

Анализ причин отказов насосного оборудования по эмпирическим данным

И.Р. Байков
д.т.н., профессор¹

Р.А. Шайбаков
к.т.н., генеральный директор²

М.В. Елисеев
главный инженер проектов³

С.В. Китаев
д.т.н., профессор¹
svkitaev@mail.ru

М.Г. Петров
генеральный директор⁴

Н.Р. Рязанов
начальник отдела⁵

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия

²АО «Салаватский химический завод», Уфа, Россия

³АНО «Центр энергосбережения РБ», Уфа, Россия

⁴Муниципальное унитарное предприятие «Уфимские инженерные сети», Уфа, Россия

⁵«Северо-Уральское управление Ростехнадзора», Ноябрьск, Россия

Насосное оборудование нефтехимических заводов работает в условиях химического воздействия и высоких температур перекачиваемых потоков. При этом актуальной является задача обеспечения надежности циркуляционных насосов. В работе проанализирована статистическая информация по наработке на отказ и видам дефектов, приведших к выходу из строя горячего насоса нефтехимического завода.

Проблема повышения надежности работы оборудования на нефтехимических производствах всегда стояла одной из первых в ряду организации технологического процесса. Главной причиной этому является, безусловно, повышенная опасность предприятий нефтехимической отрасли с учетом масштаба возможного причинения вреда окружающей среде и среде обитания человека. В настоящее время жилая застройка стала приближаться к промышленным зонам из-за наличия развитых инженерных сетей, а также наличия значительных свободных мощностей как тепловой, так и электрической энергии в этих районах. При этом повышение надежности напрямую связано с увеличением эффективности производства, поскольку постоянный спрос на продукцию нефтехимического комплекса не позволяет простаивать оборудованию и останавливать целые технологические цепочки. Вопросы анализа надежности нефтехимического завода рассматривались ранее в работах [1, 2].

Важнейшим элементом технологической схемы любого нефтехимического производства являются циркуляционные насосы, осуществляющие перемещение технологических сред, обеспечивая непрерывность процесса. Особенностью нефтехимических процессов является необходимость поддержания высоких температур сырья и промежуточных продуктов для протекания химических реакций. Поэтому особая роль в безопасности и непрерывности процесса

отводится горячим насосам, перекачивающим высокотемпературные среды.

В качестве примера была проанализирована статистическая информация АО «Салаватский химический завод» за 2006–2016 гг. по наработке на отказ и видам дефектов, приведших к выходу из строя горячего насоса. Были рассмотрены данные по насосам, работающим при температуре перекачиваемых сред свыше 115°C. Изначально было установлено, что рабочий цикл данных насосов не превышает 7640 часов, что является достаточно низким показателем, т.е. ни один из рассматриваемых насосов не проработал более 11 месяцев до отказа.

В таб. 1 приведены характеристики рассмотренных насосов. Всего за отчетный период было зарегистрировано 85 отказов у включенных в список насосов.

Проанализировав типы отказов, было установлено, что наибольшую долю занимает заклинивание ротора насоса (рис. 1), на его долю приходится до 66% всех зафиксированных отказов. Заклинивание ротора происходило вследствие того что рассыпались кольцо, втулка, вкладыш (при различных сочетаниях), либо выходили из строя подшипники.

Для анализа параметров надежности работы насосов по имеющимся данным величины наработки агрегата перед каждым отказом были построены гистограммы функции плотности распределения отказов.

Поскольку наибольшее количество отказов произошло по причине заклинивания



Рис. 1 — Распределение типов отказов горячих насосов

№ п/п	Наименование оборудования	Марка оборудования	Год ввода	Наименование рабочего потока	Подача (Q), м³/ч	Напор (H), м	Температура среды (T _{ср}), °C	Количество
1	Насос герметичный	ЗЦГ-50/50К-15	1994	Сульфат натрия	50	50	117	1
2	Насос центробежный	4НГК 5x1	1965	Сульфат натрия	30	40	117	1
3	Насос герметичный	БЭН-396	2003	Сульфат натрия	50	50	117	1
4	Насос центробежный	ГХО 25/50	2010	Сульфат натрия	25	50	120	1
5	Насос центробежный	18ПРЦ-80-ВН-СД	1965	Сульфат натрия	1800	3,5	130	4
6	Насос герметичный	ГХО 50/50	2006, 2011	Щёлочь	50	50	117	4
7	Насос центробежный	ХЕ 80-50-250	1996	Щёлочь	50	80	117	2
8	Насос центробежный	АХ 50/50	2006	Щёлочь	50	50	117	2

Таб. 1 — Характеристики «горячих» насосов

Для анализа параметров надежности работы насосов по имеющимся данным величины наработки агрегата перед каждым отказом получены гистограммы функции плотности распределения отказов, определены основные направления повышения надежности насосного оборудования.

