УДК 621.67

Н.А. Алиев, М.В. Пономаренко, А.С. Ворожбицкий, В.Э. Сиденко
Донецкий национальный технический университет, Украина
Тел.: +38 (062) 3051904; E-mail: mvp.84@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МНОГОСЕКЦИОННЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

В статье проанализированы основные причины выхода из строя и рассмотрены способы увеличения долговечности насосов технологическими методами, позволившие поднять ресурс насосов до 20…25 тыс. часов. Впервые предложен метод предсборочной подготовки и детерминированной сборки многосекционных центробежных насосов корпусно-секционного исполнения.
Ключевые слова: *технология, сборка, долговечность, надежность, производство.*

Введение

Обеспечение безопасности условий работы шахт и рудников, в том числе и гидробезопасности, напрямую определяется надежностью горно-шахтного оборудования и является *обобщенным свойством конструктивно-технологического совершенства изделия, его функционального назначения с сохранением работоспособности до наступления предельного состояния, т.е. в течение всего периода эксплуатации при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. При этом безотказность и долговечность горно-шахтного оборудования, определяющие его надежность, в свою очередь зависят от совокупного сочетания многих факторов, в том числе особенностей конструктивной компоновки, технологического совершенства производства деталей и узлов, детерминированной сборки изделия, условий эксплуатации и технического обслуживания [1, 2]*.

Опыт эксплуатации и многолетние исследования многосекционных (корпусно-секционных) центробежных насосов (далее КСЦН) шахт показывают, что перекачиваемая ими среда представляет собой взвесь с включениями твердого. Средняя продолжительность безотказной работы КСЦН колеблется от 850 до 6000 часов при среднем ресурсе до капитального ремонта 7100 часов. У высокоскоростных насосов средняя наработка на отказ составляет от 800 до 1100 часов при среднем ресурсе до капитального ремонта 2400 часов. Причем, как известно ГОСТ 10470 «Многосекционные насосы» регламентирует наработку до капитального ремонта не менее 8000 часов работы.

Основное содержание и результаты работы

Целью данной работы является исследование комплексных способов воздействия на формообразование деталей и сборку шахтных КСЦН при их серийном производстве для обеспечения ресурса работы в 20…25 тыс. часов при перекачке химически агрессивных сред с высоким содержанием механических примесей и частиц минерального происхождения, устойчивой гидроабразивному, кавитационному и коррозионному воздействию проточной частью, при минимизации вибронагруженности агрегата.

Основными факторами, определяющими работоспособность и долговечность шахтных КСЦН являются:

Гидроабразивное изнашивание деталей насосов, происходящее под действием свободного и полузакрепленного абразива [1, 2, 3].

Сопоставление микротвердости компонентов взвесей с твердостью материалов деталей насосов – серые чугуны СЧ 20, СЧ 30 (1940 н/мм^2), сталь 35Л ГОСТ 1050 (2400 н/мм^2), сталь 40Х13 ГОСТ 5632 (5600 н/мм^2), показывает, что применяемые группы материалов в шахтном насосостроении не в состоянии эффективно противостоять гидроабразивному изнашиванию. В совокупности гидроабразивное изнашивание приводит **к росту вибрации вследствие** вымыванию проточной части колес, увеличению зазоров по межступенным уплотнениям, выходу из строя разгрузочных устройств, потерям рабочих характеристик агрегата.

Коррозионное изнашивание обусловлено перекачиванием шахтной воды, скорость которой определяется концентрацией в ней химически активных компонентов. При анализе химического состава шахтных вод установлено, что практически все пробы содержат такие агрессивные вещества как сульфаты и хлориды, сероводород, окислы азота, окислы металлов, углекислоту, хлористый водород, кислоты и щелочи в свободном состоянии [2].

Кавитационное изнашивание характерно для деталей проточной части и уплотнений 1 и 2-й ступеней насосов. Разрушение рабочих поверхностей происходит под действием схлопывающихся газовых каверн в основном по вихревому следу потока.

Поскольку применяемые для деталей шахтных насосов материалы, за исключением сталей коррозионно-стойких мартенситового класса (стали 40Х13, 30Х13, 25Х13Н2, 20Х12ВНМФ ГОСТ 5632) не являются эрозионностойкими, насосы в условиях кавитации подвергаются быстрому разрушению. В отдельных случаях скорость кавитационного изнашивания может достигать 0,05÷0,1мм/ч, что на один, два порядка превышает стационарный, постепенный процесс изнашивания [1, 2].

