

УДК 622.692.4

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛОИНФОРМАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

¹Сайфутдинов А.И., ^{2,3}Ямалетдинова К.Ш., ¹Янчушка А.П.

¹ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
Уфа, e-mail: korobkov45@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск;

³АН РБ «Центр нефтегазовых технологий и новых материалов» ГАНУ ИСИ РБ, Уфа

В настоящей статье рассматриваются принципы совершенствования оценки технического состояния малоинформативных объектов на примере подводного перехода магистрального нефтепровода. Точная оценка технического состояния подводного перехода необходима и для текущего момента и прогнозирования следующего обследования, а также остаточного ресурса работы подводного перехода. Показаны достоинства и недостатки академических полных математических, полуэмпирических и эмпирических индивидуальных моделей для оценки технического состояния объекта. Предложен новый научно-методический принцип формирования информационно-аналитической системы, который позволит создавать эмпирические индивидуальные математические модели для каждого подводного перехода взамен традиционно используемых полуэмпирических моделей, что позволит существенно повысить точность оценки технического состояния объекта и сократить расходы на техническое обслуживание и ремонт. Для реализации этого принципа предлагается использовать метод кластерного анализа, достоинством которого является тот факт, что он работает даже тогда, когда данных мало и не выполняются требования нормальности распределения случайных величин и другие требования классических методов статистического анализа. Разработана модель обработки информации по результатам обследования технического состояния подводного перехода в процессе кластеризации. Она решает задачи выбора целевого кластера, анализ достоверности результатов оценки технического состояния подводных переходов на различных этапах жизненного цикла и формирования рекомендаций по составу и срокам проведения технического обслуживания и ремонтно-восстановительных работ. Рассмотрен один из возможных вариантов повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта подводных переходов посредством снижения погрешности расчетов результатов прогнозирования. Предложен оптимальный путь к улучшению качества прогнозирования (снижение величины погрешности результатов расчетов) – разработка эмпирических моделей для групп подводных переходов с близкими по величине входными параметрами.

Ключевые слова: оценка, техническое состояние, подводный переход, модель, метод, кластер, ресурс, погрешность, ремонт

TO THE PROBLEM OF TECHNICAL CONDITION ASSESSMENT UNINFORMATIVE OBJECTS

¹Sayfutdinov A.I., ^{2,3}Yamaletdinova K.Sh., ¹Yanchushka A.P.

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, e-mail: korobkov45@mail.ru;

²Chelyabinsk State University, Chelyabinsk;

³AS RB 'Centre of Oil and Gas Technologies and New Materials' SASU ISI RB, Ufa

This article discusses the principles of improving the assessment of the technical condition of uninformative objects on the example of the underwater crossing of the oil trunk pipeline. An accurate assessment of the technical condition of the underwater transition is necessary for the current moment and to predict the next survey, as well as the residual life of the underwater transition. The advantages and disadvantages of academic full mathematical, semi-empirical and empirical individual models for assessing the technical condition of the object are shown. A new scientific and methodological principle of formation of information and analytical system is proposed, which will allow to create empirical individual mathematical models for each underwater transition instead of the traditionally used semi-empirical models, which will significantly improve the accuracy of the assessment of the technical condition of the object and reduce the cost of maintenance and repair. To implement this principle, it is proposed to use the method of cluster analysis, the advantage of which is the fact that it works even when there is little data and the requirements of the normality of the distribution of random variables and other requirements of classical methods of statistical analysis are not met. A model of information processing based on the results of the survey of the technical condition of the underwater transition in the process of clustering is developed. It solves the problem of selecting the target cluster, the analysis of the reliability of the results of the assessment of the technical condition of underwater crossings at different stages of the life cycle and the formation of recommendations on the composition and timing of maintenance and repair work. One of possible variants of increase of efficiency of system of maintenance and repair of underwater transitions by means of decrease of error of calculations of results of forecasting is considered. The optimal way to improve the quality of forecasting (reduction of the error of the calculation results) – the development of empirical models for groups of underwater transitions with similar input parameters.

