МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВНИИСПТнефть

МЕТОДИКА
РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ
РД 39 - 30 - 995 - 84

1984

gost.e-ecolog.ru

Министерство нефтяной промышленности

Всесоюзный научно-исследовательский институт по сбору,
подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов
(ВНИИСПТнефть)

УТВЕРЖДЕНА
первым заместителем министра
нефтяной промышленности
В.И.Кремневым
29 декабря 1984 г.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

М Е Т О Д И К А

РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

РД 39-30-995-84

Уфа - 1984

Методика предназначена для работников трубопроводного транспорта, занимающихся вопросами оценки, контроля и поддержания необходимого уровня надежности нефтеперекачивающих станций на стадиях проектирования и эксплуатации.

Методика разработана в отделе надежности магистральных нефтепроводов ВНИИСПТнефть авторским коллективом в составе: к.т.н., с.н.с. Гумерова А.Г., к.т.н. Ирмякова Р.З., рук.темы, с.н.с. Гараевой В.А., м.н.с. Кудашевой А.А.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

Приказом Министерства нефтяной промышленности от 12.01.84№ 39
срок введения с 01.03.84г.
Срок действия до 28.02.89г.
Вводится впервые

Настоящая методика предназначена для определения показателей надежности нефтеперекачивающих станций на стадиях проектирования и эксплуатации.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Методика устанавливает единый подход к определению видов и значений показателей надежности нефтеперекачивающей станции (НПС) и ее основных подсистем.

I.2. Методика разработана в развитие РД 39-I-62-78 "Методика определения показателей надежности магистрального нефтепровода" применительно к специфике функционирования НПС /I/.

I.3. Расчетная схема методики учитывает иерархическую структуру НПС.

I.3.I. Нефтеперекачивающая станция расчленяется на отдельные подсистемы, определяющие структурную надежность системы (группа основных насосных агрегатов, подсистема электроснабжения, общестанционные вспомогательные устройства, а также подсистемы подпорных насосных агрегатов и резервуаров - в случае рассмотрения головной НПС).

I.3.2. Подсистемы, в зависимости от степени подробности рас-

смотрения НПС, расчленяются на блоки, устройства и отдельные элементы (узлы, детали).

I.4. Каждая подсистема рассматривается отдельно. Группы основных и подпорных насосных агрегатов, характеризуются различными состояниями и соответствующими им значениями показателей качества функционирования (производительности НПС), а потому рассматриваются как сложные технические системы.

I.5. В основу определения надежности подсистем основных и подпорных насосных агрегатов в соответствии с межотраслевой методикой /2/ положен метод, позволяющий оценить надежность с точки зрения выполнения основной задачи - перекачки нефти с заданной производительностью. Количественные значения показателей надежности подсистемы насосных агрегатов определяются с помощью функционалов, оценивающих степень снижения производительности НПС из-за ненадежности оборудования.

I.6. Показатель надежности нефтеперекачивающих станций определяется по формуле

$$R_{нпс}\ (t) = \prod_i R_i\ (t),$$

где R_i - показатель надежности i-ой подсистемы НПС, определяемый в методике в предположении равнонадежности основного и резервного оборудования.

I.7. Для расчета показателей надежности НПС и ее подсистем разработана программа расчета на ЭВМ ЕС-I020. Программа находится в НЦ ВНИИСПТнефть.

I.8. Пояснения к терминам и определениям, употребляемым в Методике, приведены в приложении I.

I.9. В приложении 2 даются примеры расчета показателей надежности НПС и ее подсистем, а в приложении 3 - результаты расчетов на ЭВМ-I020, представленные в виде графиков и табличных значений.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ

2.I. Определению показателей надежности НПС предшествует четкая классификация оборудования по функциональному признаку и выявление независимых подсистем.

2.2. Пример возможного расчленения НПС на подсистемы, объединяющие оборудование по функциональному признаку, приведены в таблице.

Таблица

Пример возможного расчленения нефтеперекачивающей станции на подсистемы по функциональному признаку

Наименование подсистемы	Перечень объектов, входящих в подсистему	Функциональное назначение подсистемы
I	2	3
I. Группа основных (подпорных) насосных агрегатов	Магистральные (подпорные) насосы с приводом, технологической обвязкой, встроенными системами смазки, охлаждения, откачки утечек, индивидуальных защит и др.	Сообщение дополнительной механической энергии перекачиваемой жидкости с целью обеспечения требуемой производительности МН.
2. Общестанционные вспомогательные устройства	Централизованная система смазки (масляные насосы с приводом, холодильниками, фильтрами коллекторами и арматурой, включая арматуру на отводах к магистральным и подпорным насосам), централизованная установка охлаждения электродвигателей, система сбора и откачки утечек установки разгрузки и вентиляции.	Обеспечение нормальной работы насосных агрегатов

I	2	3
3. Система электроснабжения	Электроподстанция, силовые трансформаторы, открытые, закрытые и комплектные распределительные устройства (ОРУ,ЗРУ,КРУ), воздушные и кабельные линии электропередач, устройства автоматического повторного включения (АПВ) и автоматического включения резерва (АВР), устройства автоматических защит	Питание объектов перекачивающей станции электроэнергией установленного качества
4.Система общестанционной автоматики, телемеханики и КИП	Операторная, щиты управления и контроля,устройства общестанционных защит от повышения давления в коллекторе, падения давления на всасывании станции от загазованности помещений в насосных, защиты от падения давления масла и прочих неисправностей	Контроль и оперативное управление технологическими процессами перекачки нефти и нефтепродуктов
5. Резервуары с оборудованием и трубопроводной обвязкой	Приемо-раздаточные и вентиляционные патрубки, замерный и световой люки, люк-лаз, хлопушка, дыхательный и гидравлические клапаны, огневые предохранители, подъемные трубы, пенокамеры	

3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДСИСТЕМ ОСНОВНЫХ И ПОДПОРНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Основным показателем, характеризующим надежность названных подсистем с учетом специфики назначения и функционирования насосного оборудования, является интервальный показатель $\Gamma(t)$, име-

щий смысл вероятности выполнения основной задачи – перекачки нефти на заданном интервале времени t.

