

Оценка показателей надёжности насосов типа НК, НКВ и НПС

Игорь Р. Байков, кафедра «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия, e-mail: hydrolyalya@mail.ru

Сергей В. Китаев, кафедра «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия, e-mail: svkitaev@mail.ru

Шамиль З. Файрушин, аспирант ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Республика Башкортостан, Уфа, Россия, e-mail: fayrushins@gmail.com



Игорь Р. Байков



Сергей В. Китаев



Шамиль З. Файрушин

Резюме. Цель. Одним из стратегических направлений развития всех нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) Российской Федерации является повышение надёжности и безопасности оборудования. Создаваемая нормативная база зачастую не учитывает конструктивные особенности агрегатов, что с одной стороны унифицирует режимы обслуживания агрегатов, но с другой может привести к неэффективным режимам обслуживания отдельных типов оборудования. В связи с неподготовленностью нефтеперерабатывающего комплекса России к переходу с системы планово-предупредительных ремонтов на систему ремонтов по фактическому состоянию, большим количеством морально устаревшего оборудования и непрекращающимся процессом увеличения сложности технических средств, применяемых на современных НПЗ, необходимо совершенствовать и дополнять статистическую и аналитическую базу показателей надёжности используемого оборудования. Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации НПЗ показывает, что повреждение насосного оборудования НПЗ может повлечь за собой значительный материальный ущерб и гибель работников. Значительная доля неполадок и отказов, способных повлечь аварийные ситуации на НПЗ, приходится на долю насосно-компрессорного оборудования. Для обеспечения безопасной работы оборудования и НПЗ в целом необходимо обеспечить снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций. Для этого внедряются средства мониторинга технического состояния, проводится диагностика оборудования, также возможен анализ априорной информации. **Результаты.** В работе представлены результаты документального обследования проведённых ремонтов насосов типа НК, НКВ и НПС одного из НПЗ Российской Федерации, проведённые с целью повышения надёжности и обеспечения безопасной работы насосов. Для этого использовались вероятностно-статистические методы. В работе предложен анализ показателей надёжности на основании параметрического распределения Гомперца-Мейкема. Данное распределение широко используется в теории выживания и характеризует как износ системы, так влияние факторов, не зависящих от наработки. В работе проведён анализ ремонтов и ремонтных циклов, определены наименее надёжные элементы насосов и наиболее часто проводимые при ремонтных работах операции, показано влияние общей наработки на показатели надёжности насосов. Для обследованных насосов определены коэффициенты готовности, коэффициенты использования и средняя наработка в межремонтный период. В ходе анализа было установлено, что коэффициент готовности насосов зависит не только от среднего межремонтного периода (зависящего от частоты необходимости проведения ремонтных работ), но и коэффициента использования насосов. Помимо традиционных показателей надёжности: вероятности безотказной работы и интенсивности отказов, на основании анализа интенсивности отказов насосов определены предельные наработки на отказ обследованных насосов. Предельная наработка на отказ – это наработка, при превышении которой постепенный процесс износа значительно ускоряется и приводит к росту количества и (или) качества частичных отказов. Значительное накопление частичных отказов ведёт к потере работоспособности или разрушению оборудования. Данный показатель надёжности является наиболее важным для обеспечения работоспособности насосов с точки зрения эксплуатирующих служб. **Выводы.** В работе показано, что при определении предельной наработки на отказ для повышения надёжности и безопасности эксплуатации оборудования необходимо постоянной уточнение исходных данных с целью выявления начала процесса «старения» оборудования для предотвращения аварийных ситуаций, обусловленных ненормативным износом оборудования.

Ключевые слова: нефтяные насосы, надёжность, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, коэффициент готовности, коэффициент использования, ожидаемая наработка на отказ, средний межремонтный период.

Формат цитирования: Байков И.Р., Китаев С.В., Файрушин Ш.З. Оценка показателей надёжности насосов типа НК, НКВ и НПС // Надежность. 2016. № 4. С. 11-16. DOI: 10.21683/1729-2646-2016-16-4-11-16

Введение

В Российской Федерации эксплуатируется большое количество НПЗ разного назначения и глубины переработки нефти. Увеличение спроса на продукты нефтепереработки стимулирует увеличение мощностей существующих НПЗ и строительство новых.