Материалы и методы

Использованы производственные экспериментальные данные для обработки и подтверждения результатов, математические методы представления иллюстративной информации и обоснования результатов работы.

Ключевые слова

нефтехимический завод, циркуляционный насос, надежность, наработка на отказ, плотность распределения, вероятность безотказной работы

ротора, то были построены два графика: для суммарного количества отказов (рис. 2) и отдельно по типу отказа «заклинивание ротора» (рис. 3). Для этого по формуле Стерджеса (1) для имеющегося массива данных были определены оптимальные временные интервалы распределения отказов:

$$n = 1 + 3,322 \cdot \lg N, \quad (1)$$

где n — оптимальное количество интервалов; N — количество всех отказов данного типа.

Предварительный анализ рис. 2 и 3 не дал однозначного ответа о законе распределения случайной величины, поскольку функция плотности распределения отказов имеет два ярко выраженных максимума.

Оценив величину средней наработки на отказ всех насосов, было установлено, что данное значение для насосов, перекачивающих сульфат натрия, находится в интервале 4200–6300 часов, а для насосов, у которых рабочей средой является щелочь, средняя наработка на отказ составила 2120–2740 часов. Как видно, значения отличаются практически в два раза, что и стало причиной возникновения двух максимумов у функции плотности распределения.

Основываясь на вышеизложенном, были построены гистограммы функции плотности

распределения отказов отдельно для насосов, перекачивающих сульфат натрия и щелочь.

Результаты обработки массива данных предложенным способом представлены на рис. 4–7. Как видно из рисунков, характер распределения отказов для различных насосов имеет схожий вид с характерным максимумом, соответствующим наибольшим значениям наработки на отказ для каждого типа насосов и рассматриваемых типов отказов.

Характер функции плотности распределения отказов позволяет предположить, что функция распределения вероятности отказа подчиняется закону Вейбулла, согласно которому плотность распределения вероятности отказа описывается функцией [3]:

$$f(t) = \lambda_0 \cdot \alpha \cdot t^{\alpha-1} \exp(-\lambda_0 \cdot t^\alpha), \quad (2)$$

при этом вероятность безотказной работы за время t составит:

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 \cdot t^\alpha), \quad (3)$$

где λ_0 и α — параметры распределения.

Параметр распределения λ_0 определяет масштаб, при его изменении кривая распределения сжимается или растягивается. Параметр α может принимать значения $1 \leq \alpha < 1$.

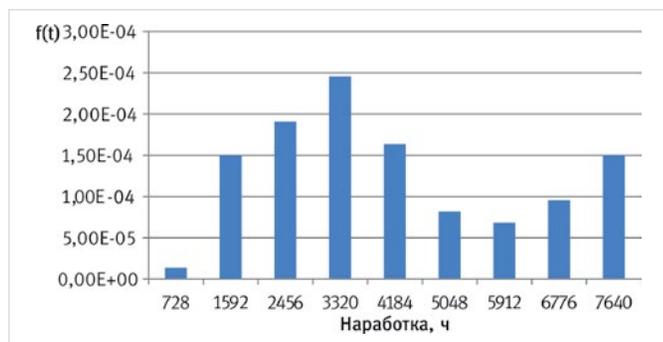


Рис. 2 — Плотность распределения всех отказов горячих насосов (N=85)

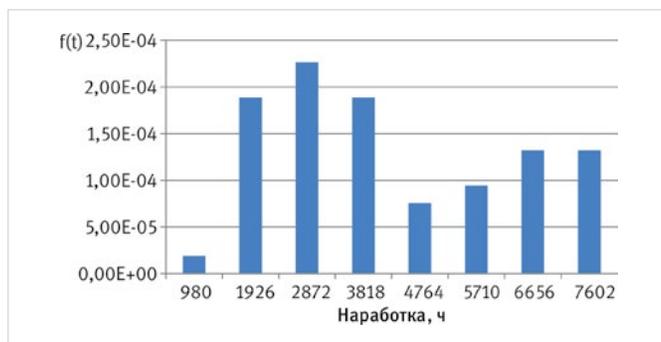


Рис. 3 — Плотность распределения отказов при «заклинивании ротора» горячих насосов (N=56)