Дополнительным показателем надежности является мгновенный показатель $R(t)$, оценивающий надежность подсистемы насосных агрегатов в произвольный момент времени t, имеющий смысл коэффициента готовности.

3.I. Расчет интервального показателя надежности

3.I.I. Определяется вероятность функционирования насосной группы в некотором интервале времени t в полностью работоспособном состоянии (с требуемым числом насосных агрегатов n,:

$$P_o(t) = e^{-n\Omega t} + e^{-n\Omega \tau_{ср}} - e^{-n\Omega(t+\tau_{ср})}. \qquad (I)$$

3.I.2. Определяется вероятность функционирования насосной группы в состоянии частичного отказа (при работе с числом насосных агрегатов, на единицу меньшим требуемого количества):

$$P_{K+1}(t) = 1 - P_o(t), \qquad (2)$$

где K – число резервных агрегатов

3.I.3. Определяется уровень качества функционирования насосной группы в состоянии частичного отказа:

$$\alpha_{K+1} = \frac{Q_{K+1}(t)}{Q_o(t)}; \qquad (3)$$

где $Q_o(t)$, $Q_{K+1}(t)$ – соответственно производительность НПС при работе НПС с требуемым числом насосных агрегатов и при числе отказавших агрегатов S, равном $K+1$.

3.I.4. Определяется интервальный показатель надежности насосной группы в течение требуемого времени t:

$$\Gamma(t) = P_o(t) + \alpha_{K+1} \cdot P_{K+1}(t). \qquad (4$$

3.2. Расчет мгновенного показателя надежности подсистемы насосных агрегатов

3.2.I. Определяются возможные состояния подсистемы. Классифи-

цируются и присваиваются номера в соответствии с числом отказавших в момент времени t агрегатов ($S = 0,1,2,\dots\ n+K$), где n – число рабочих, K – число резервных агрегатов.

3.2.2. Определяются вероятности пребывания насосной группы в каждом состоянии как решение системы дифференциальных уравнений (см.приложение I) или их стационарные значения по формулам:

$$P_S = \theta_S \cdot P_0, \tag{5}$$

$$P_0 = \left[\sum_{S=0}^{n+K} \theta_S\right]^{-1}, \tag{6}$$

где $$\theta_S = \begin{cases} \dfrac{(n\Omega\tau)^S}{S!} & \text{для } S \le K, \\ \dfrac{n^K(\Omega\tau)^S}{S!} \prod\limits_{i=0}^{S-K-1} (n-i) & \text{для } S > K \end{cases}$$

3.2.3. Определяется уровень качества функционирования насосной группы в каждом состоянии

$$\alpha_S = \frac{Q_S(t)}{Q_0(t)}, \tag{7}$$

где $Q_0(t)$, $Q_S(t)$ – соответственно производительность МН при работе НПС с требуемым числом насосных агрегатов и при числе отказавших агрегатов, равном S.

Значения $Q_0(t)$, $Q_S(t)$ могут быть рассчитаны аналитически по формулам расхода для проектируемых НПС или определены путем непосредственных замеров на действующих НПС.

3.2.4. Определяется показатель качества функционирования насосной группы как математическое ожидание функции $Q_S(t)$:

$$Q(t) = M Q_S(t). \tag{8}$$

3.2.5. Определяется мгновенный показатель надежности насосной группы как относительный показатель качества функционирования:

$$R(t) = \frac{M Q_S(t)}{Q_0(t)} = \sum_{S=0}^{n+K} \alpha_S \cdot P_S(t), \tag{9}$$

где α_S, $P_S(t)$ – уровень качества и вероятность функционирования насосной группы в состоянии S.

Для стационарного режима эксплуатации $R(t) = R = const$.

4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПОДСИСТЕМ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И КИП

4.1. Надежность названных подсистем оценивается вероятностью выполнения задания $P(t)$ в течение заданного интервала времени t, определяемого временем непрерывной работы группы основных насосных агрегатов. Ненадежность характеризуется вероятностью полного отказа. Частичные отказы и соответствующие этим состояниям показатели надежности не характерны, поскольку число рабочего оборудования в рассматриваемых подсистемах равно единице.

4.2. Уточняется состав оборудования и вид структурного резервирования.

4.3. В случае работы подсистемы в режиме ненагруженного резерва (характерно для вспомогательного технологического оборудования) вероятность выполнения задания определяется как полная вероятность сложного события по формуле

$$P(t) = P_0(t) + [1 - P_0(t)] \cdot P_0(\tau_{ср}) \cdot K_{г.п.у}, \qquad (10)$$

где $P_0(t)$, $P_0(\tau_{ср})$ – соответственно вероятность безотказной работы рабочего (резервного) оборудования в течение времени t и среднего времени восстановления отказавшего устройства;

$K_{г.п.у}$ – коэффициент готовности переключающего устройства.

4.4. В случае нагруженного резерва (оборудование подсистемы электроснабжения) вероятность выполнения задания определяется по формуле

$$P(t) = 1 - [1 - P_0(t)]^{K+1}, \qquad (11)$$

4.5. В случае работы вспомогательных устройств без резерва используется формула расчета для последовательного (в смысле надежности) соединения элементов:

$$P(t) = [P_0(t)]^n. \qquad (12)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Методика определения показателей надежности магистрального нефтепровода. РД 39-I-62-78, ВНИИСПТнефть, Уфа, I978.

2. Методика выбора показателей для оценки надежности сложных технических систем, ВНИИС, М., I970.