Современное состояние дел в области эксплуатации насосного оборудования характеризуется следующими тенденциями:

- большинство отказов оборудования происходит по причине его неудовлетворительного состояния;
- несовершенство механизмов модернизации и реконструкции устаревшего оборудования определяет существенное отставание его уровня от зарубежного;
- ненадежная работа насосного оборудования обусловлена также неоптимальными режимами его работы: большинство насосов годами работают на подачах, равных 50 – 60 % номинальных с завышенными напорами.

В связи с этим с каждым годом растёт необходимость аккумулирования и анализа данных о статистике отказов насосов.

Анализ объёма проводимых ремонтных работ

Всего проведено обследование 37 насосов типа НК, 25 насосов типа НКВ и 24 насосов типа НПС. На рисунке 1 показаны доли общего числа рассмотренных ремонтов насосов типа НК, НКВ, НПС по типам ремонтных операций. В таблице 1 представлен объём проанализированных ремонтов насосов разного типа.

Насосы НК, НКВ – центробежные, горизонтальные, консольные насосы, предназначенные для перекачивания нефти и нефтепродуктов с горизонтальным или вертикальным исполнением входного патрубка соответственно. НПС – центробежные, горизонтальные, секционные с плоским разъемом корпуса для перекачивания нефти и нефтепродуктов.