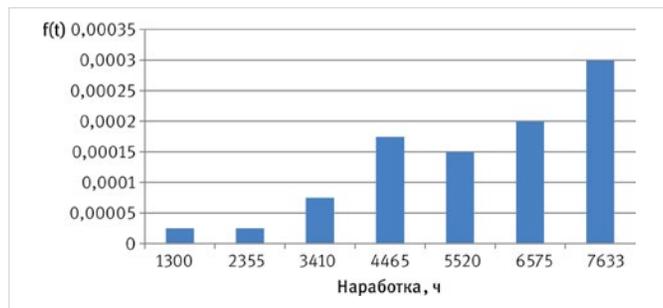


Рис. 4 — Плотность распределения всех отказов горячих насосов, перекачивающих сульфат натрия (N=38)

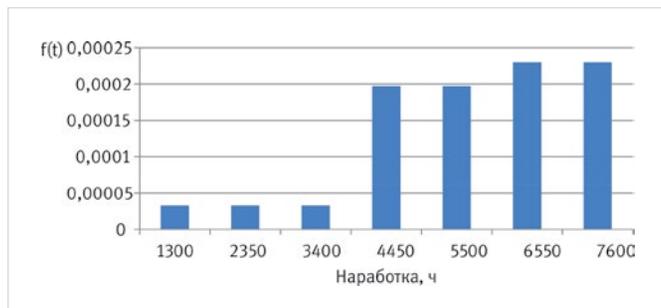


Рис. 5 — Плотность распределения всех отказов при «заклинивании ротора» горячих насосов, перекачивающих сульфат натрия (N=29)

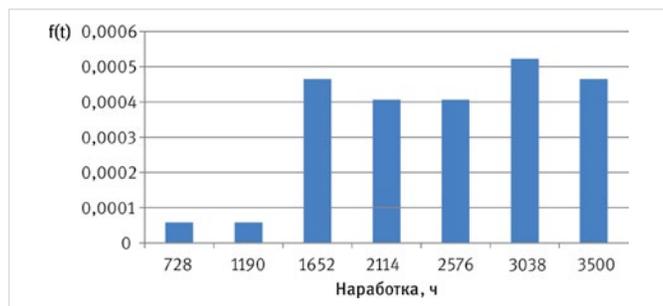


Рис. 6 — Плотность распределения всех отказов горячих насосов, перекачивающих щелочь (N=41)

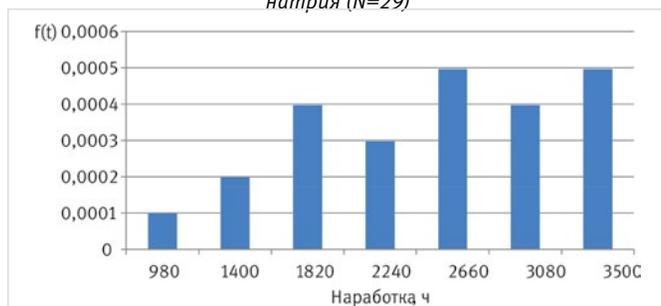


Рис. 7 — Плотность распределения всех отказов при «заклинивании ротора» горячих насосов, перекачивающих щелочь (N=24)

В рассматриваемом случае $\alpha > 1$, поскольку представленная функция $f(t)$ монотонно возрастающая.

Итоги

В работе приводятся результаты анализа статистических данных по отказам циркуляционных насосов, предназначенных для перекачки горячих жидкостей (при температурах свыше 115°C) на примере химического завода. Получено, что основной причиной отказа насосов является «заклинивание ротора», доля которых составляет 66% от общего количества неисправностей. Отказы типа «заклинивание ротора» происходили из-за разрушения элементов насоса — втулок, вкладышей, колец или подшипников.

Средняя наработка на отказ насосов перекачивающих сульфат натрия составила 5498 часов, а для насосов, у которых рабочей средой является щелочь, средняя наработка на отказ значительно ниже и составила 2324 часов.

