

УДК 621.643.053-192

**ОБ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*канд. техн. наук А.И. ВЕГЕРА, канд. техн. наук, доц. В.К. ЛИПСКИЙ, А.Г. КУЛЬБЕЙ
(Полоцкий государственный университет),
д-р техн. наук, проф. Г.Г. ВАСИЛЬЕВ
(Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва)*

Рассматривается метод балльной оценки, на основе которого может быть создан упрощённый алгоритм для определения экспресс-оценки технического состояния подводного перехода, характеризующего его надёжность. Показано, что отрицательное суммарное значение индекса технического состояния будет свидетельствовать об «опасности» подводного перехода трубопровода, а положительное значение – о его «надёжности».

Введение. Магистральные трубопроводы представляют собой опасные производственные объекты [1 – 3]. Одними из наиболее ответственных элементов линейной части магистральных трубопроводов являются подводные переходы (ПП) через естественные препятствия (реки, озера, другие водные объекты). Повышенный уровень опасности, присущий ПП, обусловлен как тяжестью последствий возможных аварий, так и сложностью проведения на участках ПП планово-предупредительных и аварийно-восстановительных работ.

Обеспечение надёжной и безопасной работы магистральных трубопроводов на участках ПП на стадии их эксплуатации требует своевременного проведения их технического обслуживания и ремонта (ТОР) [4]. При планировании ТОР необходимо определять состав и объем работ, а также периодичность и очередность их проведения. Основным показателем, который должен определять приоритетность проведения ТОР подводных переходов, является оценка его технического состояния с позиций уровня надёжности ПП.

В типичной для трубопроводных организаций ситуации, когда приходится обслуживать несколько подводных переходов, важным становится вопрос составления календарных графиков проведения ТОР. В первую очередь ТОР должен проводиться на тех ПП, техническое состояние которых обуславливает наименьшую надёжность. Это вызывает потребность в разработке методов объективной оценки уровня технического состояния ПП.

Метод определения «индекса технического состояния подводных переходов». Уровень технического состояния ПП зависит от совокупного действия большого количества факторов, имеющих различную природу. Прямое действие отдельного фактора в ряде случаев допускает количественную оценку его влияния на техническое состояние ПП, однако решение даже этой задачи иногда сопряжено с определёнными трудностями.

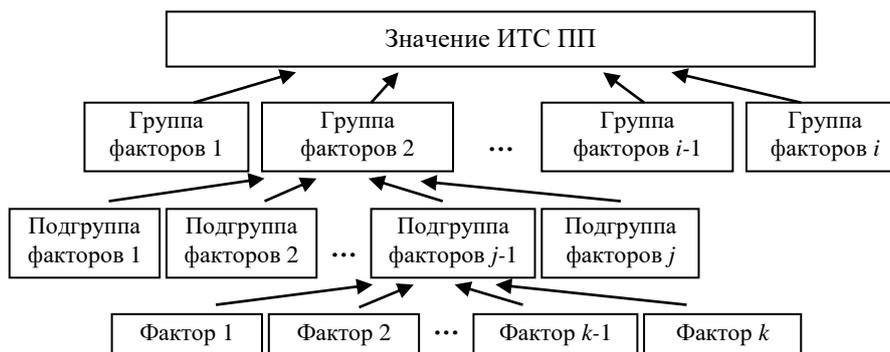
Количественная же оценка технического состояния ПП в условиях совокупного действия всех факторов представляет собой чрезвычайно сложную проблему, хотя для оценки и сравнения уровней технического состояния ПП необходимо использовать именно такую количественную оценку, построенную на учёте совокупного действия всех факторов. В качестве такой оценки может быть использован некий критерий, который сможет выступать как «индекс технического состояния» (ИТС) рассматриваемого ПП.

