

УДК 621.643.622

АЛГОРИТМ ГРУППИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ НЕФТЕПРОВОДОВ В СТРАТЕГИИ ПРИОРИТЕТНОГО РЕМОНТА

А. С. ШАГИНЯН, А. Б. ВЕРИГО

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь*

В настоящее время условия функционирования большинства нефтепроводов характеризуются:

- продолжительным сроком службы, что определяет старение металла и защитных покрытий;
- образованием новых и развитием имеющихся дефектов в трубопроводах;
- повышением требований по экологической безопасности;
- значительной стоимостью материалов, механизмов и оборудования для работ по капитальному ремонту трубопроводов.

В сложившейся ситуации принятие срочных мер по предупреждению отказов трубопроводов, с обеспечением при этом экономии финансовых и материальных ресурсов, может быть осуществлено путем проведения оптимально комплекса диагностических обследований, определения параметров работоспособности трубопровода и своевременным проведением ремонтных работ. При этом возникает задача установления критериев приоритетного (первоочередного) ремонта, разработки алгоритма и автоматизированной системы для группирования дефектов по зонам ремонта.

Принятый сегодня подход определения класса потенциально опасных дефектов основан на сравнении плотностей дефектов по длине магистрального трубопровода и выделении участков трубопровода с наибольшей плотностью дефектов [1]. С этой точки зрения наиболее эффективным является организация ремонта с целью одновременного, в зоне действия ремонтной бригады, устранения максимального числа дефектов. При таком алгоритме все дефекты являются равноопасными вне зависимости от их вида, параметров и места дислокации. Очевидно, что такая формулировка не является достаточно полной, так как установление иерархии по степени необходимости устранения дефектов происходит только по одному признаку – их плотности. Реально дефекты относятся к различным видам (коррозия, трещины, участки предыдущего ремонта, деформации и пр.), имеют различные геометрические параметры (длина, глубина, форма), расположены на различных участках трубопровода (до и после насосной станции, у экологически важных объектов и др.). В настоящей работе изложен алгоритм разбиения дефектов по группам (алгоритм кластеризации) с учетом вышеуказанных признаков.

Основными исходными параметрами являются координаты дефектов – x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$. N – число дефектов на участке L), полученные в ходе внутритрубной диагностики, их вид – α_{ij} ($j = 1, 2, \dots, M$. M – число видов дефектов), параметры – β_{ijk} ($k = 1, 2, \dots, K$. K – число видов дефектов), функции опасности внешних признаков – $W_q(x_i)$ ($q = 1, 2, \dots, S$. S – число учитываемых внешних ограничителей).

К техническим ограничениям отнесены: протяженность ремонтного участка – L_0 , максимальное число дефектов в одном кластере – Q_C , коэффициент экстремальности дефектов – $K_{\mathcal{E}}$, I – число циклов итерации вычислительного процесса.

На первоначальном этапе формируется гистограмма распределения дефектов по длине трубопровода. Число интервалов группирования выбирается из условия [2]:

$$K_{zp} \geq 4 + 3,32 \cdot \lg N. \quad (1)$$

Дискрет по x для гистораммы

$$\Delta x = \min\left(\frac{L}{K_{zp}}; \frac{L_0}{Q}\right), Q \geq 3. \quad (2)$$

Для реальных трубопроводов с очень большим числом дефектов L $\Delta x = L_0/Q$. Центры интервалов $x_{C_m} = \frac{2m-1}{2} \cdot \Delta x$, $m = 1, 2, \dots, K_{zp}$. Принадлежность дефекта к интервалу с номером m :

$$\begin{aligned} x_i \in C_m &= [(m-1) \cdot \Delta x, mx] \forall |x_i - x_{C_m}| < |x_i - x_{C_k}| \\ m, k &= 1, 2, \dots, K_{zp}, m \neq k; |x_i - x_{C_m}| \leq \frac{\Delta x}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Число дефектов на m -ом интервале N_m определяет относительную плотность их на этом интервале $P_m = \frac{N_m}{N}$ и критерий превышения этой плотности над средней плотностью дефектов $\bar{p} = \frac{N}{K_{zp}}$; $\gamma_m = \frac{P_m}{\bar{p}}$.

