

Пахомов Ю.В., асс.

Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗДЕЛИЙ ГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

abc050073@gmail.com

Рассмотрены этапы и характерные периоды надежной и безопасной эксплуатации изделий газового оборудования и трубопроводных систем при различных показателях аппроксимации. Разработан укрупненный алгоритм функционально-технического состояния изделий газового оборудования и трубопроводных систем на примере износа запорной части трубной арматуры. На основании теоретических исследований приведены графические зависимости утечки энергоносителя от продолжительности эксплуатации трубной арматуры и прогнозирования целесообразного срока эксплуатации изделий газового оборудования и трубопроводных систем.

Ключевые слова: износ, дефект, показатели назначения, газовое оборудование, трубопроводные системы, срок эксплуатации.

Введение. В соответствии с нормативно-технической документацией для газовых предприятий [1,2] вывод из эксплуатации изделий ГО и ТС допускается производить по мере необходимости. Сроки эксплуатации этих изделий в большинстве случаев устанавливаются индивидуально. При плановом ремонте изделий ГО и ТС как правило проводится их всесторонняя проверка. Так, например, для задвижек ТА характерным дефектом является срабатывание уплотнительных поверхностей на дисках и в корпусе, что приводит к потерям транспортируемого энергоносителя. Кроме того в изделиях ГО и ТС, в которых уплотняющей частью являются прецизионные пары, выполненные из металла, в процессе эксплуатации происходит износ трущихся поверхностей под влиянием технологической наследственности.

Поэтому для предотвращения или сведения к минимуму потерь транспортируемого энергоносителя целесообразно учитывать все факторы, влияющие на функционально-техническое состояние изделий ГО и ТС.

Основные положения и методы исследования. Теоретически срок целесообразной эксплуатации изделий ГО и ТС можно определить путем прогнозирования их функционально-технического состояния на различных этапах эксплуатации [1, 2]:

- при линейной аппроксимации – поиск времени t путем решения квадратного уравнения (вариант 1);

- при квадратичной, кубической показательных функциях моделирования условий транспортирования энергоносителя изделием путем решения уравнений методом итерации (вариант 2). Вариант 2, по которому, как правило, обосновывается межремонтный срок эксплуатации изделий, входящих в состав ГО и ТС является

более удобным и точным для прогнозирования их надежной и безопасной работы.

Анализ функционально-технического состояния изделий ГО и ТС [1, 2] изложим на примере, например, ТА. При этом исходим из того, что определены (рис. 1) [2, 5]:

- этапы и характерные периоды надежной и безопасной эксплуатации изделий ГО и ТС;
- понятие работоспособного состояния изделий по отношению к разнице прохода транспортируемого энергоносителя на входе и выходе из ГО и ТС;
- алгоритм диагностирования;
- средства и методы устранения неисправностей изделий.

Для определения целесообразного срока эксплуатации изделий ГО и ТС требуется за определенный промежуток времени рассчитать разницу на входе $Q_{вх}$ и выходе $Q_{вых}$ энергоносителя из ГО и ТС [1,2]. Для этого необходимо разработать алгоритм прогнозирования функционально-технического состояния изделий ГО и ТС на примере ТА.

На основании разработанного укрупненного алгоритма функционально-технического состояния ТА можно определить стоимостную составляющую потерь транспортируемого энергоносителя за определенный промежуток времени