В рамках решаемой задачи ИТС подводных переходов рассматривается как величина, непосредственно связанная с надёжностью ПП. Как было показано [5], надёжность подводных переходов зависит от разнообразных факторов, имеющих различную физическую сущность. При этом влияние некоторой доли факторов может быть описано детерминированными зависимостями, а часть факторов носит стохастический характер. В этих условиях построение строгих аналитических зависимостей, основанных на детерминированных соотношениях, является проблематичным. В подобных случаях находит применение метод балльной оценки [6 – 8], на основе которого может быть создан упрощённый алгоритм для определения экспресс-оценки технического состояния ПП, характеризующего надёжность ПП.

Суть метода состоит в том, что выявляются факторы, влияющие на показатель надёжности подводного перехода, и с помощью системы баллов, назначенных каждому из факторов влияния, осуществляется многофакторная оценка их совместного влияния.

При использовании метода балльных оценок предполагаемые воздействия на подводный переход идентифицируются как «факторы влияния». Близкие по своей природе факторы объединяются в «группы

факторов влияния», а внутри каждой группы однородные факторы распределяются по «подгруппам факторов влияния». Общий вид такой структуры представлен на рисунке.



Общий вид структуры метода балльной оценки

Анализ конструкций и условий залегания ПП, данных по отказам и авариям на ПП, учёт опыта их эксплуатации и особенностей русловых процессов, а также других условий, действующих на протяжении жизненного цикла ПП, позволили выявить основные факторы влияния, которые воздействуют на их техническое состояние [5]. Все эти факторы, организованные в соответствии со структурой, приведенной на рисунке, приведены в таблице.

В первом столбце таблицы указаны группы факторов влияния, во второй – подгруппы, составляющие группы факторов, в третьей – непосредственно факторы, влияющие на показатель ИТС подводных переходов.

Перечень факторов, влияющих на ИТС

Группы факторов <i>E</i>	Подгруппы факторов <i>W</i>	Факторы <i>F</i>	Признак фактора	
1	2	3	4	
1. Общие данные о конструкции и условиях залегания ПП	1.1. Данные по гидрологии, топографии, русловым процессам	1.1.1. Максимальная глубина реки в створе перехода	До 1 м	лучше
			1...3 м	
			более 3 м	хуже
		1.1.2. Средняя скорость течения реки в створе перехода	До 0,5 м/с	лучше
			0,5...1 м/с	
		1...1,5 м/с		
		более 1,5 м/с	хуже	
	1.1.3. Ширина зеркала воды меженного уровня в створе перехода	До 10м	лучше	
		10...25 м		
		25...50 м		
		50...100 м		
		более 100 м	хуже	
1.1.4. Ширина зеркала воды уровня 10 % обеспеченности в створе перехода	До 10 м	лучше		
	10...25 м			
	25...50 м			
	50...100 м			
	100...200 м			
	300...500 м			
	более 500 м	хуже		
	1.1.5. Наличие скального грунта либо валунов	Есть	хуже	
		Нет	лучше	
1.2. Данные о гидротехническом вмешательстве	1.2.1. Берегоукрепление	Есть	лучше	
		Нет	хуже	
	1.2.2. Укрепление дна в створе перехода	Есть	лучше	
		Нет	хуже	
1.3. Проектные данные	1.3.1. Отношение давления испытания к проектному рабочему	До 1,25	хуже	
		1,25		
		Более 1,25	лучше	