Keywords: assessment, technical condition, underwater transition, model, method, cluster, resource, error, repair

Качество оценки технического состояния (ОТС) любого объекта в деятельности специалиста является интегральным требованием, объединяющим использование процессных характеристик. Проблема повышения качества и точности оценки

технического состояния всегда актуальна, начиная с самого человека (в медицине) и продолжая во всех видах его деятельности. Особенной остротой отличается эта задача при эксплуатации пожаровзрывоопасных объектов, информация о которых ограничена [1]. Характерным примером подобного объекта является подводный переход магистрального нефтепровода [2].

Точная оценка технического состояния подводного перехода (ОТС ПП) необходима и для текущего момента и прогнозирования следующего обследования, а также остаточного ресурса работы подводного перехода.

В зависимости от результатов ОТС ПП принимаются решения о сроке и об объеме следующего обследования, по виду необходимого технического обслуживания и ремонта (ТОР), по остаточному ресурсу ПП и его замене. Точное определение вышеуказанных характеристик, в основе которого лежит использование достоверных математических моделей, позволяет существенно сократить расходы на ТОР при обеспечении достаточного уровня надежности ПП. Достоверность результатов применения базовых моделей, в свою очередь, зависит от качества исходной информации, от возможности самой модели наиболее полного учета реальных условий эксплуатации подводного перехода [3].

Цель исследования: разработка модели обработки информации по результатам обследования технического состояния подводного перехода в процессе кластеризации для повышения точности оценки технического состояния объекта.

Материалы и методы исследования

Традиционные этапы планирования системы технического обслуживания и ремонта перехода нефтепровода можно изложить в следующей последовательности:

а) вначале на основе многочисленных теоретических и экспериментальных исследований условий эксплуатации и изменения характеристик технического состояния подводных переходов разрабатывается полная академическая фундаментальная общая математическая модель оценки ТС ПП, содержащая некий ряд составляющих;

б) используя некоторые постоянные коэффициенты, данная общетеоретическая модель ТС ПП адаптируется к конкретному объекту, т.е. переходят к так называемой полуэмпирической модели ТС ПП;

в) на заключительном этапе, на основе использования полученной полуэмпириче-

ской модели, осуществляют планирование ТОР ПП: определяют перечень, сроки и объемы соответствующих технических и организационно-технических мероприятий.

К достоинству полуэмпирических моделей следует отнести выявление наиболее влияющих факторов, действующих в данной технико-экономической задаче. Однако очень существенны их недостатки:

1) определяется широкий диапазон значений параметров безопасной эксплуатации;

2) соответственно, принимаются очень высокие коэффициенты запаса, что влечет за собой большие, чем могли бы быть, затраты на ТОР.

Предлагается новый научно-методический принцип формирования информационно-аналитической системы, который позволит создавать эмпирические индивидуальные модели для каждого подводного перехода взамен традиционно используемых полуэмпирических моделей, что позволит существенно сократить расходы на ТОР.

Вероятно, в рамках реализации этого принципа возможны различные решения, но в данной статье предлагается использовать метод кластерного анализа (кластеризации).

Решаемая в статье техническая задача с теоретической точки зрения относится к тому классу задач, где применим многомерный статистический анализ. Достоинством кластерного анализа является тот факт, что он работает даже тогда, когда данных мало и не выполняются требования нормальности распределений случайных величин и другие требования классических методов статистического анализа [4, 5].

Несмотря на различия в целях, типах данных и примененных методах, все исследования, использующие кластерный анализ, характеризуют следующие пять основных шагов:

1) отбор выборки для кластеризации;

2) определение множества признаков, по которым будут оцениваться объекты в выборке;

3) вычисление значений той или иной меры сходства между объектами;

4) применение метода кластерного анализа для создания групп сходных объектов [6];

5) проверка достоверности результатов кластерного решения.