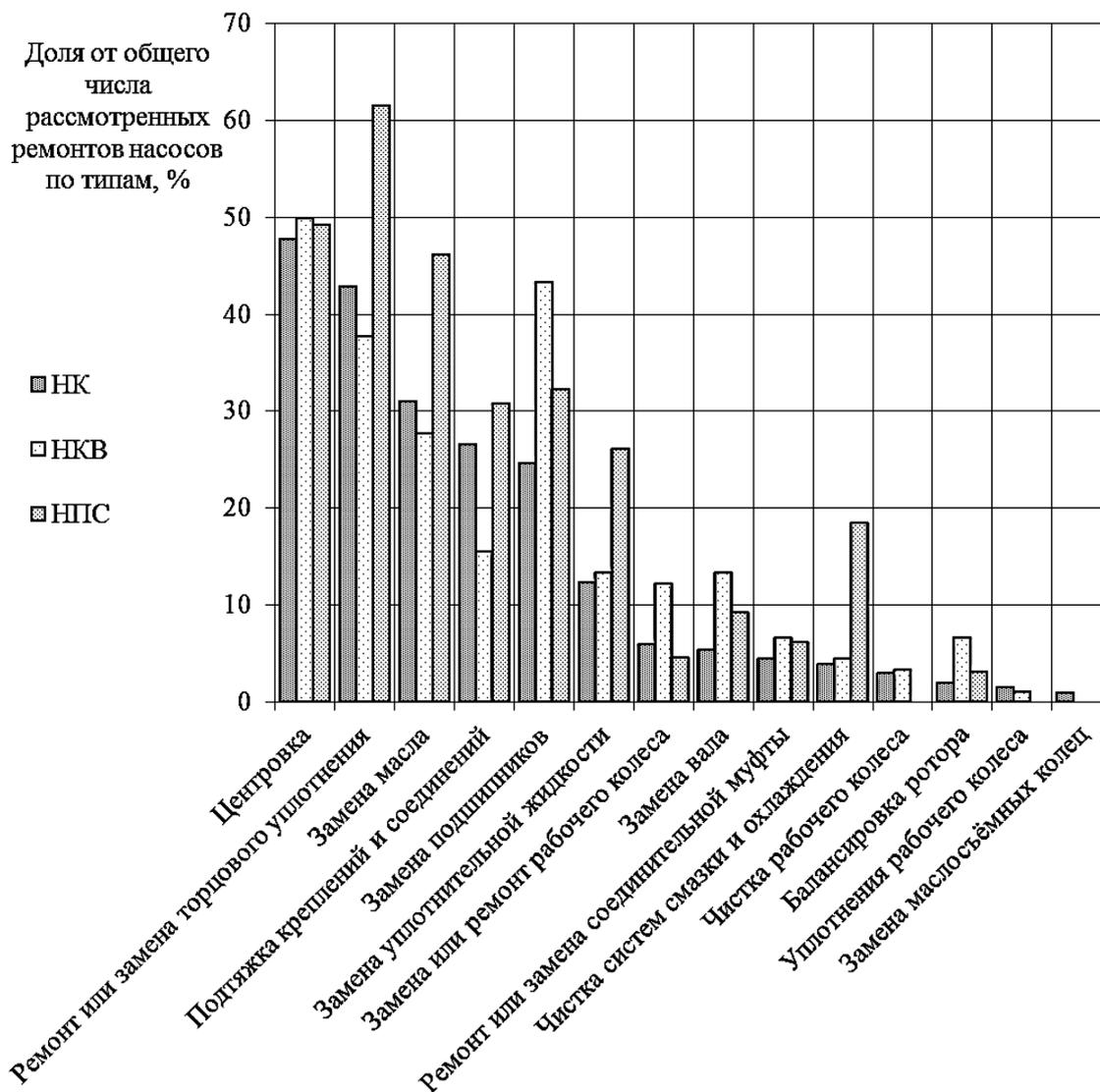


Рисунок 1 – Доля ремонтов насосов по типам ремонтных операций

Таблица 1 – Объем проанализированных ремонтов насосов разных типов

Вид ремонта	Ремонты насосов типа НК		Ремонты насосов типа НКВ		Ремонты насосов типа НПС	
	Кол-во, ед.	Доля, %	Кол-во, ед.	Доля, %	Кол-во, ед.	Доля, %
Общее количество рассмотренных ремонтов, в т.ч.:	203	100,0	90	100,0	65	100,0
- текущих	110	54,2	44	48,9	42	64,6
- средних	77	37,9	39	43,3	17	26,2
- капитальных	16	7,9	7	7,8	6	9,2

Оценка коэффициентов готовности насосов

Для предварительной оценки качества обслуживания и надёжности насосов рассчитан коэффициент готовности – комплексный показатель, характеризующий готовность элемента к применению по назначению в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов обслуживания, когда применения элемента по назначению исключено [1]:

$$K_g = \frac{T}{T + T_B},$$

где T – средняя наработка на отказ, ч;

T_B – среднее время восстановления отказа, ч.

В связи с отсутствием фиксации времени восстановления насосов на обследованном заводе, оно оценено по нормативным величинам [2-4].

Вопросы ремонта центробежных насосов нефтеперерабатывающих заводов представлены в [5-7]. Анализ проведённых ремонтов и оценка коэффициентов готовности некоторых насосов типа НК, НКВ, НПС представлены на рисунке 2. Насосы 1-33 – типа НК, 34-46 – типа НКВ, 47-60 – типа НПС.

Минимальные значения средней наработки между отказами для насосов типа НК и соответственно низкими значениями коэффициента готовности характеризуются насосы:

- № 2 по списку – Н-11а установки ТК-1 (средняя наработка между ремонтами 1 003 ч, коэффициент готовности 0,964);

- № 3 по списку – Н-11б установки ТК-1 (1 117 ч и 0,968);

- №19 по списку – Н-39 установки АВТ-3 (504 ч и 0,947);

- № 30 по списку – Н-2 установки АТ-6 (797 ч и 0,968).