Группы факторов E	Подгруппы факторов W	Факторы F	Признак фактора			
1	2	3	4			
		1.3.2. Минимальное заглубление трубопровода до дна реки	Оголен До 1 м 1...1,5 м 1,5...3 м 3...10 м более 10 м	хуже	лучше	
		1.3.3. Тип используемой изоляции	Нарушения изоляции. Толщина соответствует изоляции усиленного типа. Толщина более толщины изоляции усиленного типа	хуже	лучше	
		1.3.4. Наличие защитного кожуха	Есть Нет	лучше	средне	
		1.4. Данные по авариям и ремонтам ПП	1.4.1. Количество аварий на данном подземном переходе магистрального трубопровода (ППМТ) за последние 50 лет	0 шт./лет (0...0,1] шт./лет (0,1...0,2] шт./лет > 0,2 шт./лет	лучше	хуже
	1.5. Данные об истории ПП (аварии, ремонты)	1.5.1. Количество проведённых ремонтов тела трубы за последние 50 лет	0 шт./лет (0...0,1] шт./лет (0,1...0,2] шт./лет > 0,2 шт./лет	лучше	хуже	
		1.5.2. Количество проведённых работ по берегоукреплению за последние 50 лет	0 шт./лет (0...0,1] шт./лет (0,1...0,2] шт./лет > 0,2 шт./лет	лучше	хуже	
		1.5.3. Количество проведённых работ по подсыпке русла за последние 50 лет	0 шт./лет (0...0,1] шт./лет (0,1...0,2] шт./лет > 0,2 шт./лет	лучше	хуже	
		1.5.4. Количество проведенных ремонтов изоляции за последние 50 лет	0 шт./лет (0...0,1] шт./лет (0,1...0,2] шт./лет > 0,2 шт./лет	лучше	хуже	
	1.6. Дополнительные данные	1.6.1. Наличие моста ближе 0,5 км от створа подводного перехода	Есть Нет	хуже	лучше	
		1.6.2. Судосходность реки	Да Нет	хуже	лучше	
		1.6.3. Наличие населенного пункта ближе 1 км от подводного перехода	Есть Нет	хуже	лучше	
		1.6.4. Наличие промышленных территорий ближе 1 км от ППМТ	Есть Нет	хуже	лучше	
	2. Диагностика (состояние тела трубы)	2.1. Обнаружение и оценка опасности дефектов	2.1.1. Частота проведения внутритрубной диагностики, шт./лет	Никогда Реже, чем 1 раз в 5 лет 1 раз в 5 лет и чаще	хуже	лучше
			2.2. Прогнозирование возникновения предельных состояний	2.2.1. Давность проведения диагностики ППМТ с выдачей заключения о его остаточном ресурсе	Менее 5 лет 5...10 лет Более 10 лет	лучше
2.3. Центрифугация диагностических обследований ППМТ		2.3.1. Наличие данных о состоянии данного ППМТ в экспертном научном центре, не принадлежащем организации, эксплуатирующей ППМТ	Есть Нет	лучше	хуже	
		2.3.2. Наличие паспорта ППМТ	Есть Нет	лучше	хуже	
		2.3.3. Наличие регламента безопасности ППМТ	Есть Нет	лучше	хуже	

Группы факторов <i>E</i>	Подгруппы факторов <i>W</i>	Факторы <i>F</i>	Признак фактора	
1	2	3	4	
3. Мониторинг русловых процессов	3.1. Переформирование состава донных отложений	3.1.1. Укрепление дна в створе перехода	Есть Нет	лучше хуже
	3.2. Движение наносов	3.2.1. Интенсивность размыва дна водоёма	Менее 0,01 м³/сут Более 0,01 м³/сут	лучше хуже
	3.3. Деформации русла (плановые и глубинные)	3.3.1. Тип руслового процесса (степень меандрированности реки)	Ленточно-грядовый. Побочневый. Ограниченное меандрирование. Свободное меандрирование. Незавершенное меандрирование. Пойменная многогорукавность	лучше хуже
4. Условия эксплуатации	4.1. Определение режима эксплуатации ПП	4.1.1. Цикличность нагружения ППМТ внутренним рабочим давлением, 1/год (среднее за весь период эксплуатации)	(0...3300] 1/год Более 3300 1/год	лучше хуже
	4.2. Планирование технического обслуживания	4.2.1. Частота обследования ППМТ, раз/год	Менее 0,2 раз/год (< 1 раз в 5 лет) 0,2...0,5 раз/год (< 1 раз в 2 года) 0,5...1 раз/год (< 1 раз в 1 год) Более 1 раз/год (> 1 раз в 1 год)	лучше хуже
	4.3. Анализ отказов и дефектности ППМТ	4.3.1. Среднегодовая аварийность, раз/год	(0...0,03] раз/год (0,03...0,15] раз/год (0,15...0,3] раз/год (0,3...1] раз/год > 1 раз/год	лучше хуже
		4.3.2. Период эксплуатации с момента последней аварии, лет	(0...1] лет (1...5] лет (5...10] лет >10 лет	хуже лучше
	4.4. Моделирование сценариев развития аварийных ситуаций	4.4.1. Наличие планов ликвидации возможных аварий	Есть Нет	лучше хуже