$$B = (Q_{вх}t - \sum_{i=1}^m Q_i \Delta t_i) \cdot C_B \quad (1)$$

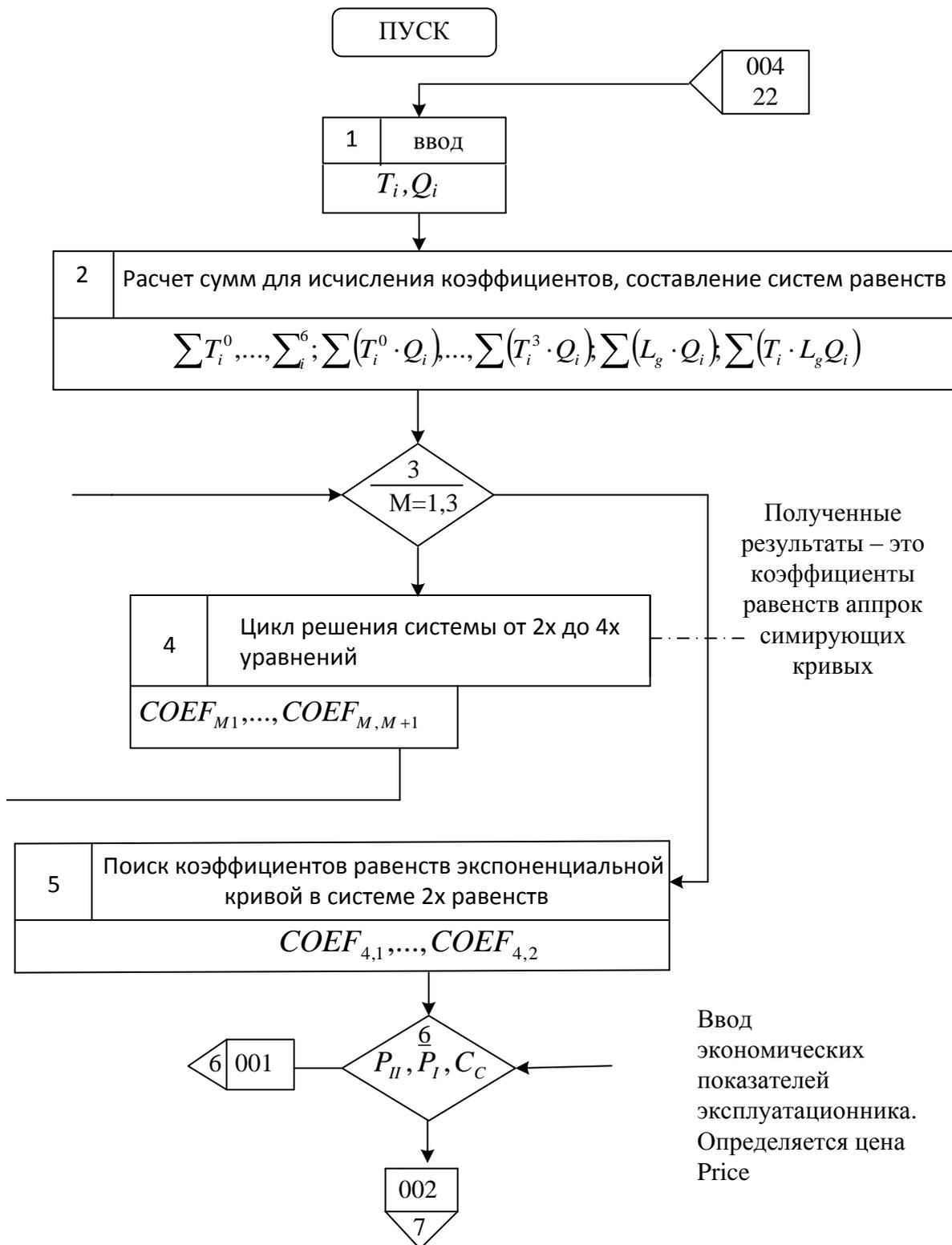
где B – стоимость потерь транспортируемого энергоносителя, грн/сут; $Q_{вх}$ – количество транспортируемого энергоносителя, м³/сутки; t_i – продолжительность непрерывной эксплуатации изделий ГО и ТС, сут.; Q_i – количество транспортируемого энергоносителя на выходе в измеряемое время Δt_i , м³/сут; m – число засечек, при-

нятых при измерении - определении потерь транспортируемого энергоносителя; C_B - себестоимость энергоносителя, грн/м³.

где R_H и R_M – стоимость потерь транспортируемого энергоносителя при условии различного числа засечек измерений.