Каждый из перечисленных шагов играет существенную роль при использовании кластерного анализа и прикладном анализе данных.

Использование кластер-анализа для решения данной задачи наиболее эффективно. В данном случае кластер-анализ предназначен для объединения подводных переходов в классы (кластеры) таким образом, чтобы в один класс попадали максимально схожие, а ПП различных классов максимально отличались друг от друга. Количественный показатель сходства рассчитывается заданным способом на основании данных, характеризующих ПП [7]. Таким образом, в данной статье под кластеризацией понимается группировка (разбиение множества ПП) на непересекающиеся подмножества (кластеры), состоящие из схожих переходов [8]. Под схожие (сходством) понимается незначительное отличие (по величине) входных параметров, используемых в процессе прогнозирования технического состояния ПП.

Предлагаемая модель обработки информации в информационно-аналитической системе «Подводные переходы» (ИАСПП) приведена на рис. 1. Она решает задачи выбора целевого кластера, анализ достоверно-

сти результатов оценки технического состояния подводных переходов на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) и формирования рекомендаций по составу и срокам проведения ТОР, ремонтно-восстановительных работ (РВР).

Обработка информации по результатам обследований технического состояния ПП выполняется в три этапа:

1) на этапе «Выбор целевого кластера обработки информации» формируется выборка ИАСПП (так называемая целевая выборка), необходимая для формирования заключения о перспективах дальнейшей эксплуатации обследуемого ПП, основанного на формализованном опыте эксплуатации ПП. В выборку объединяются расчетные параметры дефектов, обнаруженных на ПП, которые «близки» по технологии сооружения, длительности и условиям эксплуатации [9];

2) на этапе «Анализ достоверности результатов ОТС» отфильтровываются «грубые промахи» информации, полученной при обследованиях технического состояния целевой выборки.

