапном отказе. При этом зависимость между наработкой и состоянием оборудования не всегда является прямолинейной. Исключение составляют случаи эрозийного и коррозионного износа, где разрушение деталей напрямую связано со временем службы. Так, например, при перекачке газов, содержащих твёрдые примеси (песок, угольная пыль и др.), рабочие колёса воздуходувок изнашиваются практически пропорционально объёму перекачанной среды.

В условиях массового применения планово-предупредительных ремонтов возникает вероятность выполнения значительного количества операций на агрегатах, техническое состояние которых остаётся удовлетворительным и не требует вмешательства. Несмотря на то, что оборудование исправно, оно всё же подвергается ремонту исключительно для гарантии безотказной работы до следующего межремонтного цикла. Подобный подход снижает экономическую эффективность обслуживания, и именно поэтому система ППР, успешно функционировавшая многие десятилетия, в современных условиях считается устаревшей [4, 5].

Методы исследования

В работе проведен анализ двух основных подходов к обслуживанию насосных агрегатов:

- Планово-предупредительный ремонт (ППР) – периодическая замена и восстановление деталей по заранее установленному графику.

- Обслуживание по фактическому состоянию – использование методов технической диагностики, в частности вибромониторинга, для определения реальной степени износа и прогнозирования момента отказа.

- Исследование базировалось на анализе эксплуатационной документации, данных вибродиагностики и сравнении затрат на различные виды ремонта.

Эксперименты и обсуждение

Анализ показал, что система ППР обеспечивает снижение вероятности внезапных отказов, однако сопровождается:

- необоснованными затратами на запасные части и демонтаж оборудования;

- увеличением износа агрегатов из-за частых разборок;
- отсутствием информации о фактическом состоянии деталей.

Система ППР отличается высокой стоимостью. Каждый ремонт требует снятия насоса с рамы, его транспортировки и повторной установки. Это ведёт к значительным издержкам на запасные части и логистику. Например, два средних ремонта и один капитальный в год обходятся в 284 500 тенге (без учёта стоимости повреждённых деталей и транспортных расходов). При этом из-за несоответствия межремонтных интервалов фактическому износу часто выполняются дополнительные аварийные ремонты, которые обходятся дороже плановых. В итоге суммарные затраты на ремонт одной установки составляют 426 800–570 000 тенге в год, что эквивалентно 40–50 % цены нового агрегата.

Отсутствие информации о реальном техническом состоянии оборудования делает невозможным выделение «проблемных» и «надёжных» насосов. Это не позволяет эффективно планировать обслуживание без остановки производства и значительно снижает вероятность предотвращения внеплановых отказов.

По этой причине многие предприятия постепенно отказываются от ППР и переходят к системе обслуживания по фактическому состоянию. Основным инструментом при этом становится вибродиагностика.

Работа насоса всегда сопровождается вибрациями. По мере износа узлов, просадки фундамента и деформации деталей происходят изменения динамических характеристик машины. Наиболее надёжно такие отклонения фиксируются методами вибрационного анализа.

Источниками вибраций могут быть: дисбаланс ротора, ослабление или нарушение посадки деталей, перекосы и несоосность валов, снижение жёсткости опор, кавитация, а также повреждения подшипников качения и скольжения. Каждому из дефектов соответствуют характерные признаки и спектральные картины.

В основе обслуживания по техническому состоянию лежит система вибромониторинга. В промышленности главным параметром контроля считается общий уровень вибрации: превышение допустимого значения служит сигналом для принятия профилактических или ремонтных мер.

Обслуживание по состоянию позволяет продлить ресурс оборудования и сократить расходы за счет своевременного выявления дефектов (неуравновешенность ротора, кавитация, повреждение подшипников и др.). Однако и этот подход имеет ограничения: общее вибрационное состояние не всегда отражает скрытое развитие отдельных дефектов, что может привести к позднему обнаружению аварийной ситуации.

Таким образом, оптимальным решением является комбинированная система, включающая планово-периодические проверки и расширенные методы вибродиагностики. Использование алгоритмов обработки вибросигналов и прогнозирования накопления повреждений позволит более точно оценивать ресурс и планировать ремонтные работы.

Заключение

Рассмотренные методы обслуживания показывают, что для повышения надежности и эффективности эксплуатации центробежных насосных агрегатов необходимо интегрировать систему ППР и диагностику по фактическому состоянию. Применение комплексного подхода обеспечивает:

- снижение эксплуатационных затрат;
- продление ресурса оборудования;
- сокращение количества аварийных остановок;
- повышение безопасности технологических процессов.

Таким образом, переход к интеллектуальным системам мониторинга и прогнозирования технического состояния является ключевым направлением развития обслуживания насосного оборудования.