Известно уравнение, когда B приобретает вид:

$$B = R_H + R_M \quad (2)$$



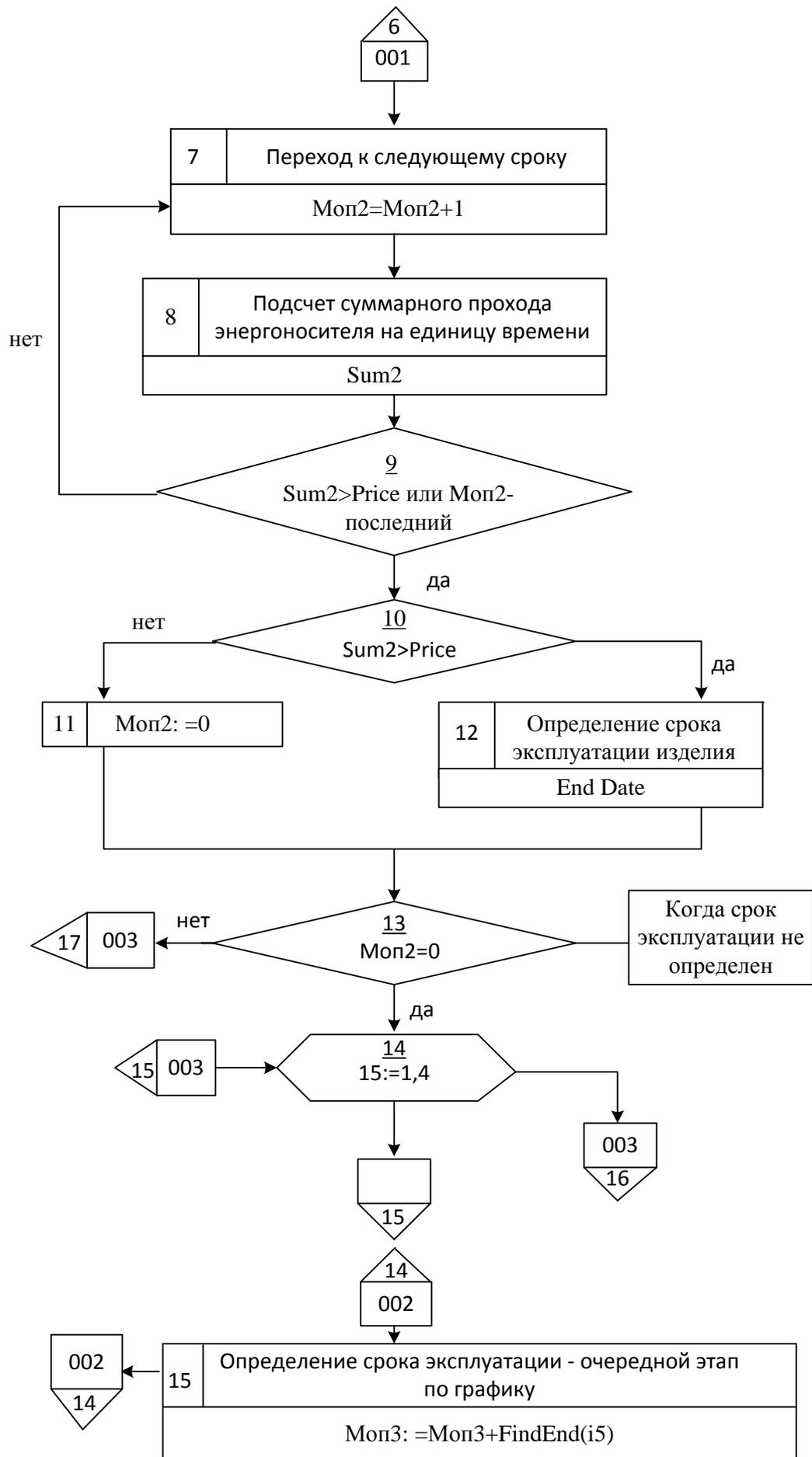




Рис. 1. Укрупненный алгоритм функционально-технического состояния ТА вследствие износа ее запорной части