Приложение I

Пояснения к основным терминам и положениям методики

При расчете надежности нефтеперекачивающей станции, представляющей сложный комплекс технических устройств, целесообразно расчленить ее на отдельные подсистемы такие, что отказы каждой из них происходят независимо и приводят к прекращению функционирования всей системы НПС. Такими подсистемами могут быть: группа основных насосных агрегатов, группа подпорных насосных агрегатов, общестанционные вспомогательные устройства, система электроснабжения, система общестанционной автоматики и КИП.

При этом ввиду особенностей назначения и схемно-конструктивных решений некоторых подсистем (группы основных и подпорных насосных агрегатов), отказы отдельных элементов могут приводитьне к полному отказу, а лишь к некоторому ухудшению качества их функционирования. Поэтому насосную группу следует рассматривать как сложную систему, а надежность определять с точки зрения влияния ее на характеристики качества и эффективности функционирования НПС.

Ниже приводятся основные положения методики применительно к группе насосных агрегатов как наиболее ответственной и сложной подсистемы НПС.

Состояние насосных агрегатов в любой момент времени t может быть описано функцией вида

$$x(t) = \begin{cases} 1, & \text{если агрегат работоспособен,} \\ 0, & \text{если агрегат в неработоспособном состоянии.} \end{cases}$$

Тогда состояние S насосной группы НПС как сложной системы в произвольный момент времени t может быть описано случайным вектором $\vec{x}_S(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots x_i(t), \dots x_N(t)\}$,

где $x_i(t)$ – функция состояния i-го насосного агрегата,

$i = 1,2,\ldots, N$; $N = (n+K)$ – общее количество рабочих (n) и резервных (К) агрегатов.

Каждому состоянию S насосной группы можно поставить в соответствие характеристику качества функционирования

$$\varphi[\vec{z}_s(t)] = \varphi_s(t),$$

представляющую количественную меру результатов ее функционирования в момент времени t для определенной реализации процесса функционирования.

Насосная группа НПС характеризуется конечным числом фиксированных значений качества функционирования. Так, для группы из трех магистральных насосных агрегатов (два рабочих и один резервный) возможны три отличных от нуля значения качества функционирования:

$$\varphi_0 > \varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3 = 0$$

Значение φ_0 соответствует полностью работоспособному состоянию, а $\varphi_3 = 0$ – полному отказу (отказали все три агрегата).

Случайная функция $\varphi[\vec{z}_s(t)]$ зависит от состояния агрегатов в произвольный момент времени t, степени приспособленности их к выполнению поставленной задачи и является мгновенной оценкой качества функционирования в момент времени t.

Общую оценку качества функционирования насосной группы НПС дает математическое ожидание функции $\varphi_s(t)$ как среднее по множеству наблюдений случайного процесса $\varphi[\vec{z}_s(t)]$ в произвольный момент времени t

$$\varphi(t) = M\varphi_s(t) = M\varphi[\vec{z}_s(t)],$$

называемое показателем качества функционирования системы.

Наряду с показателем качества $\varphi(t)$ функционирование насосной группы характеризуется выходным эффектом (полезным результатом) на некотором интервале времени, например, между плановыми техническими обслуживаниями (ТО), /0, t/.

Показателем эффективности функционирования насосной группы является математическое ожидание характеристики качества функционирования ее на интервале времени $/0, t/$

$$\varphi[0, t] = M\{\Phi_s(t)\}_{\text{на}}(0, t),$$

называемое средним эффектом системы.

Показатели качества и эффективности функционирования насосной группы учитывают надежность отдельных агрегатов, а также принцип оценки последствий отказа всей насосной группы. Поэтому показатели надежности насосной группы определяются как функции, оценивающие степень снижения показателей качества и эффективности функционирования ее из-за ненадежности элементов.

Различают мгновенный и интервальный показатель надежности насосной группы.

Мгновенный показатель надежности определяется как относительный показатель качества функционирования и вычисляется по формуле

$$R(t) = \frac{M\Phi_s(t)}{\Phi_0(t)} = \frac{\Phi(t)}{\Phi_0}, \qquad (\text{П.2.1})$$

где $\Phi_0(t) = \Phi_0$ – показатель качества функционирования группы идеальных насосных агрегатов (условное математическое ожидание характеристики качества функционирования насосной группы при условии, что насосные агрегаты абсолютно безотказны).

Учитывая, что насосная группа имеет конечное число дискретных состояний, можно записать:

$$R(t) = \frac{M\Phi_s(t)}{\Phi_0(t)} = \sum_{s=1}^{n+K} \alpha_s \cdot P_s, \qquad (\text{П.2.2})$$

где $\alpha_s = \frac{\Phi_s(t)}{\Phi_0}$ – уровень качества функционирования насосной группы в состоянии S, характеризующий относительное снижение качества функционирования насосной группы в состоянии S; P_s – вероятность функционирования в состоянии S.

Интервальный показатель надежности насосной группы $r[0,t]$ определяется как отношение ее среднего эффекта к соответствующему показателю группы идеальных насосных агрегатов:

$$r[0,t] = \frac{\varphi[0,t]}{\varphi_0[0,t]} = \frac{\sum_s \varphi_s P_s(t)}{\varphi_0}, \qquad (II.2.3.)$$

где $\varphi_0[0,t]$ – показатель качества функционирования группы идеальных насосных агрегатов в рассматриваемом интервале времени. Учитывая, что в таком случае $\varphi_0[0,t] = \varphi_0$ и пренебрегая состояниями, характеризуемыми числом отказавших агрегатов, превышающим количество резервных более, чем на единицу, как весьма маловероятными, получим для интервального показателя надежности насосной группы следующее выражение:

$$r(t) = P_0(t) + \alpha_{k+1} \cdot P_{k+1}(t), \qquad (II.2.4.)$$

где $P_0(t)$ – вероятность функционирования насосной группы в течение времени t с требуемым уровнем качества функционирования $\alpha_0 = I$; α_k, $P_{k+1}(t)$ – уровень качества и вероятность функционирования насосной группы с числом агрегатов, на единицу меньшим требуемого количества.