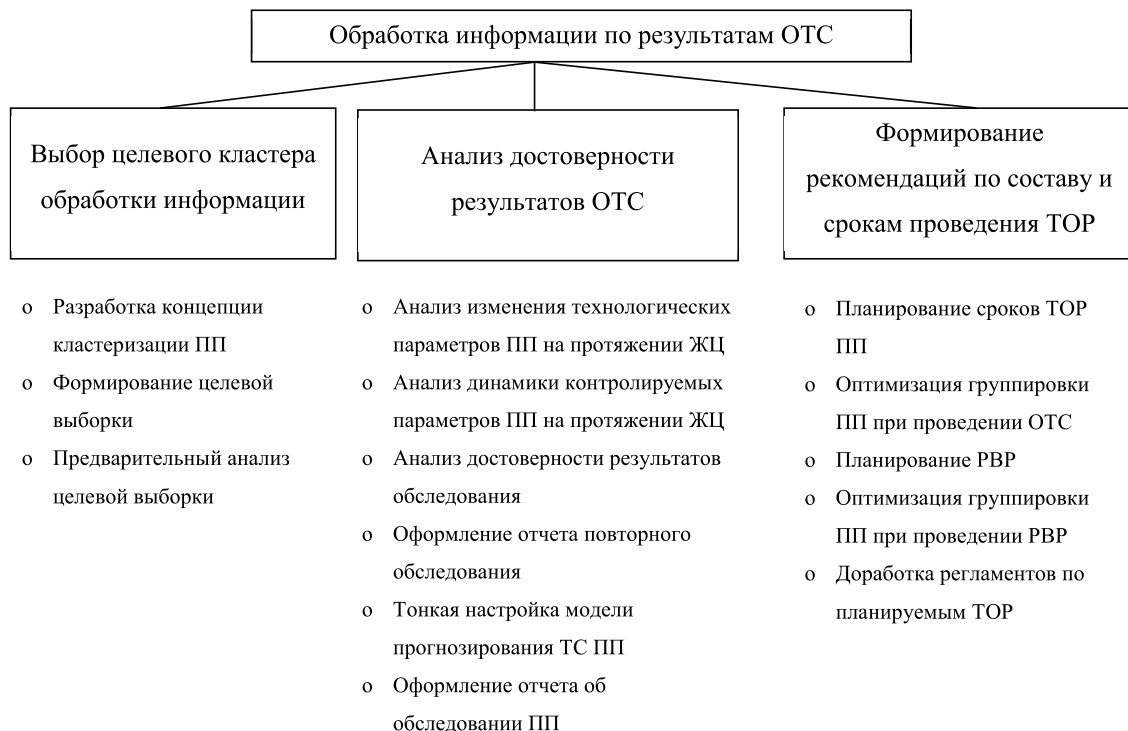


Рис. 1. Модель обработки информации по результатам обследования технического состояния ПП в процессе кластеризации

Периодичность обследований технического состояния ПП определяется действующими нормативными документами ПАО Транснефть [10–12], которые регламентируют сроки проведения обследований, их содержание, используемую измерительную аппаратуру и оформление результатов обследований;

3) процесс формирования выводов и рекомендаций по результатам, по составу и срокам проведения ТОР, обследований оформляется в соответствии с нормативными документами. Указанная документация архивируется и хранится на протяжении всего жизненного цикла каждого ПП системы нефтепроводного транспорта России.

В настоящее время часть этой информации оцифрована и используется для изучения и обобщения опыта эксплуатации ПП. На основании этого анализа разрабатываются планы НИОКР, целью которых является повышение эффективности эксплуатации ПП.

В системе комплексной ОТС ПП составными элементами являются оценки коррозионной и малоцикловой усталости ПП, способные привести к разгерметизации трубопровода. Проведенный анализ показал, что доступное в настоящее время качество результата трудно назвать высоким [10], поскольку модели, используемые при прогнозировании технического состояния ПП, связаны с рядом причин, повлиять на которые невозможно.

Рассмотрим и попытаемся изменить модели прогнозирования технического состояния ПП в контексте возможностей, до-

ступных при использовании современных информационных технологий [5].

Выше уже подчеркивалось, что при разработке заключения о техническом состоянии ПП по результатам обследований используются полуэмпирические модели коррозионной и малоцикловой усталости, которые с определенным уровнем приближения адаптируют академические модели к конкретной предметной области (в данном случае к прогнозированию остаточного ресурса тела трубы подводного перехода при воздействии коррозии и/или малоцикловой усталости).

В проведенном анализе научно-технической литературы по указанной проблеме отмечено, что относительная погрешность результатов расчетов может достигать более 1000%, что, в значительной степени, обусловлено спецификой полуэмпирических моделей, в частности, при создании подобных моделей используются максимально возможные диапазоны варьирования входных величин.

Следует отметить, что традиционно используемое в механике разрушения понятие «критический размер трещины» к магистральному трубопроводу неприменимо, так как существующие нормативы в системе магистрального транспорта углеводородов не допускают разгерметизации трубопровода. Поэтому основной целью прогнозирования малоцикловой усталости ПП является предотвращение утечек перекачиваемого продукта, т.е. критическим считается такой размер усталостной трещины, при котором ее глубина достигает толщины стенки трубы на рассматриваемом участке.