Тогда выходная продолжительность эксплуатации ТА будет рациональной. В алгоритме (рис. 1) эта ситуация реализована следующим образом [3,5]:

1) - продолжительность нормальной эксплуатации изделий ГО и ТС при условии $(t < n)$, когда это условие не выполняется, то расчет прекращается;

2) - в другом случае, когда при эксплуатации создается ситуация при $(t > n)$, формула (1) приобретает вид:

$$B = (Q_{вх}t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \int_n^t f(x) dx) \cdot C_B, \quad (3)$$

где $f(x)$ - обратная аппроксимационная функция.

На рис. 2 приведены графические зависимости потерь транспортируемого энергоносителя от продолжительности эксплуатации ТА:

а – до проведения; б,в – после проведения оценки функционально-технического состояния ТА.

В дальнейшем все расчеты производятся по формуле (3), то есть с использованием аппроксимационных функций: - линейной, квадратной, кубической, параболы, степенной, которые изображены на рис.3 при условии $(t > n)$.

Для линейной аппроксимации имеем:

$$\int_n^t f(x) dx = \int_n^t (a_0 + a_1 x) dx = \left(a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} \right) \Big|_{x=n}^{x=t} = a_0 t + \frac{t^2}{2} - a_0 n - a_1 \frac{n^2}{2} \quad (4)$$

При решении задачи t с учетом формул (3,4) получаем квадратичное уравнение:

$$\left(Q_{\text{вх}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} \right) C_B = R_H + R_M \cdot$$

$$\cdot \left[a_1 \frac{t^2}{2} + (a_0 - Q_{\text{вх}}) t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M = 0 \quad (5)$$

при этом:

$$t = \frac{b \pm \sqrt{D}}{2a},$$

где $b = (a_0 - Q_{\text{вх}}) C_B$; $D = b^2 - 4ac$;
 $a = \left(\frac{a_1}{2} \right) C_B$