Гистограмма является первым этапом кластеризации и позволяет установить центры кластеров как области максимальных γ_m . Упрощение условия (2) до вида $\Delta x = L_0$, $K_{zp} = \frac{L}{L_0}$ и последующее выполнение группирования по признаку (3) и является, фактически, сутью принятого в АК «Транснефть» алгоритма ISODATA [1].

В предлагаемом алгоритме для каждого x_i определяется коэффициент снижения рабочего давления в трубопроводе при наличии дефекта $K_{pi} = K_{pi}(\alpha_{ij}, \beta_{ijk})$ для разделяемых дефектов и $K_{pi} = \prod_{j=1}^{M_1} K_{pi}(\alpha_{ij}, \beta_{ijk})$ для неразделяемых M_1 дефектов. Для каждого вида дефектов функциональная зависимость имеет свой вид. Например, при точечной коррозии (рис. 1) согласно [3]:

$$K_{pi} = \left(\frac{1 - \frac{2d_i/t}{3}}{1 - \frac{\frac{2d_i/t}{3}}{\sqrt{1 + A_i^2}}} \right)^{-1}, \quad A_i = \frac{0.893 \cdot L_i}{\sqrt{D \cdot t}}, \quad (4)$$

где D, t – диаметр и толщина стенки трубопровода; L_i – длина дефекта; d_i – глубина дефекта.

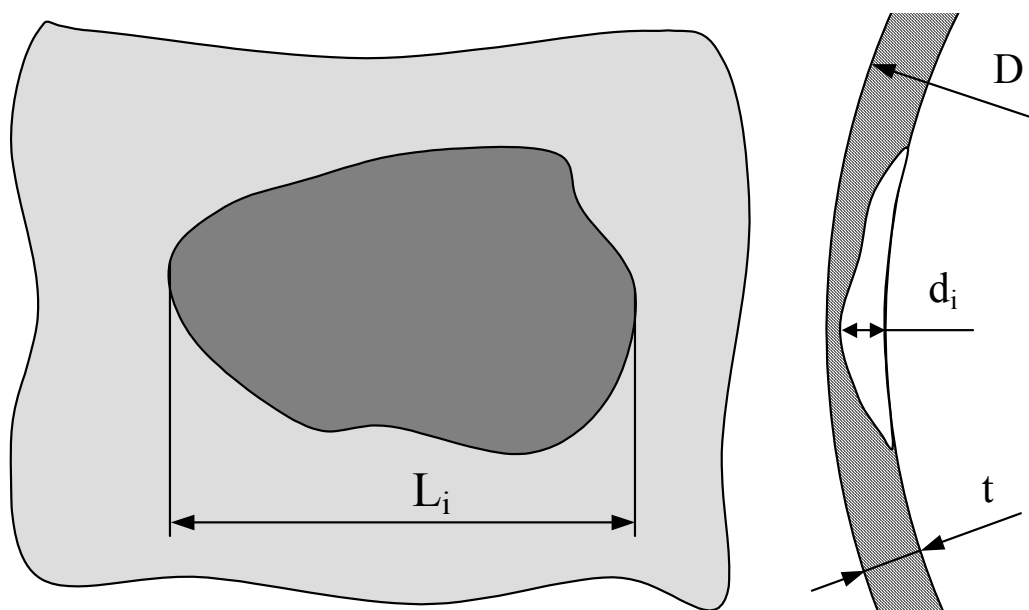


Рис. 1. Дефект вида точечной коррозии

Для каждой группы первичного кластеризования определяем среднее значение коэффициента снижения давления

$$K_{pm} = \sum_{i=1}^{N_m} K_{pi} / N_m \quad (5)$$

и выделяем экстремальные дефекты по критерию $K_{pi} > K_{\text{г}}$, требующие первоочередного устранения во множестве $x_{\text{г}}$.