Контактно-вибрационное изнашивание, в основном для КСЦН с числом ступеней более шести обусловлено нестационарной гидродинамикой, неоднородностью поля неуравновешенных центробежных сил вращающихся деталей проточной части, связано с технологическими и конструктивными несовершенствами.

Механические источники возбуждения вибрации КСЦН можно разделить на две группы: первые связаны с конструктивными особенностями, технологией изготовления и сборки собственно насоса, вторая с элементами его сопряжения с приводом.

Указанные факторы в наибольшей степени влияют на процессы изнашивания и вибронагруженность основных рабочих органов насосов, определяют показатели безотказности и долговечности, являются основными критериями при решении общей задачи увеличения времени работы до отказа или срока службы до капитального ремонта КСЦН.

Рассмотрение и решение проблемы повышения долговечности КСЦН до 20…25 тыс. часов должно вестись комплексно, т.к. оно является многофакторным. Проблема решается исследованием и разработкой комплексного способа воздействия на многофункциональную систему - насосный агрегат, на макро- и микроуровне при создании КСЦН с высокими показателями надежности, долговечности и КПД, при минимизации энергокавитационных потерь и учета условий эксплуатации агрегата в шахте.

В связи с конструкторскими особенностям КСЦН – отсутствием продольного разъема, решение проблемы увеличения долговечности и надежности их возможно при комплексном подходе и решении задач: а) выбор способов воздействия при формообразовании и материалов рабочего колеса для получения аутентичных,

высокоточных, износостойких, кавитационно устойчивых колес; б) детерминированное распределение неуравновешенных масс на роторе при сборке после балансировки и нормирования вибропоказателей; в) выбор средств воздействия на материалы деталей проточной части КСЦН, получение прочных, износостойких, с микроструктурой и твердостью, соответствующей функциональной направленности процессов, возникающих на рабочих поверхностях деталей КСЦН.

С учетом вышесказанного рассмотрим способы воздействия и технологические подходы к производству деталей и узлов КСЦН, обеспечивающие долговечность агрегата в пределах 20…25 тыс. часов.

Рабочие колеса. Многолетней опыт использования литья как способа первичного формообразования рабочих колес показал, что их разброс по основным характеристикам – геометрии, масс-центровочным характеристикам, начальным дисбалансам, вибросмещениям, не соответствует техническим требованиям геометрического прототипа и ГОСТ 22061 «Система классов точности балансировки».

На рис.1 показаны профили лопаток КСЦН, спроектированных для $Q \approx 300$ м^3/час., $H \approx (58…63)$ м., числе оборотов n=1450 м$^{-1}$ при неизменном наружном диаметре $D_н \cong 440..450$ мм в разные годы прошлого века и проработавших на шахтах с 1952 по 1998 г. На данную группу КСЦН наложен профиль лопатки и меридианное сечение насоса А3Е 630 -225,8, при n=3000 м$^{-1}$, рассчитанные по [7] с оптимизацией параметров и энергокавитационных потерь. Как видно из рис.1 группа лопаток образует пучок достаточно близких по кривизне профилей и отличие наблюдается по углу охвата разворота, длине лопатки, углам входа и выхода потока из колеса. Каждый из профилей указанных машин сопоставлен с профилем, очерченным логарифмической спиралью с определением параметра **а** (рис. 1), по которому формируют контур лопаток при соблюдении принципа единства и постоянства технологических баз.

Детали проточной части. Для создания долговечных, высокопрочных деталей проточной части типа втулки, щелевых уплотнений, колец разгрузочного узла, направляющих аппаратов требуется воздействие как на макроуровне, так и на микроуровне – например, варьирование химического состава шихты при выплавке металла, применение специальных методов при плавке, получение требуемой микростуктуры и текстуры металлической основы, учет микронеровностей, порядка и способов воздействия в виде ВТМО или ВТМПО (высокотемпературной термомеханической поверхностной обработки) и т.д.