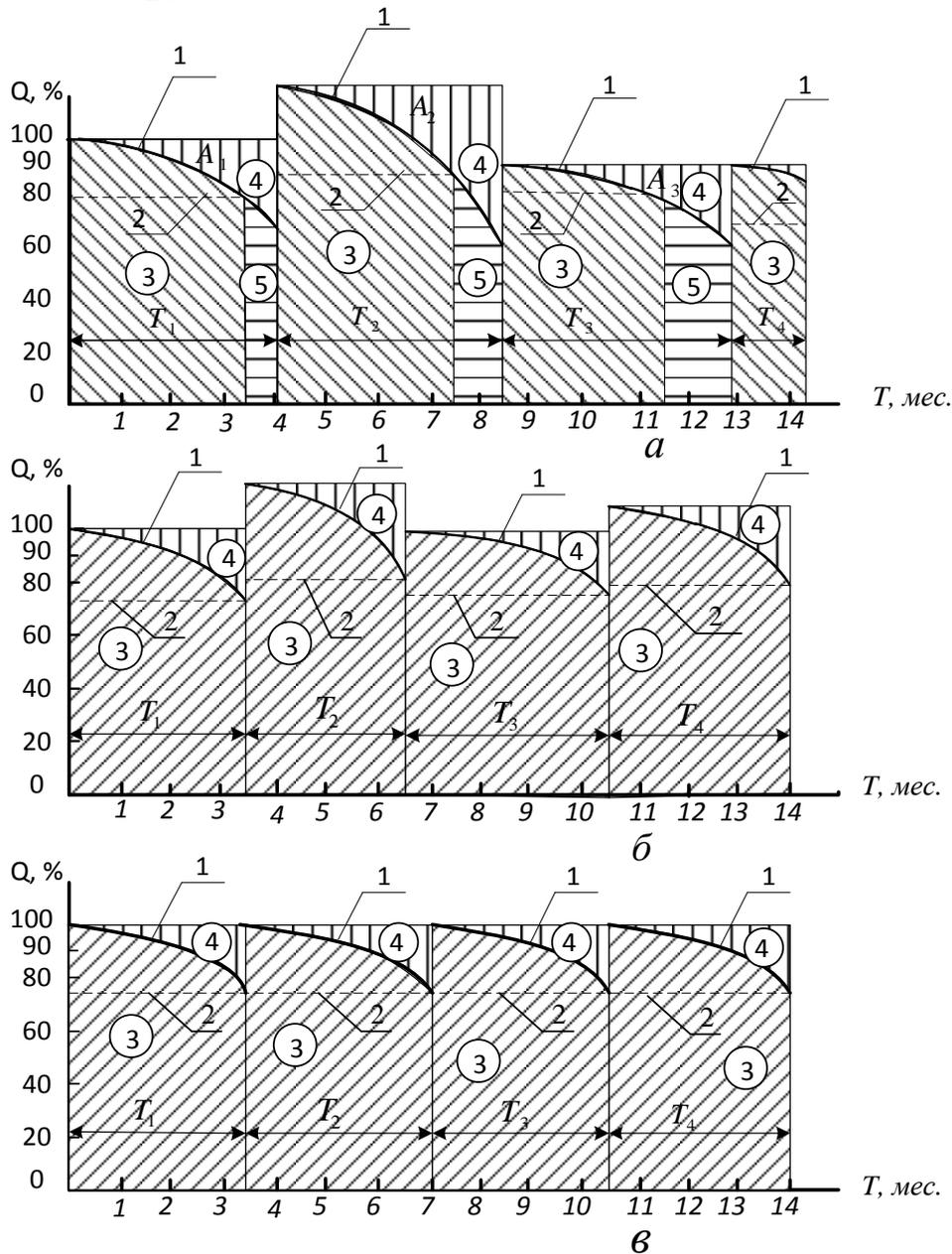


Рис. 2. Зависимости потерь транспортируемого энергоносителя от продолжительности эксплуатации ТА
 Q – объем транспортируемого энергоносителя, %; T - продолжительность эксплуатации ТА, мес.;
 1 - кривая снижения подачи транспортируемого энергоносителя за счет потерь; 2 - допуск рациональных потерь транспортируемого энергоносителя; 3 - поле учета транспортируемого энергоносителя за межремонтный период T_i , мес.; 4 – поле, характеризующее количество недоданного энергоносителя потребителю за счет его потерь при транспортировании; 5 – поле учета транспортируемого энергоносителя после проведения ремонта ТА.

$$C = \left(\sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \frac{a_1^2}{2} - a_0 n \right) C_B + R_H + R_M$$

Для квадратической аппроксимации (рис. 3,б) имеем:

$$\begin{aligned} \int_n^t f(x) dx &= \int_n^t (a_0 + a_1 x + a_2 x^2) dx = a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} + a_2 \frac{x^3}{3} \Big|_n^t = \\ &= a_0 t + a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} - a_0 n - a_1 \frac{n^2}{2} - a_2 \frac{n^3}{3} \end{aligned} \quad (6)$$

В итоге поиска t с учетом формул (3,6) получаем кубическое уравнение:

$$\begin{aligned} (Q_{\text{вх}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} - a_2 \frac{t^3}{3} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} + a_2 \frac{n^3}{3}) C_{\text{вых}} = \\ R_H + R_M \cdot \left[a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 t^3 + (a_0 - Q_{\text{вх}}) t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Для кубической аппроксимации (рис 3,в) имеем:

$$\begin{aligned} \int_n^t f(x) dx &= \int_n^t (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3) dx = a_0 x + a_1 \frac{x^2}{2} + a_2 \frac{x^3}{3} + a_3 \frac{x^4}{4} \Big|_n^t = \\ &= a_0 t + a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} + a_3 \frac{t^4}{4} \end{aligned} \quad (8)$$