Следующий шаг алгоритма состоит в расчете взвешенного значения K'_{pm} , учитывающего внешние факторы (экологические требования, время эксплуатации участков трубопровода и др.):

$$K'_{pm} = K_{pm} \cdot \sum_{q=1}^S W_q(x_{C_m}). \quad (6)$$

Измененная гистограмма с учетом (6) имеет новые значения по оси ординат:

$$\gamma' = \frac{K'_{pm} \cdot \gamma_m}{\sum_{m=1}^{K_{zp}} K'_{pm} \cdot \gamma_m}. \quad (7)$$

Основная задача алгоритма состоит в группировании соседних интервалов до кластеров размером, равным длине ремонтного участка L_0 , с исключением групп, имеющих значение γ_m существенно ниже среднего по трубопроводу:

$$\bar{\gamma}'_m = \sum_{m=1}^{K_{zp}} \gamma'_m / K_{zp}.$$

$$C_m : \gamma'_m < Q_1 \cdot \bar{\gamma}'_m, Q_1 < 1, C_m \cap x_{\mathcal{E}} = 0 \Rightarrow C_{m+1} \rightarrow C_m$$

$$K_{zp} \rightarrow K_{zp} - K_e, \quad (8)$$

где K_e – число устраненных кластеров за один шаг итерации. При этом кластера с экстремальными дефектами не ликвидируются.

Объединение кластеров начинается с вычисления расстояния между всеми парами центров групп:

$$D_{jk} = |x_{C_j} - x_{C_k}|$$

$$j = 1, 2, \dots, N_{m-1}; \quad k = j + 1, \dots, N_m \quad (9)$$

и сравнения этих расстояний по признаку компактности:

$$C_m : \forall D_{jk} < L_0 \Rightarrow D_{jk}^1 < D_{jk}^2 < \dots < D_{jk}. \quad (10)$$

Кластеры с центрами x_{C_j} и x_{C_k} объединяются и новый кластер имеет координату центра:

$$x'_C = \frac{1}{N_j + N_k} (N_j Z_{C_j} + N_k Z_{C_k})$$

$$x'_C \rightarrow x_{C_j}; \quad x_{C_{j+2}} \rightarrow x_{C_j}; \quad K_{zp} = K_{zp} - 1. \quad (11)$$

С этого шага происходит следующая итерация возвратом вычислительного алгоритма к (5). По завершению I итерации рассчитываются параметры кластеров:

– среднее расстояние до дефектов от центра кластера:

$$Dx_m = \frac{1}{N_m} \sum_{x_i \in C_m} |x_i - x_{C_m}|; \quad (12)$$

– среднеквадратичное отклонение дефектов от центра кластера:

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{N_m} \sum_{x_i \in C_m} (x_i - x_{C_m})^2}; \quad (13)$$

– обобщенное среднее расстояние по всем кластерам:

$$DC = \frac{1}{N_C} \sum_{m=1}^{N_c} Dx_m . \quad (14)$$

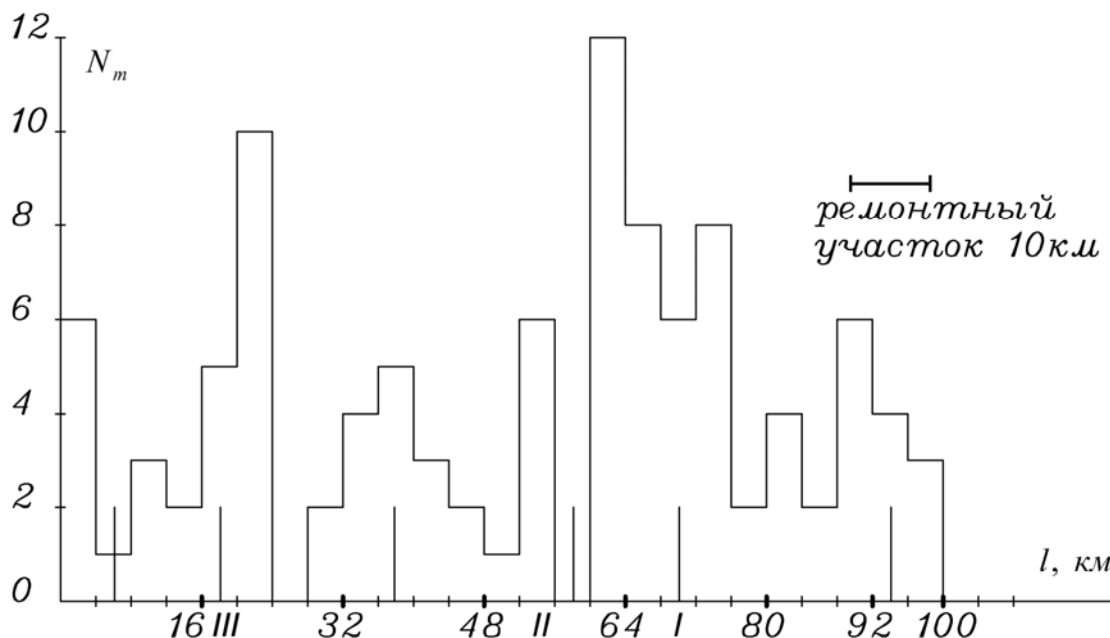
Параметры (12-14) являются исходными при расчете стоимостных характеристик ремонта.