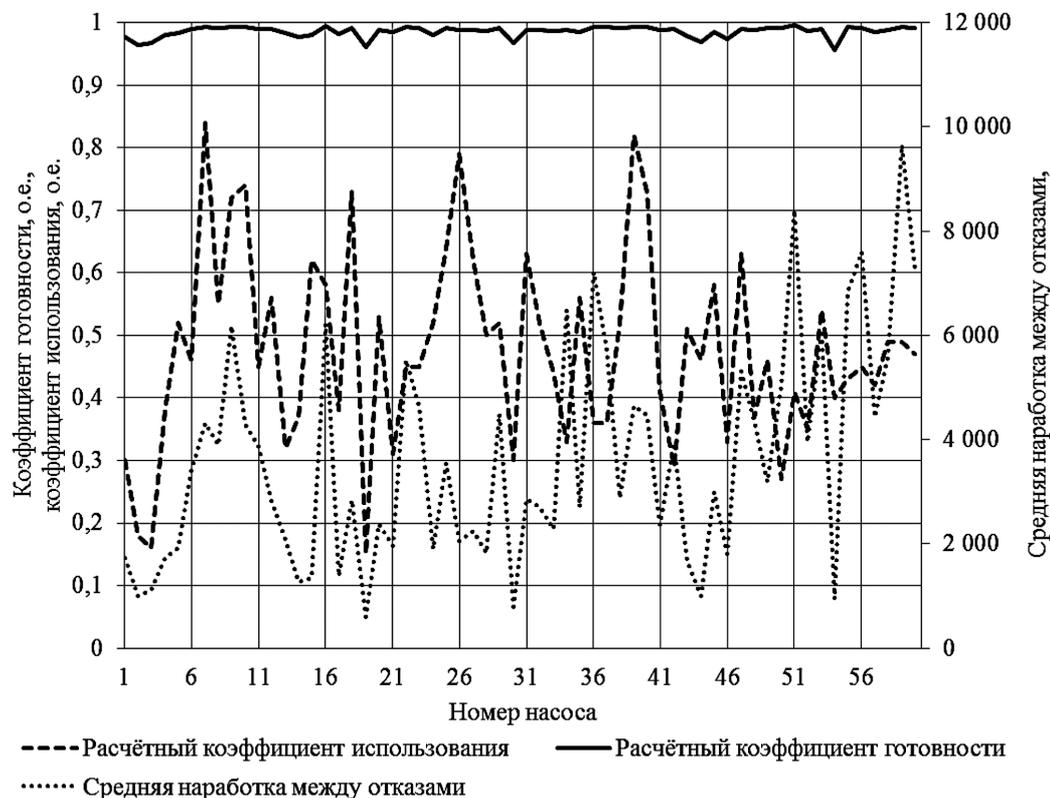


Рисунок 2 – Оценка коэффициента готовности, коэффициента использования и средней наработки между отказами насосов