Для поиска t с учетом формул (3,8) получаем уравнение четвертой степени

$$\begin{aligned} (Q_{\text{вх}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_0 t - a_1 \frac{t^2}{2} - a_2 \frac{t^3}{3} - a_3 \frac{t^4}{4} + a_0 n + a_1 \frac{n^2}{2} + a_2 \frac{n^3}{3} + a_3 \frac{n^4}{4}) C_{\text{вых}} = \\ R_H + R_M \cdot \left[a_1 \frac{t^2}{2} + a_2 \frac{t^3}{3} + a_3 \frac{t^4}{4} + (a_0 - Q_{\text{вх}}) t + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_3 \frac{n^4}{4} - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

При аппроксимации показателя функции (рис. 3,г) имеем:

$$\int_n^t f(x) dx = \int_n^t A e^{a_1 x} dx = A | a_1 e^{a_1 x} \Big|_n^t = A | a_1 (e^{a_1 t} - e^{a_1 n}) \quad (10)$$

Для поиска t с учетом формул (3,10) получаем показательное уравнение:

$$\begin{aligned} Q_{\text{вх}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - A | a_1 (e^{a_1 t} - e^{a_1 n}) C_B \\ = R_H + R_M \end{aligned} \quad (11)$$

Решения (3,7,11) целесообразно разрешать приближенным нерациональным методом [3,4,6].

Разрешение проблемы производим в два этапа:

- обозначаем через $\Phi(t)$ часть соответствующего уравнения. На первом этапе находим начальное приближение, для чего находим знак функции $\Phi(t)$ в точке « n ». Затем путями « n » находим значение функции $\Phi(t)$ в точке $h=n+jh$,

$j = 1, 2, \dots$, до тех пор, пока не будет достигнуто условие:

$$\text{sign } \Phi(t) = - \text{sign } \Phi(n) \quad (12)$$

За начальное приближение примем значение:

$$t_0 = t_1 - \frac{h}{2}$$

На втором этапе будем уточнять разрешение проблемы методом Ньютона [3,5] по формуле:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \frac{\Phi(t^{(m)})}{\Phi'(t^{(m)})}, \Phi'(t^{(m)}) \neq 0, m = 1, 2, \dots, \quad (13)$$

Для сравнения (7) формула (13) принимает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \left\{ \left[a_2 \frac{t^{(m)3}}{3} + a_1 \frac{t^{(m)2}}{2} + (a_0 - Q_{\text{вх}})t^m + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M \right\} / [a_2 t^{(m)2} + a_1 t^{(m)} + a_0 - Q_{\text{вх}}] C_n, \text{ при } m = 0,1 \quad (14)$$

Для сравнения (9) формула (14) принимает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - \left\{ \left[a_3 \frac{t^{(m)4}}{4} + a_2 \frac{t^{(m)3}}{3} + a_1 \frac{t^{(m)2}}{2} + (a_0 - Q_{\text{вх}})t^{(m)} + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - a_3 \frac{n^4}{4} - a_2 \frac{n^3}{3} - a_1 \frac{n^2}{2} - a_0 n \right] C_B + R_H + R_M \right\} / \left\{ [a_3 t^{(m)3} + a_2 t^{(m)2} + a_1 t^{(m)} + a_0 - Q_{\text{вх}}] C_B \right. \quad (15)$$

при m=0,1

На рис. 3 приведен график прогнозирования целесообразного срока эксплуатации изделия ГО и ТС - $Q = f(T)$, из которого следует, что функционально-техническое состояние изделий ГО и ТС напрямую зависит от прогнозирования

снижения потерь транспортируемого энергоносителя, которая происходит в результате износа прецизионных пар ТА и, соответственно, установления предельного срока эксплуатации изделий ГО и ТС.