Для рубашки вала, гайки ротора, упорного кольца, дистанционной втулки, изготавливаемых из сталей или минералокерамики, в некоторых случаях из пластмасс, в каждом конкретном случае определяют комбинацию способов воздействия и их последовательность в зависимости от условий работы и нагружения. Для стальных изделий - это выбор марки и класса стали в зависимости от назначения и степени нагруженности детали, последовательность операций при соблюдении единства баз, ВТМО или ВТМПО, в сочетании с химико-термической обработкой и диффузионным насыщением рабочих поверхностей.

Способы воздействия на резьбовые детали проточной части КСЦН, в том числе гайку ротора, шлицевую гайку, резьбовые элементы вала – выбор материалов для их производства с учетом объемной закалки после предварительного формообразования. Финишные операции при подготовке поверхности под резьбу (шлифовка), нарезка резьбы после объемной закалки минералокерамическими резцами, химико-термические или диффузионные методы упрочнения поверхности изделия.

Корпусные детали шахтных КСЦН. Способы воздействия, методы и подходы к обеспечению долговечности. Крышки нагнетания и всасывания являются базовыми деталями насоса, формирующими в пространстве взаимное расположение опорных узлов – подшипников, узлов гидрозатвора и разгрузки. Крышки шахтных КСЦН изготавливаются либо литыми, либо сварно-литыми. Материал крышек выбирают в зависимости от давления. Для давлений до 10 МПа (100 кгс/см^2) крышки отливаются из серого чугуна марок СЧ 21- 40, СЧ 24 – 44, СЧ 28 – 48 ГОСТ 1412, для более высоких давлений – из углеродистой или малолегированной стали.

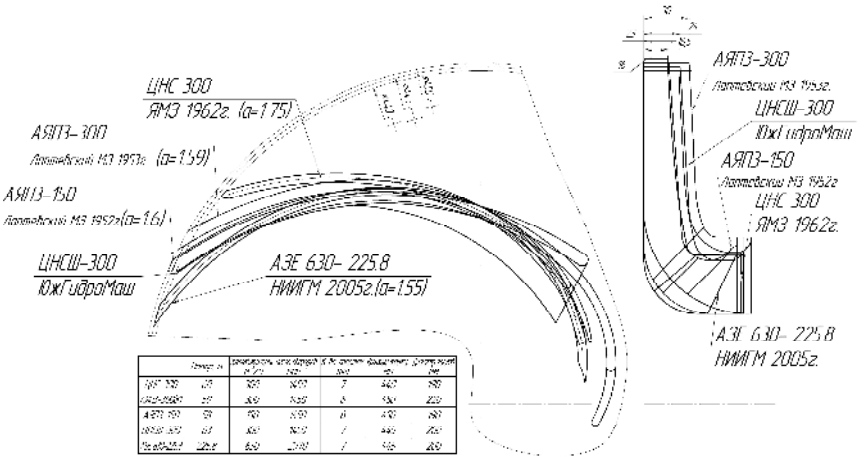


Рис. 1. Профили лопаток рабочих колес центробежных многосекционных насосов, выпускавшихся с 1952г. и разработанных для насосов типа АЗЕ

Для всех типов шахтных насосов крышки всасывания и нагнетания должны обрабатываться после торцевания баз крепления, являющихся также технологическими, установочными и измерительными базами. Вследствие разнесенности опорных баз и секционной гибкости сборочной системы КСЦН допуск на размер от геометрической оси центральных расточек под втулку гидрозатвора в крышке всасывания и втулку разгрузки в крышке нагнетания до опорной плоскости не должен превышать предельных отклонений на данный размер по 12 квалитету для всех типов шахтных КСЦН [5].

Корпуса направляющих аппаратов шахтных КСЦН сформированы в виде цилиндрических стаканов, заглушенных с одной стороны и несущих на внутренней торцевой поверхности стенки лопатки диффузора. Корпуса секций изготавливают литыми или коваными. Материал секций – серый чугуна марок СЧ 21-40, СЧ 24-44, СЧ 28-48 ГОСТ 1412, для более высоких давлений – чугун с шаровидным графитом марок ВЧ ГОСТ 7293 или углеродистая сталь. По технологическим соображениям все корпуса секции выполняют с одинаковой толщиной стенок, несмотря на разницу давлений в секциях. Для облегчения сборки и разборки насоса и снижения опасности повреждения вала на каждой секции рекомендуется выполнять опорные лапы [5].