Поскольку насосная группа предназначена для обеспечения бесперебойной перекачки продукта в заданном объеме, за характеристику качества функционирования принимается функция расхода, номинальное значение которой может быть определено из уравнения баланса напоров:

$$Q_0 = \left(\frac{H - \Delta z}{f \cdot l}\right)^{1/2-m}, \qquad (II.2.5.)$$

где H – дифференциальный напор станции; m – коэффициент, зависящий от режима перекачки; f – гидравлический уклон при $Q = I$; l – длина участка между соседними станциями; Δz – разность геодезических отметок начальной и конечной точек участка нефтепровода.

Для оценки относительного снижения качества функционирования

насосной группы в состоянии частичного отказа для нефтепроводов с горизонтальными участками равной длины может быть использована формула /3/:

$$\alpha_S = \left[\frac{n-S}{2n} + \frac{H_{max}}{2H}\right]^{\frac{1}{2-m}}, \quad S \geqslant K+1, \qquad (\text{II.2.6.})$$

где n, S - соответственно число рабочих и отказавших насосных агрегатов; H_{max} - максимальный напор, определяемый расчетом на прочность.

Для определения вероятностей состояний насосной группы в произвольный момент времени $P_S(t)$ необходимо формализовать реальный процесс изменения ее состояний. Будем считать, что момент отказа насосного агрегата обнаруживается сразу, при этом отказавший агрегат немедленно заменяется резервным. Такое допущение соответствует случаю, когда осуществляется постоянный контроль за состоянием оборудования, а переключающие устройства характеризуются малой продолжительностью переключения и высокой надежностью.

Переход насосной группы из состояния в состояние характеризуется отказом или восстановлением только одного агрегата. Полагая, что каждый агрегат характеризуется постоянной интенсивностью отказов λ, равной среднему значению параметра потока отказов и восстановлений $\mu = \frac{1}{\tau_{ср}}$ ($\tau_{ср}$ - среднее время восстановления), изменение состояний насосной группы можно описать однородным марковским процессом с конечным числом состояний.

На рис.I представлен граф переходов насосной группы из состояния в состояние для случая неограниченного восстановления отказавших агрегатов и режима работы "2 рабочих + I резервный".

Рассматриваемому случаю соответствует следующая матрица интенсивностей переходов:

$$A = \begin{bmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 & 0 \\ \mu & -(2\lambda+\mu) & 2\lambda & 0 \\ 0 & 2\mu & -(\lambda+2\mu) & \lambda \\ 0 & 0 & 3\mu & -3\mu \end{bmatrix} \qquad (\text{II.2.7.})$$

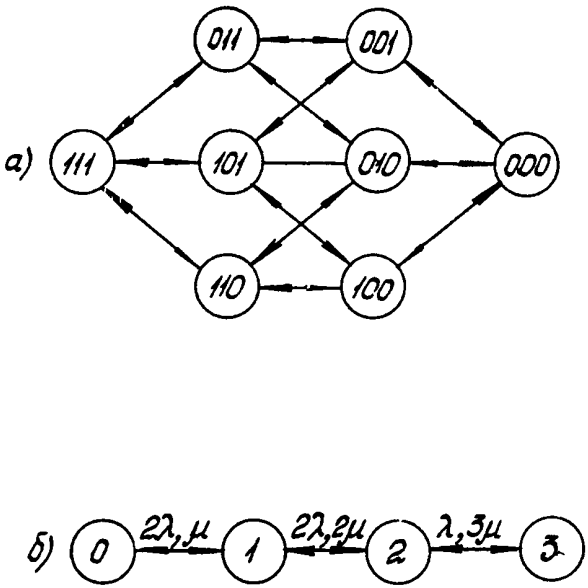

Рис. I. Граф состояний насосной группы, состоящей из двух рабочих и одного резервного агрегата
а) схема всех возможных состояний,
б) укрупненная схема состояний по числу отказавших агрегатов

Если связать вероятности состояний в момент времени t, выраженные через элементы матрицы А, с вероятностями в момент ($t + dt$) и перейти к пределу при $dt \to 0$, то можно получить систему дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

$$\frac{d}{dt}\vec{P}(t) = A^{T} \cdot \vec{P}(t), \qquad \text{(П.2.8.)}$$

где $\vec{P}(t)$ – вектор вероятностей состояний в момент времени t.

$$P(t) = \begin{vmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \\ \vdots \\ P_{n+k}(t) \end{vmatrix},$$

A^{T} – транспонированная матрица А.

Система (П.2.8.) применительно к случаю, представленному на рисунке, имеет вид

$$\begin{cases} P_0'(t) = -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ P_1'(t) = 2\lambda P_0(t) - (2\lambda + \mu) P_1(t) + 2\mu P_2(t) \\ P_2'(t) = 2\lambda P_1(t) - (\lambda + 2\mu) P_2(t) + 3\mu P_3(t) \\ P_3'(t) = \lambda P_2(t) - 3\mu P_3(t) \end{cases} \qquad \text{(П.2.9.)}$$

Решая систему (П.2.9.) на ЭВМ при начальных условиях

$$\vec{P}_0(0) = \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix},$$

можно определить значения вероятностей различных состояний насосной группы в произвольный момент времени t, а следовательно, и мгновенный показатель надежности по формуле (П.2.2.).

На практике обычно интересуются функционированием насосной группы на участках времени, далеких от начального. В этом случае в системе (П.2.9.) можно пользоваться стационарными значениями вероятностей состояний, поскольку для любого начального состояния S существуют пределы /3/:

$$\lim_{t\to\infty} P_s(t) = P_s, \quad s = 1,2,\dots n+K$$

Переходя к пределу в системе (II.2.9.), получим систему алгебраических уравнений для стационарных значений вероятностей состояний

$$\begin{cases} -2\Omega P_0 + \mu P_1 = 0 \\ 2\Omega P_0 - (\Omega+\mu)P_1 + 2\mu P_2 = 0 \\ 2\Omega P_1 - (\Omega+2\mu)P_2 + 3\mu P_3 = 0 \\ \Omega P_2 - 3\mu P_3 = 0 \end{cases} \qquad \text{(II.2.I0.)}$$

Кроме того, имеем $\sum_{s=0}^{n+K} P_s = 1$.