Выводы

На основе статистического анализа получено, что функция распределения вероятности безотказной работы циркуляционных насосов, подчиняется двухпараметрическому закону Вейбулла.

Циркуляционные насосы эксплуатируются в условиях химического воздействия и высоких температур перекачиваемых потоков, поэтому необходимо вести постоянный контроль вероятности безотказной работы

и принимать меры по предупредительному ремонту либо поддерживать постоянный достаточный объем запасных частей в случае выхода из строя неремонтопригодных элементов оборудования.

Список литературы

1. Байков И.Р., Китаев С.В., Файрушин Ш.З. Оценка показателей надежности насосов типа НК, НКВ и НПС // Надежность. 2016. №4. С. 11–16.
2. Файрушин Ш.З., Байков И.Р., Китаев С.В. Определение показателей надёжности поршневых компрессоров // Нефтегазовое дело. 2016. №14-2. С. 120–124.
3. Вадзинский, Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. СПб.: Наука, 2001. 295 с.

ENGLISH

DIAGNOSTICS

Analysis of the causes of failure of pumping equipment based empirical data

UDC 620.1

Authors:

Igor R. Baikov — Sc.D., professor¹

Rustem A. Shaibakov — Ph.D., general director²

Maxim V. Eliseev — chief project engineer³

Sergey V. Kitaev — Sc.D., professor¹; svkitaev@mail.ru

Maxim G. Petrov — general director⁴

Nail R. Ryazapov — head of the department⁵

¹Ufa State Petroleum Technological University (USPTU), Ufa, Russian Federation

²JSC "Salavat chemical plant", Ufa, Russian Federation

³ANO "Center of energy saving RB", Ufa, Russian Federation

⁴Municipal unitary enterprise "Ufa network engineering", Ufa, Russian Federation

⁵The "North-Ural Department of Rostekhnadzor", Noyabrsk, Russian Federation

Abstract

Pumping equipment of petrochemical factories works in the chemical exposure and high temperatures of the pumped flows. Thus, the actual problem is the reliability of the circulation pumps. This paper analyzes the statistical information on mean time to failure and types of defects that lead to failure of the hot pump petrochemical plant. According to available data of operational period of the unit before each failure were obtained histograms of density function of failure distribution for the analysis the reliability parameters of pumps operation. Also were determined main principals for increasing of reliability of pump equipment.

Materials and methods

In article were used the production experimental data for processing and

confirmation of the results, mathematical methods of representations illustrative information and validation of the results.

Results

The paper presents the results of the analysis of statistical data on failures of circulation pumps designed for pumping hot liquids (with temperatures exceeding 115°C) on the example of the chemical plant. It is obtained that the main cause of pump failure is "stuck rotor", which accounts for 66% of the total number of faults. The "stuck rotor" was due to the destruction of the elements of the pump – bushings, liners, rings or bearings. The average time to failure of the pumps for sodium sulfate environment amounted to 5498 hours, and for pumps where the working environment is alkaline, the average time to failure is much lower and amounted to 2324 hours.

Conclusions

Based on the statistical analysis of density function of failure distribution of pumps was revealed that is obeys to Weibull's two-parameter rule. Circulation pumps are operated under conditions of chemical action and high temperatures of the pumped flow, it is therefore necessary to continuously control the probability of failure-free operation and to take measures for maintenance or to maintain a constant sufficient amount of spare parts in the case of non-repairable components.

Keywords

petrochemical plant, circulating pump, reliability, failure interval, distribution density, the probability of failure

References

1. Baikov I.R., Kitaev S.V., Fayrushin Sh. Z. *Otsenka pokazateley nadezhnosti nasosov tipa NK, NKV i NPS* [Evaluation of dependability indicators of NK, NKV and NPS type pumps]. Dependability, 2016, issue 4, pp. 11–16.
2. Fayrushin Sh.Z., Baikov I.R., Kitaev S.V. *Opreделение pokazateley nadezhnosti porshnevykh kompressorov* [Determining reliability indices of piston compressors]. *Neftegazovoe delo*, 2016, issue 14-2 pp. 120–124.
3. Vadzinskiy, R.N. *Spravochnik po veroyatnostnym raspredeleniyam* [The reference probability distributions]. St. Petersburg: *Nauka*, 2001, 295 p.