Кронштейны подшипниковых узлов, передний и задний шахтных КСЦН чаще всего выполняются корытообразного сечения и являются опорными узлами, вынесенными за пределы корпуса, с размещенными в них подшипниками скольжения или качения. Вынос опорных узлов за пределы корпуса весьма эффективная мера для создания улучшенного теплообмена между окружающей средой и опорами, обслуживания, вибромониторинга, контроля и замены подшипников. Однако выносные

опорные узлы, размещенные в цилиндрических консолях кронштейнов и позиционирующие вал при сборке КСЦН в горизонтальной и вертикальной плоскостях, должны обеспечивать строгую соосность осей подшипников, что является сложной технологической задачей. Материалом кронштейнов служит серый чугун марок СЧ 15-32, СЧ 21-40 ГОСТ 1412 для насосов в чугунном исполнении при рабочем давлений ниже 10 МПа и стальное литье марок 20Х13Л ГОСТ 5632 для насосов при рабочем давлении выше 10 МПа, а также перекачивающих горячую воду или работающих в кислотных средах [5].

Способы воздействия при обеспечении долговечности направляющих аппаратов КСЦН. Многолетний опыт эксплуатации КСЦН в шахтных условиях показал, что максимальный КПД насосов с направляющими аппаратами [6] (лопаточными отводами или диффузорами) до 2% выше, чем КПД насосов со спиральными отводами. Материал направляющих аппаратов насосов, применяемых на шахтных водоотливных установках, выбирают из соображений прочности, литейных качеств, коррозионной и эрозийной стойкости.

В высоконапорных шахтных насосах низкой быстроходности потери в отводах достигают 30% общих потерь в ступени. Для их снижения необходимо обеспечить высокую чистоту поверхности (в пределах нормируемого параметра шероховатости Ra25) и точность геометрических размеров диффузорных каналов. В связи с этим предложен способ воздействия на проточную часть направляющих аппаратов в виде гидроабразивной обработки абразивно-жидкостной струей при петлеобразном движении детали по лемнискате Бернулли [4].

Способы воздействия на длинномерные детали КСЦН типа вал с целью увеличения долговечности.

Вал насоса является основной базовой деталью КСЦН, от надежности и долговечности которого во многом зависит ресурс машины. Обеспечение прочности и жесткости его, при которых гарантируется отсутствие недопустимых деформаций, нарушающих устойчивую работу ротора, напрямую связано с величинами крутящего момента, передаваемого поперечным сечением, крутильной жесткостью и критическим числом оборотов, при котором может наступить его разрушение.

Вал насоса изготавливается из сталей конструкционных, легированных типа 40ХН, 40ХС, 40ХФА, 60С2, 15ХНСД, 20ХНСД ГОСТ 4543 или сталей коррозионно-стойких мартенситного класса типа 20ХН3А, 20ХГТ ГОСТ 5950 с естественным старением в течение 40…45 дней и упрочнением поверхности пластическим деформированием цилиндрическими роликами с бомбинированием [5] или шариковыми обкатными устройствами. Оптимальное усилие обкатывания выбирается в зависимости от материала и шероховатости поверхности, диаметра обкатываемого вала в диапазоне 50–100 кН. Повышение усилия обкатывания эффективно лишь до определенной величины. Дальнейшее увеличение пластических деформаций приводит к повышению шероховатости в результате разрушения поверхности и искажения микропрофиля [5]. Для получения заданной шероховатости поверхности требуется обеспечить оптимальное усилие обкатывания.

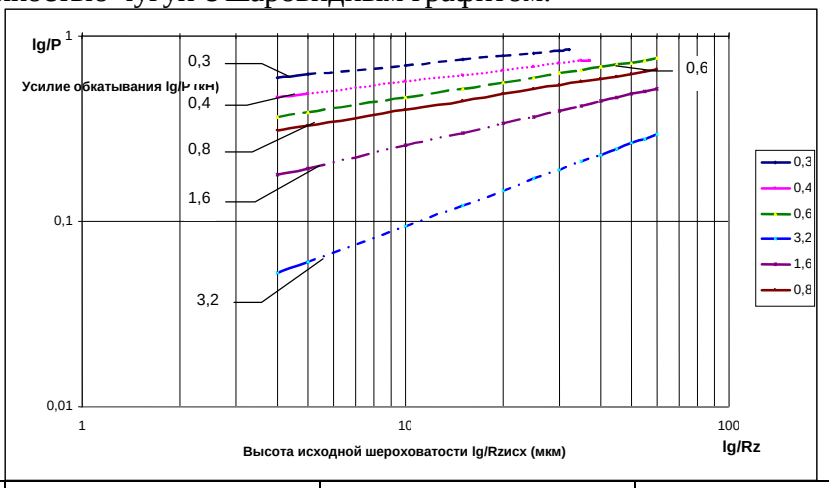
В совокупности приведенные данные исследований применялись ко всем валам, которые были изготовлены для шахтных насосов под руководством д.т.н. Алиева Н.А. на заводах Украины, позволили обеспечить долговечность вала ротора в пределах 20-25 тыс. часов и использовать его в ремонтных агрегатах повторно [5].