Решение системы (II.2.I0.) имеет вид: $P_s = \theta_s \cdot P_0$, $s = 1,2,3$;

где $$\theta_s = \frac{n\Omega\tau}{s!} \quad \text{для } s \le K \quad ; \qquad \text{(II.2.II.)}$$

$$\theta_s = \frac{n^K (\Omega\tau)^s}{s!} \prod_{i=0}^{s-K-1} (n-i)^s \quad \text{для } s > K \qquad \text{(II.2.I2.)}$$

$$P_0 = \left[\sum_{s=0}^{s} \theta_s\right]^{-1}$$

Для определения интервального показателя надежности насосной группы $\Gamma(t)$ необходимо предварительно рассчитать вероятности функционирования насосной группы на рассматриваемом интервале времени с требуемым уровнем качества ($\alpha_0 = I$) и уровнем α_1, соответствующим состоянию частичного отказа ($S = K+1$). С этой целью воспользуемся математическим аппаратом теории вероятностей, рассматривая частичный отказ насосной группы как сложное событие, возникающее в результате двух элементарных:

I-в момент времени τ происходит отказ одного из работающих насосных агрегатов, вместо него подключается резервный агрегат, а отказавший выводится на ремонт и в дальнейшем становится резервным;

2 – за оставшееся до планового технического обслуживания время ($t - \tau$) в течение среднего времени ремонта отказавшего агрегата $\tau_{ср}$ отказывает один из работающих агрегатов, что приводит

к частичному отказу насосной группы.

Вероятность того, что за время $(0, t)$ произойдут оба указанных события, определяется по теореме о полной вероятности

$$P_{k+1}(t) = \int_0^t f(\tau) \cdot q(\tau_{cp}) d\tau, \qquad (II.2.I3.)$$

где $f(\tau)$, $q(\tau_{cp})$ – соответственно функция плотности вероятности и условная вероятность отказа одного из n функционирующих агрегатов за время τ_{cp} ;

$$q(\tau_{cp}) = 1 - \frac{P_{n-1}(\tau + \tau_{cp})}{P_{n-1}(\tau)} P_p(\tau_{cp}). \qquad (II.2.I4.)$$

Здесь $P_{n-1}(\tau+\tau_{cp})$, $P_{n-1}(\tau)$ – вероятность безотказной работы оставшихся $(n-I)$ рабочих агрегатов соответственно за время от 0 до $(\tau + \tau_{cp})$ и τ ; $P_p(\tau_{cp})$ – вероятность безотказной работы подключенного резервного агрегата за время τ_{cp}.

Принимая, как и при определении вероятностей $P_s(t)$ в произвольный момент времени, законы распределения наработки и времени восстановления экспоненциальными, получаем

$$P_{k+1}(t) = \int_0^t \left[1 - \frac{e^{-(n-1)\Omega(\tau+\tau_{cp})}}{e^{-(n-1)\Omega\tau}} e^{-\Omega\tau_{cp}}\right] n\Omega e^{-n\Omega\tau} d\tau = \qquad (II.2.I5.)$$
$$= 1 - e^{-n\Omega t} - e^{-n\Omega\tau_{cp}} + e^{-n\Omega(t+\tau_{cp})}.$$

Вероятность функционирования насосной группы в течение времени t с требуемым уровнем качества определяется как вероятность противоположного события по формуле:

$$P_o(t) = e^{-n\Omega t} + e^{-n\Omega\tau_{cp}} - e^{-n\Omega(t+\tau_{cp})}. \qquad (II.2.I6.)$$

Подстановка значений $P_{k+1}(t)$ и $P_o(t)$ по (II.2.I5.) и (II.2.I6.) и значения α_{k+1} , оцененного по формуле (II.2.6.), или определенного точно путем непосредственных замеров расхода, дает значение интервального показателя надежности насосной группы в течение времени t . Так, для случая m = I (ламинарный режим

течения) получается следующая аналитическая зависимость интервального показателя надежности от показателей безотказности и ремонтопригодности насосных агрегатов :

$$\Gamma(t) = 1 - \Omega\tau_{cp} + \Omega\tau_{cp} \cdot e^{-n\Omega t}. \qquad (\text{П.2.I7.})$$

Аналогично определяется интервальный показатель надежности для турбулентного режима течения жидкости (при m = 0,25 и m =0,I23).

Приложение 2

Примеры расчета показателей надежности нефтеперекачивающей станции

Пример I. Определить интервальный показатель надежности подсистемы основных насосных агрегатов в течение времени выполнения месячного задания по перекачке нефти t = 720 ч при следующих исходных данных:

число рабочих насосных агрегатов n = 3 ;

число резервных насосных агрегатов κ = I ;

Ω_{arp} = 0,0005 $ч^{-I}$, τ_{arp} = I0 ч, m = 0,25 .

Решение. Определяем уровень качества функционирования насосной группы при работе с необходимым числом агрегатов и с числом насосных агрегатов на единицу меньшим необходимого количества. Для проектируемых НПС пользуемся оценкой по приближенной формуле:

$$\alpha_s = \left[\frac{n-s}{2n} + \frac{H_{max}}{2H} \right]^{\frac{1}{2-m}} .$$

Для случая полной загрузки нефтепровода ($H_{max} = H$) имеем следующие приближенные оценки α_s :

s	0	I	2	3	4
m = I	I	I	2/3	0,5	0
m = 0,25	I	I	0,7983	0,677I	0

Определяем вероятность функционирования подсистемы насосных агрегатов НПС с уровнем качества α_s по формуле (I);

$$P_s(t) = e^{-3\cdot0,0005\cdot720} + e^{-3\cdot0,0005\cdot I0} + e^{-3\cdot0,0005(720+I0)}$$

$$= e^{-I,08} + e^{-0,0I5} - e^{-I,095} = 0,990$$

Определяем вероятность функционирования насосной группы в состоянии частичного снижения производительности МН по формуле (2):

$$P_{k+1}(t) = 1 - P_0(t) = 1-0{,}990 = 0{,}01 .$$

Подставляя значения $P_0(t)$ и $P_{k+1}(t)$ в формулу (4), получаем

$$r(t) = 0{,}99 + 0{,}01 \cdot 0{,}7983 = 0{,}9980 .$$

Пример 2. Определить вероятность безотказной работы подсистемы общестанционных вспомогательных устройств в интервале времени $t = 720$ ч.