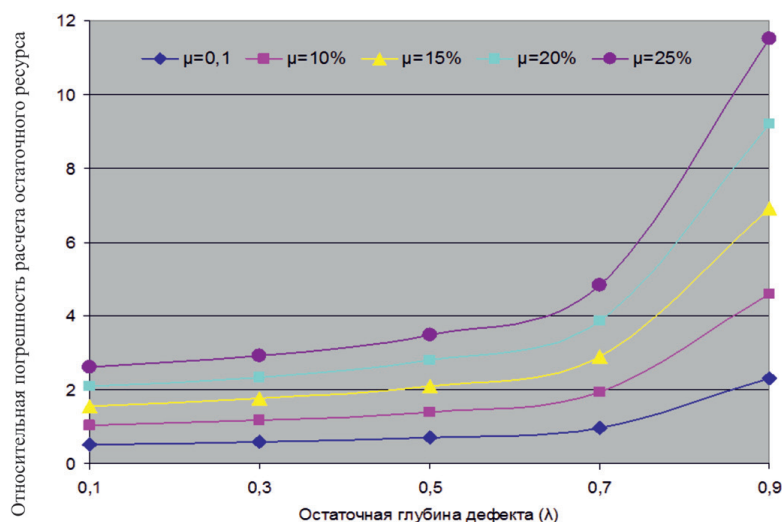


Рис. 2. Влияние приведенной погрешности μ входных величин на относительную погрешность расчета остаточного ресурса ПП при остаточной глубине дефекта $\epsilon \in (0,1; 0,9)$

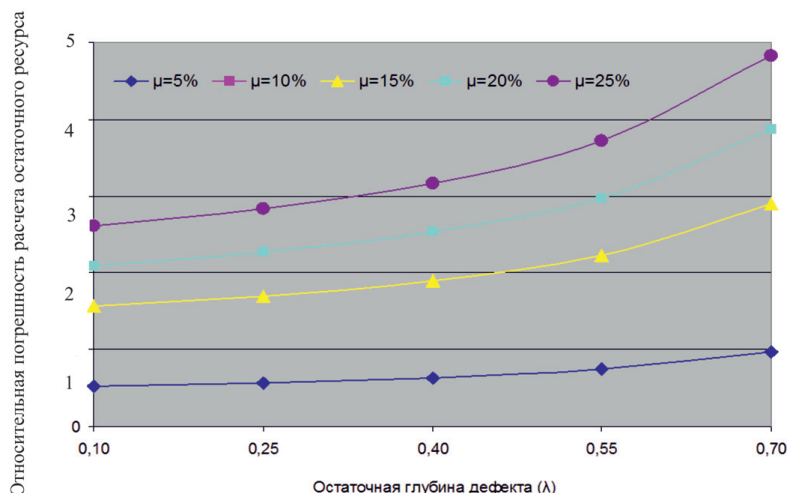


Рис. 3. Влияние приведенной погрешности μ входных величин на относительную погрешность остаточного ресурса ПП при остаточной глубине дефекта $\in (0,1; 0,7)$

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 2 и 3 приведены результаты расчетов, иллюстрирующих один из возможных вариантов повышения эффективности системы ТОР подводных переходов, посредством снижения погрешности расчета результатов прогнозирования. В частности, расчеты показывают, что, например, уменьшение нормируемого параметра «остаточная глубина дефекта» с величины 0,9 до 0,7 (приблизительно на 20%) почти в четыре раза снижает относительную погрешность прогноза (приблизительно на 400%).

Учитывая эти результаты, за основу принимается следующий постулат: «Оптимальный путь к улучшению качества прогнозирования (снижения величины погрешности результатов расчетов) – разработка эмпирических моделей для групп подводных переходов с близкими по величине входными параметрами». Выше эта группа ПП была определена как «целевая выборка». Такой подход возможен при наличии существующего (весьма значительного) опыта эксплуатации подводных переходов, реализованного и документированного в форме «результатов обследований технического состояния подводных переходов» [13], что и позволяет существенно улучшить (в несколько раз) качество прогнозов безопасной эксплуатации ПП.

Выводы

Таким образом, предложена модель концепции повышения эффективности эксплуатации подводных переходов (рис. 1),

соответствующая современному уровню развития технической науки и вычислительной техники. Под эффективностью эксплуатации понимается достижение необходимого уровня надежности ПП с минимальными затратами.