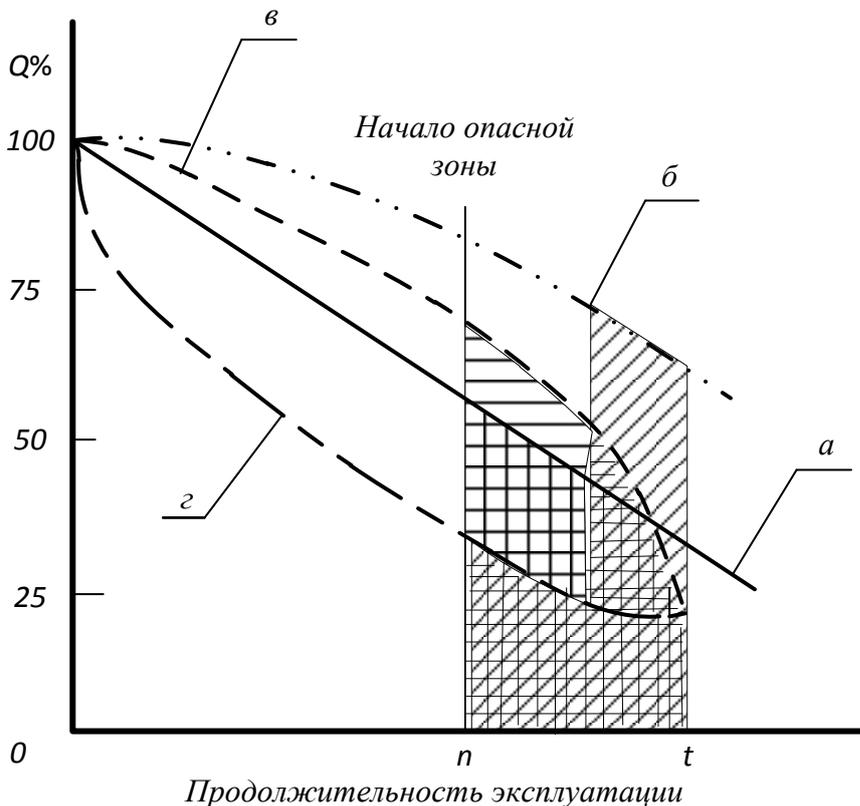


Рис. 3. График прогнозирования целесообразного срока эксплуатации ТА в ГО и ТС
 а – линейная; б – квадратная; в – кубическая; г – показательная аппроксимация функции.

- а) $Q = a_0 t a_1 t$
- б) $Q = a_0 t a_1 t + a_2 t^2$
- в) $Q = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$
- г) $Q = A e^{a_1 t}$

На основании графика прогнозирования целесообразного срока эксплуатации ТА в ГО и

ТС формула (1) может быть представлена в виде формулы(16)

$$B = \left[Q_{\text{вх}} t - \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - \int_n^t f(x) dx \right] C_B + R_H + R_M \quad (16)$$

После решения (9) и (13) формула (16) приобретает вид:

$$t^{(m+1)} = t^{(m)} - [(A/a_1 e^{a_1 t^{(m)}} - Q_{\text{вх}} t^{(m)} + \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t_i - A/a_1 e^{a_1 t^{(m)}}) C_B + R_H + R_M] / [A e^{a_1 t^{(m)}} - Q_{\text{вх}}] C_n, \text{ при } m = 0, 1$$

На рис. 4 приведен пример графического определения целесообразной продолжительности эксплуатации изделий ГО и ТС, который показывает, что использование карбидокремни-

евой смеси при финишных технологических операциях обработки прецизионных пар ТА позволяет существенно увеличить срок целесообразной эксплуатации изделий ГО и ТС.