Кольцевые и межступенные уплотнения шахтных КСЦН являются одним из важнейших элементов, определяющих долговечность его работы. Рекомендовано для

шахтных КСЦН изготовление щелевых уплотнений из высокопрочных легированных чугунов с глобулированным графитом [5]. Легирование молибденом, хромом, ванадием, никелем и модифицирование таких чугунов производится на уровне брикетов, полученных по безотходной технологии прессованием чугунной и стальной стружки [5].

После разгерметизации муфеля и закалки деталей они подвергаются низкотемпературному отпуску, погружению в ванну с горячим минеральным маслом и выдерживанию их при температуре 80˚…90˚ С в течение 48-60 часов [5].

Описанная последовательность технологического процесса позволяет получить антифрикционный, износостойкий, обладающий одновременно и высокой коррозионной стойкостью чугун с шаровидным графитом.



Параметр шерохо-ватости, R_a, мкм	0,3	0,4	0,6
Радиальное усилие обкатывания	lg(Y)=lg(0.4788)+0.1625lg(X)	lg(Y)=lg(0.351)+0.2074lg(X)	lg(Y)=lg(0.2534)+0.2669lg(X)
Параметр шерохо-ватости, R_a, мкм	0,8	1,6	3,2
Радиальное усилие обкатывания	lg(Y)=lg(0.2114)+0.2777lg(X)	lg(Y)=lg(0.1023)+0.3979lg(X)	lg(Y)=lg(0.0217)+0.6381lg(X)

Yy – усилие обкатывания P; x – высота исходной шероховатости $Rz_{исх}$.

Рис. 2. Сравнение параметров шероховатости при пластическом деформировании поверхности валов КСЦН

Соединительные полумуфты для КСЦН обычно изготавливаются из серого чугуна СЧ 15…32, заготовка – литье, твердость после всех технологических операций не более НВ 230…255. Ненормируемые технологические отклонения базовых поверхностей, погрешность относительной ориентации гнезд и окружного шага отверстий под пальцы на полумуфтах, несоответствие конусов расточек конусам пальцев, изготовление с отклонениями базовых поверхностей полумуфт относительно наружных, неравной жесткостью упругих элементов и их релаксацией в процессе работы агрегата [5] – неполный перечень факторов, являющихся источниками вибрации как на оборотной частоте, так и в области более высоких частот.

Сборка КСЦН выполняется с распределением неуравновешенностей вращающихся деталей ротора по закону цепной линии. Управляющим фактором сборки является балансная мера-произведение массы колеса на величину остаточного вибросмещения, определяемого по результатам балансировки на эксплуатационных

оборотах [8]. В пределах минимального разряда гистограммы распределения балансных мер положительные разности распределяются по закону цепной линии с установкой пары рабочих колес с минимальной разностью в миделевую часть насоса. Шпоночные пазы формируются в противофазе скорректированной массы, что позволяет считать векторы остаточной неуравновешенности пары колес направленными в противоположные стороны. Последующие пары колес устанавливаются на валу слева и справа от директрисы цепной линии распределения в сторону увеличения положительной разности балансных мер к опорам насоса. Причем, при такой организации сборки, названной синфазной, учитываются и величины изгибающих моментов, действующих на участках пары, а также производится селекция зазоров в щелевых уплотнениях.

Последний фактор при синфазной сборке должен соответствовать величинам зазоров $\mathbf{\Delta_з}$ = 0,15…0,2 по всем кольцевым и межступенным уплотнениям [7].