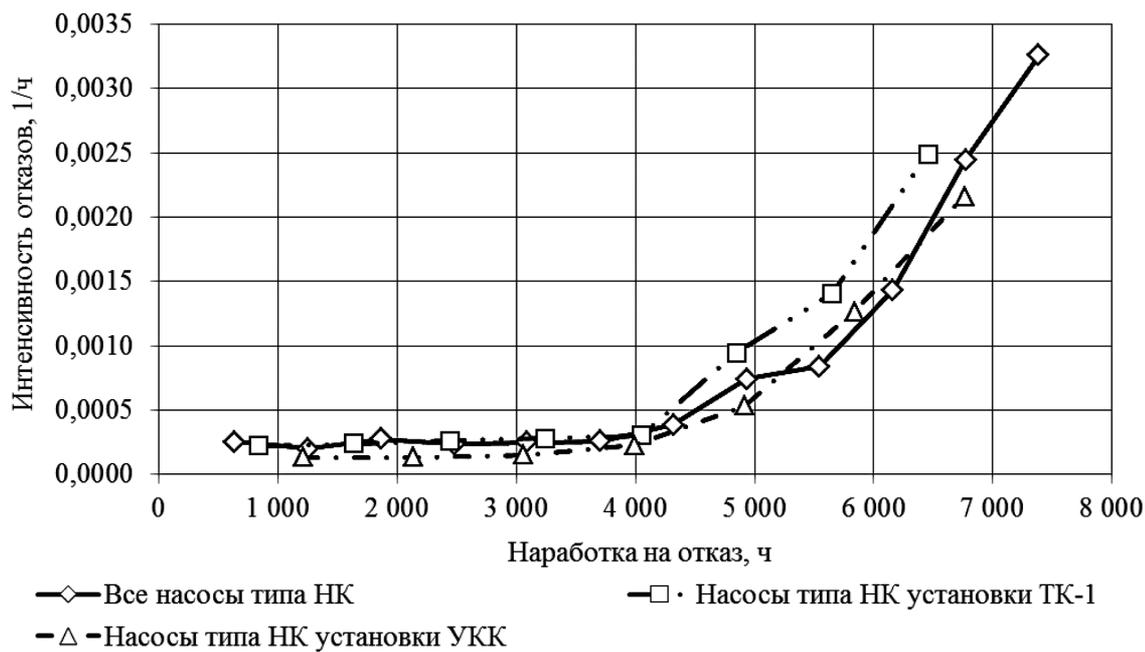


Рисунок 3 – Интенсивность отказов насосов

Насос Н-39 установки АВТ-3 работает в паре с насосом Н-20 АВТ-3 и обеспечивает перекачку обессоленной нефти в колонну К-1 тремя потоками. Согласно предоставленным данным за 2013 г. насос работает без резких перепадов технологических параметров: температура нефти 94,7 °С – 115,0 °С (средняя 104,9 °С), расход среды 420,0– 489,4 м³/ч (средний 464,6 м³/ч), давление до насоса 4,3 – 6,0 кг/см² (среднее 5,3 кг/см²). Общая наработка на конец периода анализа 51 260 ч. Насос имеет следующую структуру работы в обследуемом диапазоне (в скобках указана наработка до отказа с последующим ремонтом): Т – С (344) – Т (548) – Т (509) – Т (1 493) – С (75). По план-графику работы и ремонтов текущий ремонт проводится через 4 680 ч, средний через 14 040 ч (после последнего среднего). Несоблюдение план-графики и частый вывод в ремонт может объясняться некачественным обслуживанием или отсутствием контроля качества заменяемых деталей.

Подобный же анализ можно представить для насоса Н-2 установки АТ-6 и насосов Н-11а и Н-11б установки ТК-1. Во всех случаях объективные причины малой наработки на отказ отсутствуют.

Анализ рисунка 2 позволил определить связь коэффициента использования и коэффициента готовности. Коэффициент корреляции для коэффициента использования и коэффициента готовности насосов типа НК составляет 0,753 (для всех рассмотренных насосов 0,536), Коэффициент корреляции для коэффициента готовности и средней наработки на отказ насосов типа НК – 0,737 (для всех рассмотренных насосов 0,623).

Высокое значение коэффициента корреляции для коэффициента использования и коэффициента готовности позволяют прогнозировать увеличение коэффициента готовности при увеличении коэффициента использования.

Определение вероятности безотказной работы насосов и предельной наработки на отказ

На рисунке 3 представлена интенсивность отказов анализируемых насосов.

Из рисунка 3 видно, что интенсивность отказов насосов, установленных на различных установках, соответствует интенсивности отказов всех насосов данного типа. Также можно определить наработку, характеризующуюся началом зоны скачкообразного увеличения интенсивности отказов: для насосов типа НК – 4 100 ч, НКВ – 4 400 ч, НПС – 5 400 ч. Указанное скачкообразное увеличение характеризует предельное время наработки на отказ.

Вероятности безотказной работы насосов представлены на рисунке 4. Насосы типа НПС отличается более высокими показателями вероятности безотказной работы.

Теоретическое распределение времени до отказа может быть описано интегральной функцией распределения Гомперца-Мейкема. В этом случае время безотказной работы описывается следующим уравнением [8, 9]:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t) dt\right),$$

Где

$$\int_0^t \lambda(t) dt = K_1 t + K_2 (\exp(K_3 t) - 1),$$

$$\lambda(t) = K_1 + K_2 K_3 \exp(K_3 t),$$

Таблица 2 – Полученные коэффициенты K_1 , K_2 , K_3

Показатель	Насосы типа НК	Насосы типа НКВ	Насосы типа НПС
$K_1, \text{ч}^{-1}$	0,00017	0,00017	0,00005
$K_2, \text{ч}^{-1}$	0,024	0,100	0,015
$K_3, \text{ч}^{-1}$	0,00070	0,00040	0,00065

где K_1 , K_2 и K_3 – положительные константы, определяющие влияние внешних воздействий и износа системы, ч^{-1} ;

λ – интенсивность отказов, ч^{-1} ;

t – наработка до отказа, ч.

Полученные коэффициенты распределения представлены в таблице 2.

Использование распределения Гомперца-Мейкема, при достаточном объёме анализируемых данных, позволяет анализировать влияние наработки на вероятность безотказной работы (рисунок 5). Для проведения анализа выборка разделена на 4 диапазона.

Вероятность безотказной работы и интенсивность отказов насосов типа НК при экспоненциальном распределении K_2 и линейном распределении K_3 можно определить по формулам, о.е.:

$$P(t) = \exp[-(0,00017 \cdot t + 0,066 \cdot \exp(-2,733 \cdot 10^{-5} \cdot T) \cdot \exp((1,9 \cdot 10^{-5} \cdot T + 6,7 \cdot 10^{-4}) \cdot t - 1))],$$

$$\lambda(t) = 0,00017 + (0,125 \cdot 10^{-5} \cdot T + 0,440 \cdot 10^{-4}) \cdot \exp(-2,733 \cdot 10^{-5} \cdot T + (1,9 \cdot 10^{-5} \cdot T + 6,7 \cdot 10^{-4}) \cdot t),$$

где T – общая наработка поршневого компрессора, ч;
 t – наработка на отказ, ч.