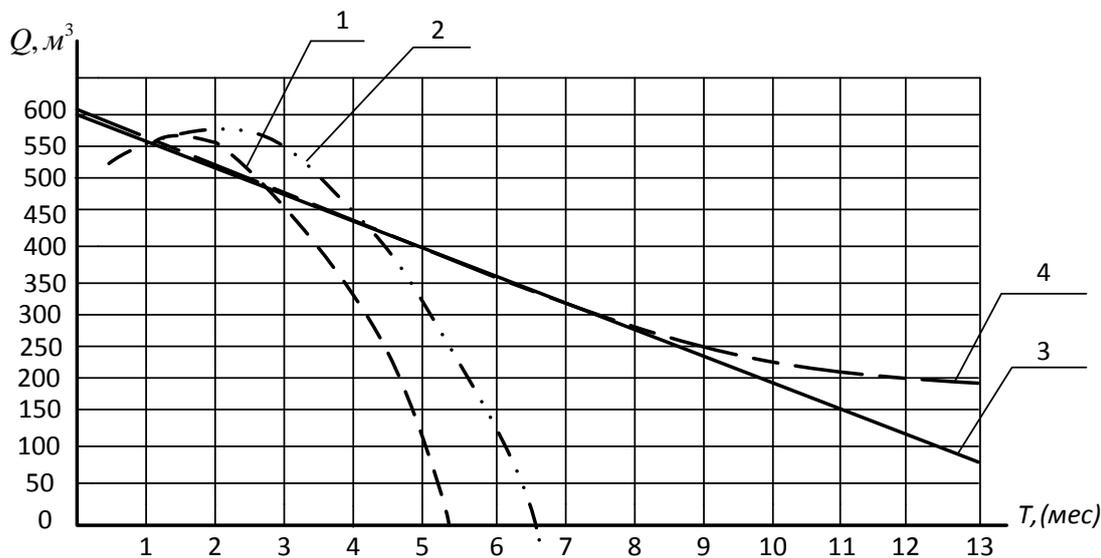


Рис. 4. Пример графического определения целесообразной продолжительности эксплуатации ТА в ГО и ТС

1.- алмазной смесью; 2.- карбидобаровой смесью; 3.-электрокорундовой смесью; 4.-карбидокремниевой смесью

При этом предполагаемые потери транспортируемого энергоносителя в математическом выражении при использовании различных вспомо-

могательных материалов при финишных операциях обработки прецизионных пар ТА могут быть представлены формулами (17):

$$\begin{aligned} Q_1 &= -0,7245 \cdot T + 1224,8648 \\ Q_2 &= -0,0498 \cdot T^2 + 2,52T + 1130,7200 \\ Q_3 &= -0,0006 \cdot T^3 + 0,0401 \cdot T^2 - 1,5352 \cdot T + 1175,9160 \\ Q_4 &= 1234,6756 \cdot e^{-0,0026T} \end{aligned} \tag{17}$$

Выводы.

1. В процессе эксплуатации изделий ГО и ТС, как правило, происходит износ их трущихся поверхностей под влиянием технологической наследственности.

2. Срок целесообразной эксплуатации изделий ГО и ТС можно определить путем прогнозирования их функционально-технического состояния.

3. Наиболее удобным вариантом прогнозирования функционально-технического состояния изделий ГО и ТС является вариант, при котором в случае квадратичной, кубической показательных функций моделирования условий транспортирования энергоносителя решение находится методом итераций.

4. Для определения целесообразного срока эксплуатации изделий необходимо за определенный промежуток времени рассчитать разницу объемов транспортируемого энергоносителя на входе и выходе из ГО и ТС.

5. На примере ТА вследствие износа ее запорной части разработан укрупненный алгоритм функционально-технического состояния изделий ГО и ТС и приведена математическая модель прогнозирования их целесообразного срока эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубопроводный транспорт нефти С.М. Вайншток, В.В. Новоселов, А.Д. Прохоров и др. – Е. 2. М. 2004. 209с.

2. Капцов И.И. Сокращение потерь газа на магистральных газопроводах. М.: Недра, 1988. 160с.

3. Кузьмин И.В. Основы моделирования сложных систем. К.: Вища школа., 1981. 360с.

4. Рыжов Э.В. Технологическое управление геометрическими параметрами контактирующих поверхностей. – В КН.: Расчетные методы оценки трения и износа. Брянск, 1975. 98-138с.

5. Бронштейн Н.Н., Сепедяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. М., Л.: ОГИЗ 1948.- 554с.

6. Miroshnik M.A., Kotukh V.G., Selevko S.N. Application of Software Complex for Query Processing in the Database Management System with a View of Dispatching Problem Solving in Grid Sistem. – Telecommunications and Radio Engineerings. Volume 72, number 10, 2013. p. 875-893.