Список литературы

1. Махутов, Н.А. Анализ рисков отказов при функционировании потенциально опасных объектов / Н.А. Махутов, М.М. Гаденин, А.О. Чернявский, М.М.Шатов // Проблемы анализа риска. - 2012. - Т.9. - №3. - С.8-21.
2. 2. Морозов, Е.М. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Муйземнек, А.С. Шадский. - М.: ЛЕНАНД, 2008. - 456с.
3. 3. Мустафин Ф.М., Кузнецов Н.В., Васильев Г.Г. и др. Защита от коррозии. Том 1: учебное пособие.- С-Пб: Недра, 2005.-620 с.
5. Закирничная М.М., Сулейманов М.Р. Изучение напряженно- деформированного состояния рабочей части центробежных насосных агрегатов/ Известия высших учебных заведений. Нефть и газ: научно- теоретический журнал-Тюмень ТГНГУ, 2007-№5-С. 84-88.
6. Мустафин Ф.М., Кузнецов Н.В., Васильев Г.Г. и др. Защита от коррозии. Том 1: учебное пособие.- С-Пб: Недра, 2005.-620 с.
7. Терентьев В.Ф., Оксогоев А.А. Циклическая прочность металлических материалов: Учеб. пособие. - Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2001.-61 с.
8. Махутов, Н.А. Ресурс безопасной эксплуатации сосудов и трубопроводов / Н.А. Махутов, В.Н. Пермяков. - Новосибирск: Наука, 2005. - 516 с.

Д.С. Мырзалиев, О.Б. Сейдуллаева*, Д.А. Абзалова, З.А. Ибрагимова, А.К. Көшербай

т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
докторант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к., доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
PhD, доцент, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
магистрант, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: orynkul_s@mail.ru

ОРТАЛЫҚ СОРҒЫЛАРДЫҢ СЕНІМДІ ЖҰМЫСЫ ҮШІН ФУНКЦИЯЛЫҚ ЖҮЙЕНІ ТАЛДАУ

Түйін

Мақалада мұнай өңдеу саласында қолданылатын орталықтан тепкіш сорғы агрегаттарын сенімді пайдалануды қамтамасыз етудің дәстүрлі және заманауи тәсілдері талданады. Жоспарлы-алдын алу жөндеу жүйесіне ерекше назар аударылды: оның күшті жақтары мен кемшіліктері анықталды. Сондай-ақ, діріл диагностикасы негізінде нақты жағдай бойынша техникалық қызмет көрсету принциптері қарастырылады. Сорғы жабдығының тиімділігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін бөлшектер ресурсын болжауды қамтитын кешенді тәсілдің маңыздылығы атап өтіледі.

Мұнай өңдеу кәсіпорындарының сорғы қондырғыларының элементтері мен тораптары күрделі жағдайларда жұмыс істейтінін, бір мезгілде механикалық жүктемелерге, жоғары температураға және коррозиялық процестерге ұшырайтынын ескеру қажет. Бұл материалдардың физика-химиялық сипаттамаларының өзгеруіне, бөлшектердің геометриясы мен өлшемдерінің бұзылуына, конъюгат элементтері арасындағы саңылаулардың ұлғаюына әкеледі. Нәтижесінде сыртқы шу, діріл және мерзімінен бұрын бұзылу пайда болады. Тозу дұрыс пайдалану кезінде табиғи түрде болуы мүмкін немесе апаттық сипатта болуы мүмкін – техникалық пайдалану ережелерін бұзғандықтан кенеттен пайда болады. Сондықтан сауатты техникалық қызмет көрсету және уақтылы жөндеу жұмыстары сорғы жабдықтарының сенімді және қауіпсіз жұмысының, сондай-ақ оның жұмыс қабілеттілігін ұзақ мерзімді сақтаудың негізгі шарттары болып табылады.

Кілттік сөздер: орталықтан тепкіш сорғы, сенімділік, техникалық қызмет көрсету, профилактикалық қызмет көрсету, діріл диагностикасы.

D.S. Myrzaliev, O.B. Seidullaeva*, D.A. Abzalova Z.A., Ibragimova, A.K. Kusherbay

Cand.Tech.Sci., Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

doctoral student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

Cand.Tech.Sci., Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

PhD, Associate Professor, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

master's student, M. Auezov SKU, Shymkent, Kazakhstan

*Corresponding author's email: orynkul_s@mail.ru

ANALYSIS OF A FUNCTIONING SYSTEM FOR RELIABLE OPERATION OF CENTRIFUGAL PUMPS

Abstract

The article analyzes both traditional and modern approaches to ensuring reliable operation of centrifugal pumping units used in the oil refining industry. Special attention is paid to the system of scheduled preventive maintenance: its strengths and disadvantages are revealed. The principles of maintenance based on the actual condition based on vibration diagnostics are also considered. The importance of an integrated approach, including forecasting the life of parts, is emphasized, which makes it possible to increase the efficiency and reliability of pumping equipment operation.

It should be borne in mind that the elements and assemblies of pumping units of oil refineries operate in difficult conditions, being simultaneously subjected to mechanical loads, high temperatures and corrosive processes. This leads to a change in the physico-chemical characteristics of materials, a violation of the geometry and dimensions of parts, and an increase in the gaps between the mating elements. As a result, there are extraneous noises, vibrations and premature breakdowns. Wear can occur naturally during proper operation, or it can be of an emergency nature – it can occur suddenly due to violations of the rules of technical operation. That is why competent maintenance and timely repair work are key conditions for reliable and safe operation of pumping equipment, as well as long-term maintenance of its operability.

Keywords: centrifugal pump, reliability, maintenance, preventive maintenance, vibration diagnostics.