На рисунке 5 отчётливо прослеживается «приработка» оборудования. Для достоверного прогнозирования предельной наработки на отказ необходимо систематическое дополнение статистической базы.

Заключение

Проведённый анализ показал, что коэффициент готовности насосов зависит не только от среднего межремонтного периода (зависящего от частоты необходимости проведения ремонтных работ), но и от коэффициента использования насосов. Увеличение среднего межремонтного периода можно достичь за счёт повышения качества ремонтных работ и ведения контроля качества заменяемых деталей. Оптимального значения коэффициента использования можно добиться выводом на консервацию избыточных резервирующих насосов либо равномерной загрузкой насосов, работающих с одинаковым технологическим расположением на рабочей схеме (работающие в паре, работающие с резервом и т.д.).

В статье получены зависимости интенсивности отказов и вероятности безотказной работы насосов типа НК, НКВ и НПС. Данные характеристики не зависели от установки, на которой они были размещены, что говорит о схожих условиях работы рассмотренных насосов каждого типа.

Предельные наработки на отказ без учёта влияния общей наработки составляют: для насосов типа НК – 4 100 ч, НКВ – 4 400 ч, НПС – 5 400 ч. По достижению данной наработки возникает вероятность внезапных отказов, проявляется влияние износа деталей.

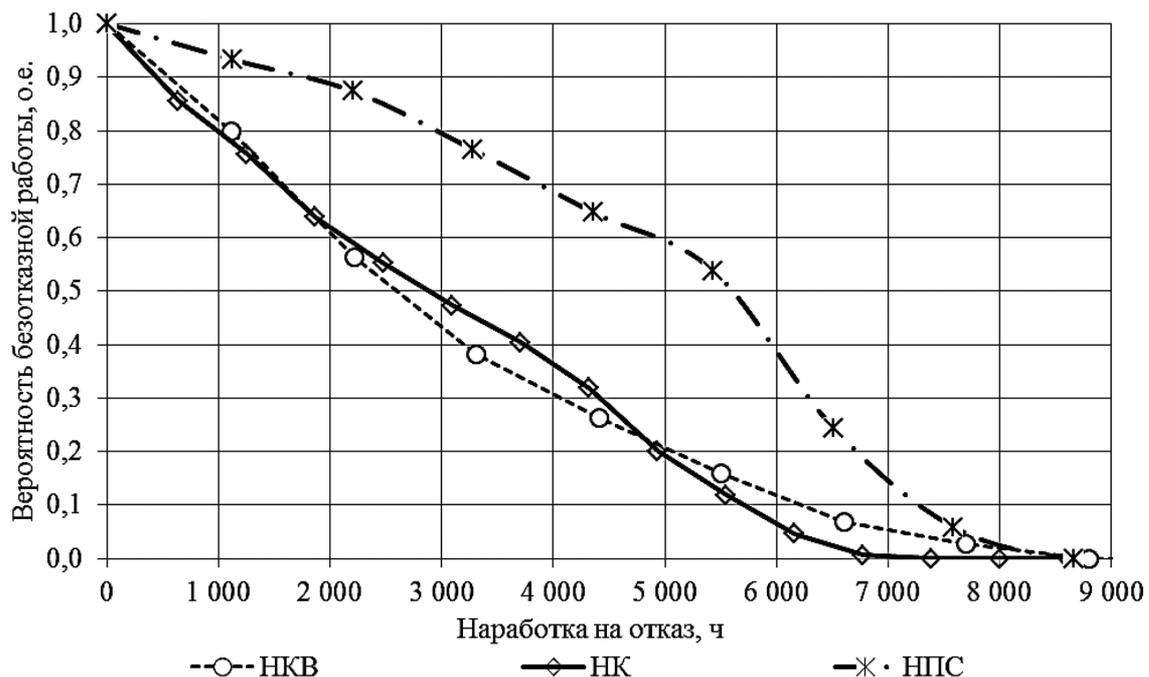


Рисунок 4 – Вероятность безотказной работы насосов

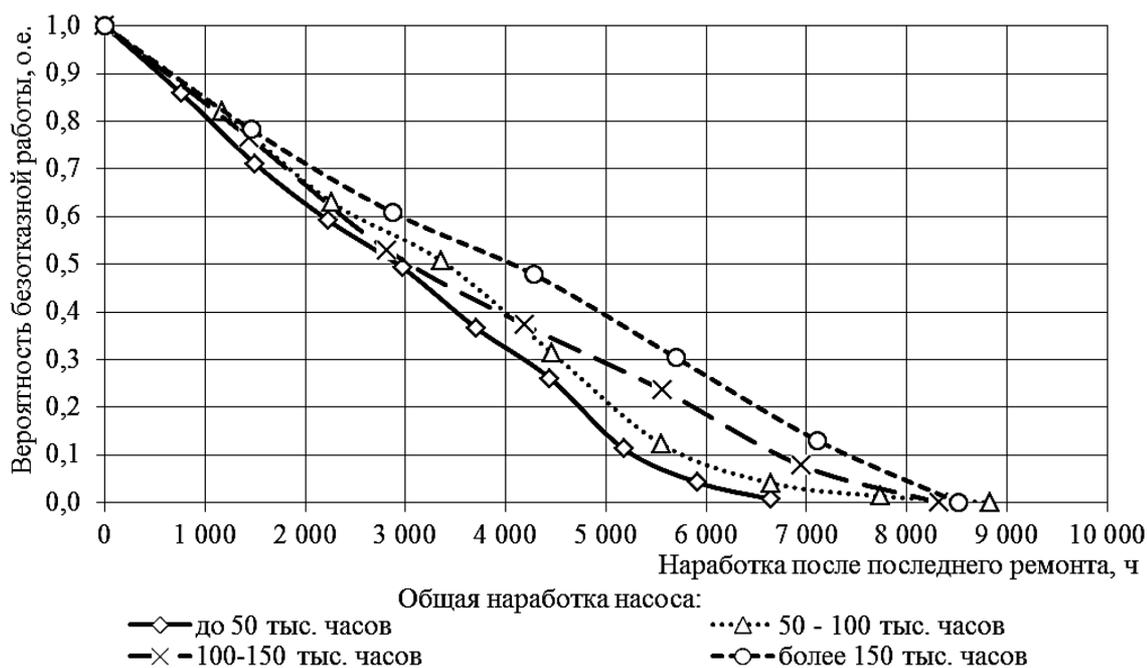


Рисунок 5 – Вероятность безотказной работы насосов типа НК

При определении предельной наработки на отказ для повышения надёжности и безопасности эксплуатации оборудования необходимо постоянное уточнение исходных данных с целью выявления начала процесса «старения» оборудования для предотвращения аварийных ситуаций, обусловленных ненормативным износом оборудования.