Оценка параметров надежности КСЦН. Для оценки параметров надежности насоса, согласно [7], необходимо выбрать определяющие элементы, лимитирующие вероятность его безотказной работы. Для динамических насосов, к которым относятся КСЦН, такими определяющими элементами являются: узел осевой разгрузки, кольцевые щелевые уплотнения, концевые втулки, рабочие колеса, подшипники, валы, кронштейны опорных узлов. Составляя для каждого из определяющих элементов вариационный ряд, гистограммы и рассчитывая параметры статистического распределения, получаем данные, приведенные в табл. 1.

Функциональная зависимость вероятности безотказной работы для концевых втулок, щелевых уплотнений:

$$P_1(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_0^{\frac{(T1-t)}{T1 \cdot k}} e^{\frac{-t^2}{2}} dt \right] + 0.5; \qquad (1)$$

- подшипников и рабочего колеса (распределение Вейбулла):

$$P_2(t) = \left[\frac{1}{e^{\left(\frac{t}{a_2}\right)^{b2}}} \right], \qquad (2)$$

где:a_2, b_2 – коэффициенты, определенные по таблицам [7]; a_2 = t/k - t –время наработки; k – коэффициент вариации; b_2 = 1,4.

Расчет и построение вариационных рядов произведен по данным, полученным при исследовании 87 насосов типа ЦНСШм, построенных ДНПП «Энергия» (г. Дружковка) под руководством одного из авторов. При расчете параметров распределения учтено, что если отказы носят постепенный характер, возникающий в результате износа, то функция надежности для таких элементов как кольца передних и межступенных щелевых уплотнений, концевых втулок, колец узла разгрузки описывается нормальным законом распределения.

Полученные значения функции надежности от времени, рассчитанные по законам распределения, приведены в табл. 1, а графическая интерпретация функциональных зависимостей вероятности безотказной работы для щелевых уплотнений и рабочего колеса при различных коэффициентах вариации **k** приведены на рис. 3, на рис. 4 – для других элементов, лимитирующих надежность насоса.

Общая для насоса функция надежности определяется как:

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t). \quad (3)$$

Как видно из рис. 3, 4 лимитирующим элементом надежности работы насоса (в данном случае для ЦНСШм 300) является щелевое уплотнение. Аппроксимируя для значений последней строки табл.2 вид аналитической зависимости, получаем для функции надежности насоса полином вида

$$Px(t) = N_1 \cdot 10^{-14} t^3 + N_2 \cdot 10^{-10} t^2 + N_3 \cdot 10^{-5} t + N_4. \quad (4)$$

В таком случае график распределения функции надежности для насоса в целом примет вид (кривая «насос» на рисунке 4).

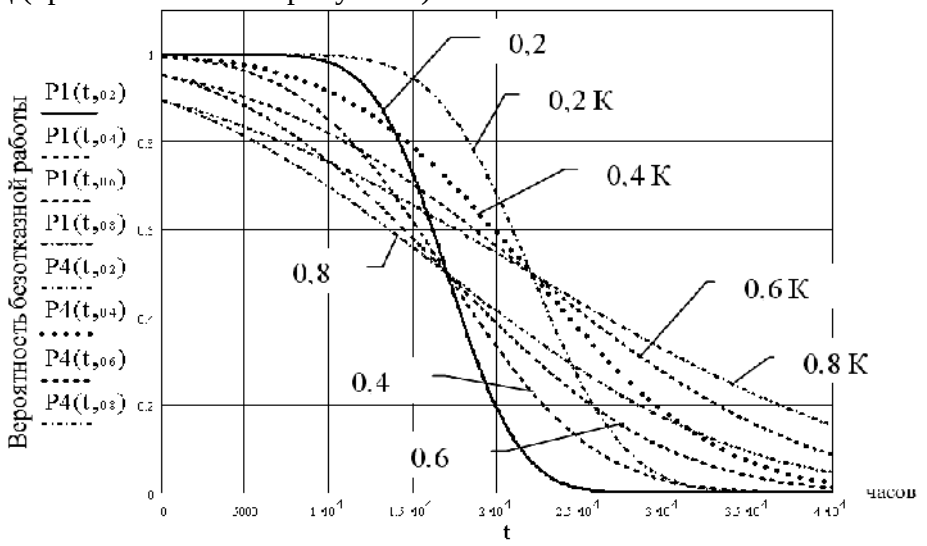


Рис. 3. Функциональные зависимости вероятности безотказной работы для щелевых уплотнений и рабочего колеса при различных коэффициентах вариации