Анализ состава вспомогательного оборудования и вида применяемого резерва позволяет использовать для расчета надежности следующую структурную схему (рис. 2)

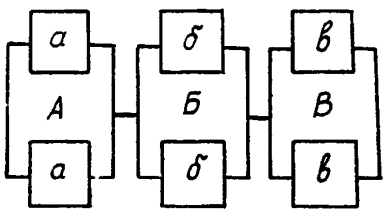

Рис. 2. Структурная схема надежности подсистемы общестанционных вспомогательных устройств

На рис.2 приняты следующие обозначения:

А – централизованная система смазки (масляные насосы с приводом, фильтрами, коллекторами и арматурой);

Б – централизованная установка охлаждения масла;

В – централизованная установка охлаждения электродвигателей.

Каждая из перечисленных групп оборудования А,Б,В состоит из одного рабочего и одного резервного агрегата, используемого в режиме ненагруженного резерва, обозначенных на схеме соответствующими строчными буквами.

Пусть параметр потока отказов агрегатов названных групп оборудования вспомогательного назначения имеет следующие оценки средних значений:

$\lambda_a = 0{,}28 \cdot 10^{-3}, ч^{-1}$; $\lambda_б = 0{,}27 \cdot 10^{-3}, ч^{-1}$;

$\lambda_в = 0{,}27 \cdot 10^{-3}, ч^{-1}$.

$\tau_{ср\,а} = 2{,}0, ч$; $\tau_{ср.\,б} = 3{,}0, ч$; $\tau_{ср\,в} = 3{,}0, ч$.

Тогда в соответствии с формулой (10) и в предположении высокой надежности переключающего устройства, имеем

$$P_A(t) = e^{-0{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 720} + \left[1 - e^{-0{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 720}\right] \cdot e^{-0{,}28 \cdot 10^{-3} \cdot 2} =$$

$$= 0{,}99989$$

$$P_Б(t) = e^{-0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 720} + \left[1 - e^{-0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 720}\right] \cdot e^{-0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 3} =$$

$$= 0{,}99986$$

$P_В(t) = 0{,}99986.$

Вероятность безотказной работы всей подсистемы вспомогательных устройств будет равна

$P(t) = 0{,}99989 \cdot 0{,}99986 \cdot 0{,}99986 = 0{,}99961.$

Пример 3. Определить вероятность безотказной работы системы внутреннего электроснабжения в течение времени t = 720 ч. Система имеет два силовых трансформатора 110/6 кв (n = I, K = I, $\lambda_{с.т.}$ = 0,0024 10^{-3}, ч)^{I}, эксплуатируемых в режиме нагруженного резерва. Питание РУ – 6(10) кв площадки НПС осуществляется от подстанции по четырем токопроводам, имеющим $\lambda_{т.п.}$ = 0,00228·10^{-3}ч$^{-I}$.

Пользуясь формулой (II) для трансформаторной подстанции, имеем

$$P_{т.п.}(t) = 1 - \left[1 - e^{-0,0024 \cdot 10^{-3} \cdot 720}\right]^2 \approx 1 .$$

Для токопроводов, предполагая последовательное, в смысле надежности, их соединение в соответствии с формулой (I2), имеем

$$P_{т.п.}(t) = \left[e^{-0,00228 \cdot 10^{-3} \cdot 720}\right]^4 = 0,9936 .$$

Учитывая высокую надежность РУ-6(10) кв, т.е. принимая $P_{ру}(t_р) \approx 1$ для всей системы внутреннего электроснабжения, получаем

$$P_{э.с.}(t) = P_{с.т}(t) \cdot P_{т.п}(t) \cdot P_{ру}(t) \approx 0,9936 .$$

Пример 4. Используя результаты расчетов в предыдущих примерах, рассчитать интервальный показатель надежности промежуточной НПС на периоде t = 720 ч.

Учитывая последовательное, в смысле надежности, соединение рассмотренных выше подсистем и принимая условно показатель надежности системы автоматики и КИП равным единице, получаем (для m = 0,25)

$$\Gamma_{НПС}(t) = 0,9980 \cdot 0,9996I \cdot 0,9936 = 0,99I2 .$$

Приложение 3

Таблицы значений и графические зависимости показателей надежности НПС и подсистемы насосных агрегатов от показателя их безотказности и среднего времени восстановления

На графиках и в таблицах приняты следующие обозначения:

$R(t)$, $\Gamma(t)$ – соответственно мгновенный и интервальный показатель надежности насосной группы ;

$R_{нпс}(t)$, $\Gamma_{нпс}(t)$ – соответственно мгновенный и интервальный показатель надежности НПС;

n, K – число рабочих и резервных насосных агрегатов;

m – показатель режима движения нефти.

Таблица II.I.