Стандартная процедура сортировки полученных кластеров по убыванию γ'_m устанавливает для них очередность ремонта.

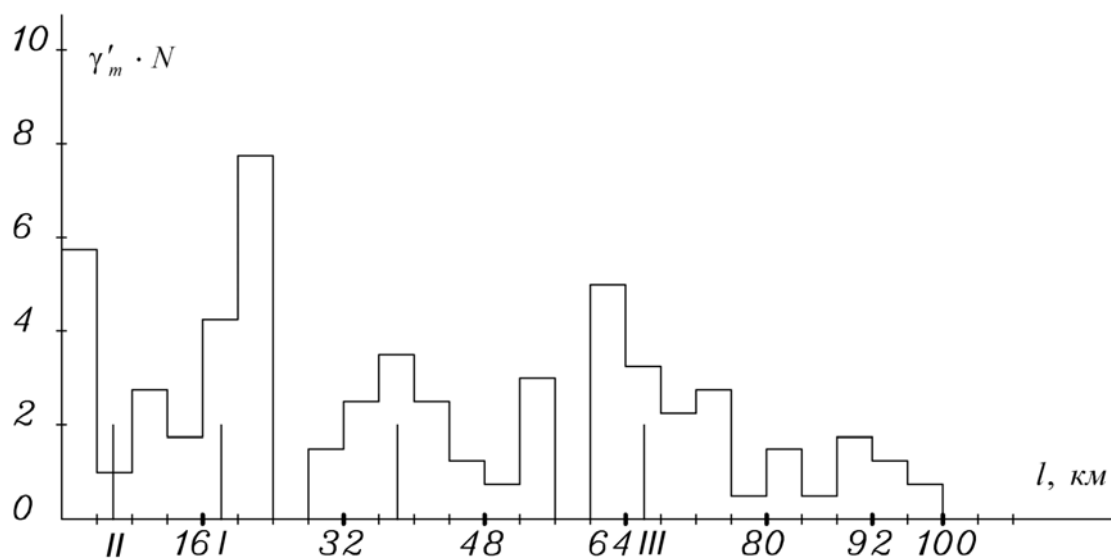
На рисунке 2 приведены результаты расчетов по данному алгоритму для модельного трубопровода с параметрами: $L = 100\text{км}$, $L_0 = 12\text{км}$, $K_{cp} = 25$, $K_{pi} = 1$, $x_{\text{э}} = 0$, $M = 1$, $Q = 3$

- а) по алгоритму ISODATA [1];
- б) по предлагаемому алгоритму с учетом линейного гидравлического уклона вдоль трубопровода $W_1(x) = 1 - \frac{1-\alpha}{L}x$, где α – отношение давлений на выходе $P(L)$ и на входе $P(0)$;
- в) по предлагаемому алгоритму с учетом б) и функции экологической безопасности:

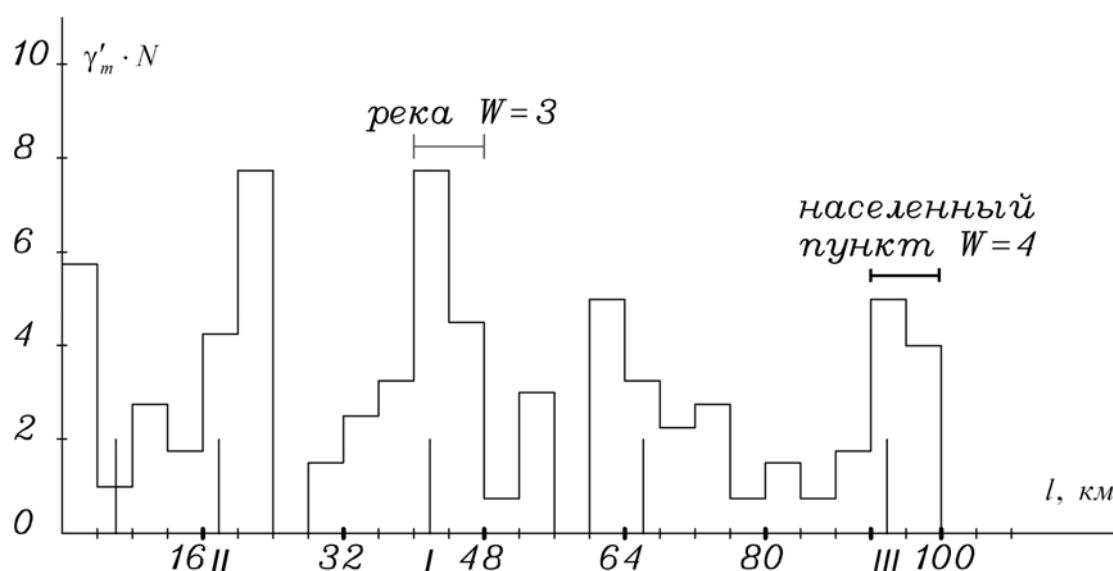
$$W_2(x) = \begin{cases} 3 & 40 \leq x \leq 48 \\ 4 & 92 \leq x \leq 100 \\ 0 & \text{другие } x \in [0, L]. \end{cases} \quad (15)$$



а)



б)



в)

Рис. 2. Группирование дефектов по ремонтным участкам I, II, III – очереди ремонта: а) плотность распределения дефектов и кластеризация по [1]; б) уточненная кластеризация с учетом гидравлического уклона; в) уточненная кластеризация с учетом экологических требований

На всех рисунках приведены гистограммы первоначального группирования и центры кластеров, полученных после завершения $I = 5$ итераций расчета. В первом случае приоритетных кластеров оказалось шесть с расположением первых трех в точках с координатами $x_C = 70; 58$ и 18 км, соответственно. Во втором случае кластер первоочередного ремонта имеет центр в точке $x_C = 18$ км, ремонта второй очереди – $x_C = 6$ км, третьей $x_C = 68$ км, а всего приоритетных кластеров – четыре. Учет экологических требований в соответствии с (15) дает пять

приоритетных кластеров и первые три имеют координаты 42, 18, 94 км, соответственно.

Таким образом, учет вида и параметров дефектов и внешних признаков приводит к существенным изменениям в определении наиболее опасных участков трубопровода, требующих первоочередного ремонта.

Предложенный алгоритм разбиения дефектов на группы отражает реальную ситуацию в той мере, в которой на основании опыта приняты во внимание факторы, определяющие безопасность трубопровода. Алгоритм не требует изменений при необходимости расширения множеств таких факторов. Алгоритм дает обоснование решения о местах расположения первоочередных ремонтных участков и их иерархии по степени важности.

Литература

1. Лисин Ю.В. и др. Построение алгоритма группирования дефектов по длине трубопровода при формировании плана капитального ремонта //Трубопроводный транспорт нефти.- 2000.- № 3.- С. 32-34.
2. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем.- Минск: Дизайн Про, 1997.- 640 с.
3. Zahoor A. «Closed form expressions for fracture mechanics analysis of cracked pipes. Trans. ASME», J.Press. Vessel Techn., May 1985, vol.107, pp. 203-205.

Получено 16.11.2000 г.