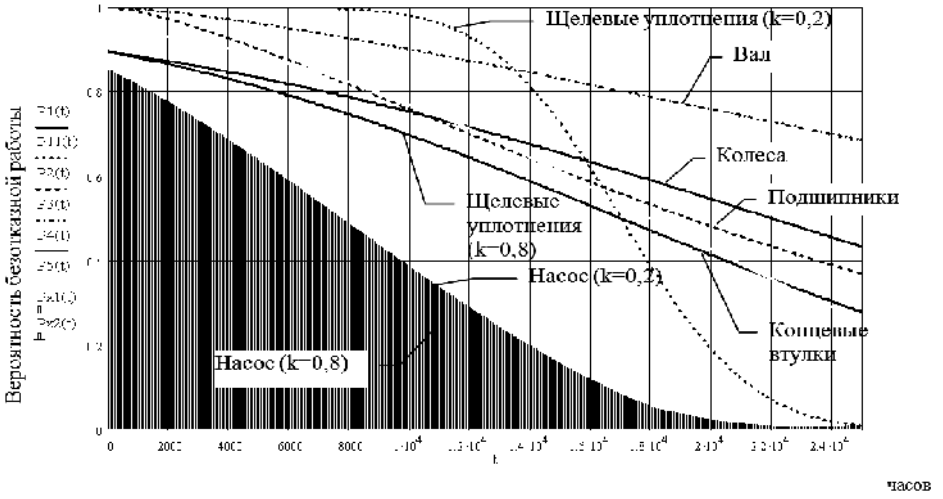


Рис. 4. Функции надежности лимитирующих элементов и насоса в целом для определения наработки на отказ

Согласно [7] рассчитываем площадь под кривой функции надежности для насоса ЦНСШм 300, получаем при различных коэффициентах вариации **k** среднюю наработку на отказ:

Таблица 1. Параметры надежности определяющих элементов и вероятности безотказной работы насосов типа ЦНСШм 300

Лимитирующий элемент	Закон распределения	Средняя наработка до отказа T_1, ч	Коэффициент вариации, k
Концевые втулки	Нормальный	18000	0,6
Кольцо щелевого уплотнения	Нормальный	17000	0,6
Подшипник	Вейбулла	18000	0,72
Вал	Экспоненциальный	40000	0,8
Колесо рабочее	Вейбулла	22000	0,8

Таблица 2. Функция зависимости надежности от времени P (t)

Элемент	Коэффициент вариации	Наработки t, тыс. ч.				
		5	10	15	20	25
Щелевое уплотнение	0,2	0,999	0,980	0,722	0,189	0,0093
	0,6	0,880	0,754	0,578	0,384	0,216
	0,8	0,811	0,697	0,558	0,413	0,270
Подшипник	0,72	0,900	0,758	0,613	0,481	0,368
Вал	0,8	0,961	0,900	0,831	0,758	0,685
Колесо	0,8	0,833	0,752	0,655	0,545	0,432
Концевые втулки	0,6	0,886	0,771	0,609	0,427	0,258
Насос (аккумулирующая зависимость)	0,2	0,638	0,388	0,147	0,016	0,0002
	0,6	0,562	0,298	0,117	0,0326	0,0061
	0,8	0,517	0,275	0,1135	0,0349	0,0078

$$\text{k=0,2} \qquad P1_i = \int_0^{T_1} Px(t)dt = \int_0^{3\cdot10^{-4}} (7.8561\cdot10^{-14}t^3 - 18.987\cdot10^{-10}t^2 - 3.5651\cdot10^{-5}t + 0.852502)dt = 8352 \text{ часов.} \quad (5)$$

$$\text{k=0,6} \qquad P2_i = \int_0^{T_1} Px(t)dt = \int_0^{3\cdot10^{-4}} (2.9879\cdot10^{-14}t^3 + 1.8558\cdot10^{-10}t^2 - 5.5518\cdot10^{-5}t + 0.8159) = 7042 \text{ часов.} \quad (6)$$

$$\text{k=0,8} \qquad P3_i = \int_0^{T_1} Px(t)dt = \int_0^{3\cdot10^{-4}} (1.9129\cdot10^{-14}t^3 + 5.2447\cdot10^{-10}t^2 - 5.5232\cdot10^{-5}t + 0.765745)dt = 6.712\cdot10^3 \text{ часов.} \quad (7)$$

При выборе приведенного цикла способов воздействия на детали проточной части КСЦН средняя наработка на отказ составляет $T_н$=7042 часов при 25 тыс. часов работы насоса до капитального ремонта.