Значения интервального показателя надежности подсистемы насосных агрегатов для $m = 0{,}25$ и $t_p = 720$ч

h	K	Ω	$\Gamma(t)$ при $\tau_{ср}$					
			2	4	6	8	I0	I2
2	I	0,000I	0,99998	0,99996	0,99995	0,99993	0,9999I	0,99989
		0,0005	0,99966	0,99933	0,99900	0,99866	0,99833	0,99800
		0,00I0	0,99900	0,9980I	0,99702	0,99604	0,99506	0,99408
		0,0050	0,99353	0,98719	0,98097	0,97487	0,96890	0,96304
		0,0I0	0,98718	0,97486	0,96302	0,95I64	0,94072	0,93022
3	0	0,000I	0,99999	0,99998	0,99997	0,99995	0,99994	0,99993
		0,0005	0,99980	0,9996I	0,9994I	0,99922	0,99903	0,99833
		0,00I0	0,99948	0,99896	0,99844	0,99792	0,9974I	0,99690
		0,005	0,99708	0,99424	0,99I48	0,9888I	0,98622	0,98370
		0,0I0	0,99424	0,9766I	0,98370	0,97889	0,97435	0,97008
3	I	0,000I	0,99998	0,99995	0,99993	0,99990	0,99988	0,99986
		0,0005	0,99959	0,999I8	0,99878	0,99837	0,99797	0,99756
		0,00I0	0,99I8I	0,99782	0,99674	0,99566	0,99459	0,99353
		0,005	0,99389	0,98796	0,98220	0,9766I	0,97II9	0,96593
		0,0I0	0,98796	0,9766I	0,96593	0,95587	0,94640	0,93747

Таблица П.2

Значения мгновенного показателя надежности подсистемы насосных агрегатов для $m=0{,}25$

n	κ	$\mathcal{R}$	$R(t)$ при $\tau_{ср}$ = 2	4	6	8	I0	I2
2	I	0,000I	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
		0,00I	0,99999	0,99998	0,99998	0,99997	0,99997	0,99996
		0,003	0,99997	0,99992	0,99986	0,9998I	0,99976	0,99973
		0,005	0,99993	0,99978	0,99964	0,99948	0,99937	0,99927
		0,008	0,99983	0,99945	0,99905	0,9987I	0,99842	0,998I9
		0,0I0	0,99974	0,999I5	0,99854	0,9980I	0,99757	0,99722
2	2	0,000I	I,00000	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
		0,00I	I,00000	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
		0,003	I,00000	0,99999	0,99999	0,99998	0,99997	0,99996
		0,005	I,00000	0,00000	0,99997	0,99985	0,99990	0,99984
		0,008	0,99999	0,99997	0,9999I	0,9998I	0,99966	0,99943
		0,0I0	0,99999	0,99995	0,99984	0,99966	0,99936	0,99894
3	0	0,000I	0,99994	0,99988	0,99985	0,99982	0,9998I	0,99979
		0,00I	0,99940	0,9989I	0,99855	0,9983I	0,998I2	0,99794
		0,003	0,99823	0,99678	0,99570	0,99496	0,99442	0,99402
		0,005	0,99707	0,99462	0,99288	0,99I66	0,99078	0,990I0
		0,008	0,99541	0,99I46	0,98873	0,98680	0,98540	0,98435
		0,0I0	0,99420	0,98939	0,98600	0,98362	0,98I89	0,98058

Продолжение табл.П.2.

I	2	3	4	5	6	7	8	9
3	I	0,000I	I,00000	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999
		0,00I	0,99999	0,09999	0,99996	0,99993	0,99990	0,99986
		0,003	0,99996	0,99987	0,99970	0,99948	0,99920	0,99886
		0,005	0,9999I	0,99964	0,99920	0,9986I	0,99788	0,9970I
		0,008	0,99977	0,99909	0,99804	0,99662	0,99489	0,99288
		0,0I0	0,99964	0,9986I	0,9970I	0,99489	0,99233	0,98938

Таблица П.3.

Значения интервального показателя надежности НПС для $m = 0,25$ и t_p =720ч.

n	K	$\mathcal{R}$	$\Gamma_{нпс}(t)$ при $\tau_{ср}$ = 2	4	6	8	10	12
2	I	0,000I	0,99288	0,99286	0,99285	0,99283	0,9928I	0,99279
		0,00I5	0,99256	0,99223	0,99I90	0,99I57	0,99I24	0,99091
		0,00I0	0,99I9I	0,99092	0,98994	0,98896	0,98799	0,98702
		0,0050	0,98647	0,980I7	0,97400	0,96795	0,96202	0,9562I
		0,0I0	0,980I6	0,96793	0,956I8	0,94488	0,93403	0,9236I
3	0	0,000I	0,99289	0,99287	0,99286	0,99285	0,99284	0,99283
		0,0005	0,99270	0,9925I	0,99232	0,992I2	0,99I93	0,99I74
		0,00I0	0,99238	0,99I86	0,99I35	0,99084	0,99033	0,98982
		0,005	0,98999	0,987I8	0,98444	0,98I79	0,9792I	0,9767I
		0,0I0	0,987I8	0,98I79	0,9767I	0,97I93	0,96743	0,963I9
3	I	0,000I	0,99289	0,99287	0,99283	0,99280	0,99278	0,99275
		0,0005	0,99249	0,99202	0,99I68	0,99I28	0,99088	0,99048
		0,00I0	0,99I8I	0,99073	0,98966	0,98859	0,98753	0,98647
		0,005	0,98683	0,98044	0,97522	0,96968	0,96429	0,95907
		0,0I0	0,98094	0,96968	0,95907	0,94908	0,93967	0,93082

Таблица П.4.