Библиографический список

1. Клюев В.В. Машиностроение Энциклопедия в со- рока томах, Т IV-3. М.: Машиностроение. 1998. 592 с.
2. 6101. 00.001 П Положение о системе технического обслуживания и ремонта технологического оборудова- ния, ОАО СПКТБ «Нефтегазмаш». 2004 г.
3. Сборник норм трудоёмкости технического об- служивания и ремонтов насосов и станков-качалок, ООО «СПКТБ Нефтегазмаш». 2014 г.
4. Единые нормы времени на ремонт лопастных и ро- торных насосов в нефтяной промышленности., 1984 г.
5. Берлин М.А. Ремонт и эксплуатация насосов нефте- перерабатывающих заводов. Москва: Химия. 1970 г. 280 с.
6. Рахмилевич З.З. Насосы в химической промышлен- ности. Справочное издание. М.: Химия. 1990. 240 с.
7. Краснов В.И., Жильцов А.М., Набержнев В.В. Ремонт центробежных и поршневых насосов нефте- перерабатывающих и нефтехимических предприятий. Справочник. М: Химия. 1996. 320 с.

8. Байков И. Р., Смородов Е. А., Ахмадуллин К. Р. Методы анализа надежности и эффективности систем добычи и транспорта углеводородного сырья. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр. 2003. 275 с.

9. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Ма- тематические методы в теории надежности. М: Наука. 1965. 524 с.

Сведения об авторах

Игорь Р. Байков, доктор технических наук, заве- дующий кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», профессор, генеральный директор АНО «ЦЭ РБ», Уфа, Россия.

e-mail: hydrolyalya@mail.ru

Сергей В. Китаев, доктор технических наук, про- фессор кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия.

e-mail: svkitaev@mail.ru

Шамиль З. Файрушин, аспирант, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа, Россия.

e-mail: fayrushins@gmail.com

Поступила: 03.06.2016