При этом согласно общепринятому положению износ и замена колец разгрузки не классифицируются как отказ.

Заключение

1. Повышение долговечности КСЦН при совместном воздействии абразивного износа, контактно-вибрационного разрушения, коррозионно-кавитационной эрозии на проточную часть решается посредством выбора материала для деталей проточной части насосов с учетом их структурно-чувствительных характеристик, определением

способов воздействия при формообразовании и упрочнении, инструментальной и финишной обработки деталей.

2. Контактно-вибрационое разрушение проточной части КСЦН минимизируется предсборочной подготовкой, поэлементной балансировкой и сборкой на основе управляющего фактора - балансных мер и распределения их по валу на основе закона цепной линии, с установкой ее директрисы в центральной части насоса.

3. Разработка комплексного способа воздействия на многофункциональную систему на макро- и микроуровнях при создании КСЦН с высокими показателями долговечности, минимизации энергокавитационных потерь, детеминированной сборки и учета условий эксплуатации агрегата в шахте позволяют получить агрегаты с ресурсом 20…25 тыс. часов при средней наработке на отказ $T_н$=7042 часов до капитального ремонта.

Список литературы:

1. Малеев В.Б. Развитие научных основ шахтного водоотлива : диссертация на соискание степени доктора технических наук / В.Б. Малеев. – Донецк: Дон. Политехнический институт, 2003. – 317 с.

2. Алиев Н.А. Развитие научных основ создания корпусно-секционных шахтных насосов повышенной долговечности : диссертация доктора технических наук: 05.06.06 / Н.А. Алиев. – Д., 2006 – 375 с.

3. Алиев Н.А. Концептуальные проблемы увеличения долговечности корпусно-секционных шахтных насосов / Н.А. Алиев // Форум Горняков 2007: материалы международной конференции 11-13 октября. – Днепропетровск, 2007. – С. 73-84.

4. Алиев Н.А. Вибромониторинг шахтных насосных агрегатов / Н.А. Алиев // Уголь Украины. – 2005. – №5. – С. 33-36.

5. Алиев Н.А. Технологические основы создания высокоресурсных многосекционных насосов / Н.А. Алиев, Б.А. Грядущий // Уголь Украины. – 2004. – №10. – С. 14-20.

6. Алиев Н.А. Основы построения проточной части корпусно-секционных насосов с варьируемыми рабочими характеристиками / Н.А. Алиев // Форум Гірників: матеріали міжнародної конференції 12-14 жовтня 2005. – Днепропетровск, 2005. – Т. 1. – С. 18-27.

7. Алиев Н.А. Технологическое обоснование методики сборки многосекционных шахтных насосов / Н.А. Алиев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: гірничо-електромеханічна. – 2002.– Вип. 51. – С. 3-9.

Надійшла до редколегії 14.12.2011.

Н.А. Алієв, М.В. Пономаренко, А.С. Ворожбицький, В.Е. Сіденеко

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ БАГАТОСЕКЦІЙНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

У статті проаналізовані основні причини виходу із ладу і розглянуті способи збільшення довговічності насосів технологічними методами, які дозволили підняти ресурс насосів до 20...25 тис. годин. Вперше запропоновано метод передскладальної підготовки і детермінованої збірки багатосекційних відцентрових насосів корпусно-секційного виконання.

Ключеві слова: *технологія, збірка, довговічність, надійність, виробництво.*

N.A. Aliev, M.V. Ponomarenko, A.S. Vorozhbitsky, V.E. Sidenko

TECHNOLOGICAL BASES OF INCREASE IN DURABILITY OF MULTISECTION CENTRIFUGAL PUMPS

In article principal causes of failure are analysed and ways of increase in durability of pumps by the technological methods, allowed to lift a resource of pumps to 20 … 25 thousand hours are considered. For the first time the method of preassembly preparation and the determined assemblage of multisection centrifugal pumps of korpusno-section execution is offered.

Keywords: *technology, assemblage, durability, reliability, manufacture.*