Список литературы / References

1. Халимов А.Г., Зайнуллин Р.С., Халимов А.А. Техническая диагностика и оценка ресурса нефтегазохимического оборудования: учеб. пособие. СПб.: Недра, 2012. 568 с.
Khalimov A.G., Zajnullin R.S., Khalimov A.A. Technical diagnostics and resource assessment of petrochemical equipment: textbook. SPb.: Nedra, 2012. 568 p. (in Russian).
2. Кульбей А.Г. Разработка методики оценки технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов Беларуси: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2009. 22 с.
Kulbey A.G. Development of a methodology for assessing the technical condition of underwater crossings of trunk pipelines in Belarus: autoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 2009. 22 p. (in Russian).
3. Сайфутдинов А.И., Коробков Г.Е. Безаварийная эксплуатация подводных переходов МНП // Neftegaz.RU. 2018. № 12. С. 48–51.
Sajfutdinov A.I., Korobkov G.E. Trouble-free operation of underwater crossing of the oil trunk pipeline // Neftegaz.RU. 2018. № 12. P. 48–51 (in Russian).
4. Бучацкая В.В., Бучацкий П.Ю., Гушин К.А. Программное приложение кластеризации данных // Системный администратор. 2017. № 1–2. С. 170–171.
Buchatskaya V.V., Buchatsky P.Yu., Gushchin K.A. Software application for data clustering // Sistemnyy administrator. 2017. № 1–2. P. 170–171 (in Russian).
5. Алетдинова Т.А. Бенчмаркинг сайтов на основе кластерного анализа // Форум молодых учёных. 2017. № 1 (5). С. 26–28.
Aletdinova T.A. Benchmarking sites based on cluster analysis // Forum molodykh uchonykh. 2017. № 1 (5). P. 26–28 (in Russian).
6. Низамутдинова Р.И. Система поддержки принятия коллективных решений при управлении взаимодействующими деловыми процессами в промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2011. 22 с.

Nizamutdinova R.I. A collective decision support system for managing interacting business processes in industry: autoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Ufa, 2011. 22 p. (in Russian).

7. Диденко Д.А. Кластерный анализ и направления его использования // Теория и практика современной науки. 2015. № 6 (6). С. 360–364.

Didenko D.A. Cluster analysis and directions of its use // Teoriya i praktika sovremennoy nauki. 2015. № 6 (6). P. 360–364 (in Russian).

8. Маркова Е.С. Кластеризация как фактор инновационного развития региона // Социально-экономические явления и процессы. 2013. № 12 (058). С. 87–89.

Markova E.S. Clustering as a factor of innovative development of a region // Sotsial'no-ekonomicheskiye yavleniya i protsessy. 2013. № 12 (058). P. 87–89 (in Russian).

9. Сайфутдинов А.И., Коробков Г.Е. К проблеме расчета остаточного ресурса длительно эксплуатируемых подводных переходов магистральных нефтепроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. № 5. С. 24–27.

Sajfutdinov A.I., Korobkov G.E. To the problem of calculating the residual life of long-running underwater crossings of

main oil pipelines // Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya. 2017. № 5. P. 24–27 (in Russian).

10. ОР-75.200.00-КТН-231-16. Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Порядок технической эксплуатации переходов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов через водные преграды и малые водотоки, 2016. 289 с.

11. РД-75.200.00-КТН-012-14 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Переходы магистральных трубопроводов через водные преграды. Нормы проектирования, 2014. 193 с.

12. ОР-35.240.50-КТН-106-11. Порядок эксплуатации автоматизированной информационно-аналитической системы контроля технического состояния подводных переходов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов, 2011. 37 с.

13. Ибрагимов А.А. Методы прогнозирования долговечности трубопроводов с учетом коррозии и переменных напряжений. Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. 76 с.

Ibragimov A.A. Methods for predicting the durability of pipelines taking into account corrosion and variable stresses. Tyumen': TyumGNGU, 2011. 76 p. (in Russian).