Значения мгновенного показателя надежности НПС для $m = 0,25$

n	K	$\mathcal{R}$	$R_{НПС}(t)$ при $\tau_{ср}$ = 2	4	6	8	I0	I2
2	I	0,000I	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289
		0,00I	0,99289	0,99288	0,99288	0,99287	0,99287	0,99286
		0,003	0,99287	0,9928I	0,99276	0,9927I	0,99266	0,99263
		0,005	0,99283	0,99268	0,99262	0,99238	0,99227	0,9921I7
		0,008	0,99273	0,99235	0,99I95	0,99I6I	0,99I33	0,99II0
		0,0I	0,99264	0,99206	0,99I45	0,99092	0,99049	0,990I4
2	2	0,000I	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289
		0,00I	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289
		0,003	0,99289	0,99289	0,99279	0,99288	0,99267	0,99286
		0,005	0,99289	0,99289	0,99287	0,99284	0,99280	0,99274
		0,008	0,99289	0,99287	0,99287	0,9927I	0,99256	0,99233
		0,0I	0,99289	0,99284	0,99274	0,99256	0,99227	0,99I85
3	0	0,000I	0,99283	0,99278	0,99275	0,99272	0,9927I	0,99269
		0,00I	0,9923I	0,99I82	0,99I46	0,99I2I	0,99I03	0,99090
		0,003	0,99II4	0,99967	0,98863	0,98790	0,98736	0,98696
		0,005	0,98999	0,98755	0,98583	0,98462	0,98374	0,98307
		0,008	0,98827	0,98442	0,98I70	0,97979	0,97840	0,97735
		0,0I	0,98714	0,98236	0,97900	0,97663	0,9749I	0,9736I

Продолжение табл.П.4

I	2	3	4	5	6	7	8	9
3	I	0,000I	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289	0,99289
		0,00I	0,99289	0,99288	0,99286	0,99283	0,99280	0,99276
		0,003	0,99286	0,99276	0,99260	0,99238	0,99210	0,99177
		0,005	0,99280	0,99254	0,99210	0,99152	0,99079	0,98993
		0,008	0,99267	0,99200	0,99095	0,98955	0,98783	0,98583
		0,0I	0,99254	0,99152	0,98993	0,98783	0,98528	0,98236

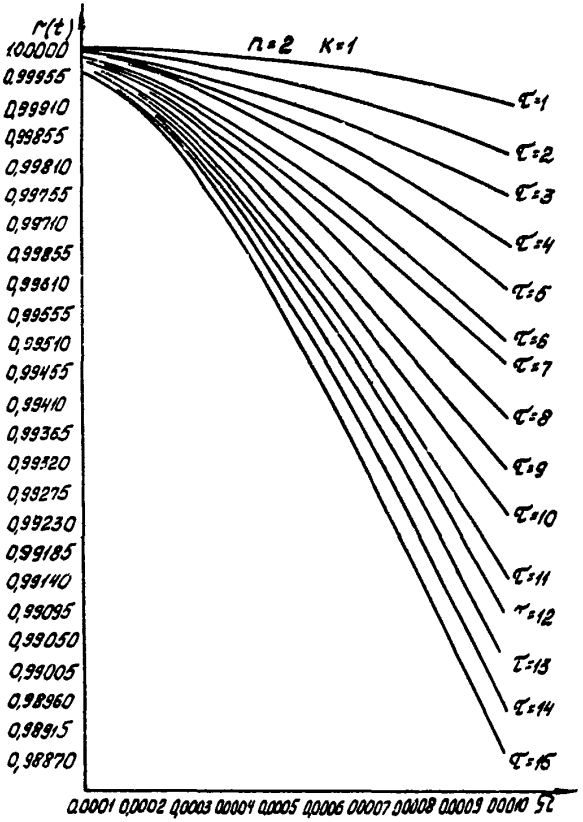

Рис. 2. Зависимость $r(t)$ от безотказности МНА

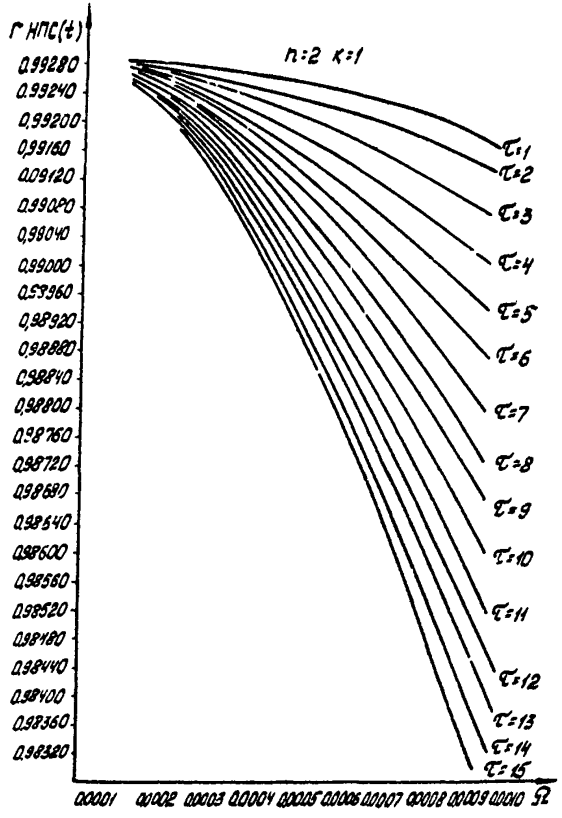

Рис. 3. Зависимость интервального показателя надежности НПС от показателя безотказности МНА

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения	3
2. Классификация оборудования нефтеперекачивающих станций	5
3. Расчет показателей надежности подсистем основных и подпорных насосных агрегатов	6
4. Расчет надежности подсистемы вспомогательных устройств, электроснабжения, автоматики, телемеханики и КИП	9
5. Список литературы	I0
Приложение I. Пояснения к основным терминам и положениям методики	II
Приложение 2. Примеры расчета показателей надежности нефтеперекачивающих станций	2I
Приложение 3. Таблицы значений и графические зависимости показателей надежности НПС и подсистемы насосных агрегатов от показателя их безотказности и среднего времени восстановления	25

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

РД 39-30-995-84

ВНИИСПТнефть

450055,Уфа, просп. Октября, 144/3

Редактор Г.Л.Левченко
Технический редактор Л.А.Кучерова

Подписано в печать 13.03.84г. П00128
Формат 60х90 1/16. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 170 экз.
Заказ 57

Ротапринт ВНИИСПТнефти

gost.e-ecolog.ru