Квантификация «ИТС ПП». Значимость каждой группы, каждой подгруппы в группе и каждого фактора в подгруппе определяется при помощи весовых коэффициентов соответственно:

E – весовой коэффициент группы;

W – весовой коэффициент подгруппы в данной группе;

F – весовой коэффициент фактора в данной подгруппе.

Общее значение ИТС ПП определяется путем суммирования оценок каждого фактора с учетом «весовых коэффициентов» *W* и *E*:

$$R = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K E_i W_{i,j} F_{i,j,k} Q_{i,j,k},$$

где *R* – индекс технического состояния; *I* – количество групп факторов; *J*(*i*) – количество подгрупп факторов в *i*-той группе; *K*(*i,j*) – количество факторов в каждой *j*-той подгруппе каждой *i*-той группы; *Q*_{*i,j,k*} – балльная оценка *k*-того фактора в *j*-той подгруппе *i*-той группы.

Таким образом, значение фактора *F* показывает, насколько он влияет на подгруппу факторов *W*. В свою очередь значение подгруппы *W* показывает, насколько она влияет на группу факторов *E*.

Значения факторов F принимаются в зависимости от балльной оценки фактора $Q_{i,j,k}$, которая определяется отдельно для каждого фактора. Значения балльной оценки факторов выставляются непосредственно при оценке определенного объекта (подводного перехода магистрального трубопровода).

Воздействия отдельного конкретного фактора F на ИТС ПП происходит ввиду того, что данный фактор обладает признаками Q , которые влияют на техническое состояние ПП, а степень этого влияния зависит от того, какова мера проявления этого признака. Например, степень влияния фактора $F_{1.3.2}$ «Минимальное заглубление трубопровода до дна реки» (таблица, п. 1.3.2) зависит от такого признака Q , как глубина траншеи, в которую был помещён трубопровод. Направление вектора этой величины очевидно – увеличение глубины заложения способствует повышению надёжности ПП. В соответствии с диапазоном величин, характеризующих указанный признак фактора «Глубина залегания трубопроводов» может быть назначена шкала значений баллов, где каждому интервалу диапазона шкалы значения признака будет присвоена своя балльная оценка. А такой фактор влияния, как, например, $F_{1.3.4}$ «Наличие защитного кожуха» (таблица, п. 1.3.4), может характеризоваться признаками, имеющими качественную оценку – признак фактора состоит в том, что действие фактора проявляется или нет. Вектор этого воздействия определяется характером самого фактора. В рассмотренном примере наличие защитного кожуха способствует повышению надёжности ПП.

Таким образом, для ряда факторов их признаки могут быть выражены в виде шкалы численных величин, характеризующих эти признаки. При этом величина «цены деления» этой шкалы зависит от значимости фактора. У сильновлияющих факторов «цена деления» шкалы должна быть меньшей, чем у слабовлияющих факторов, т.е. количество признаков назначается в зависимости от значимости фактора. В то же время, как было показано, существуют факторы, для выражения которых достаточно использования качественных характеристик

Назначение границ значений величин для оценки признака Q каждого фактора F , т.е. создание диапазона квантификационной шкалы, осуществляется на основании действующей нормативной документации, учёта особенностей работы речной техники, анализа накопленной статистической информации об авариях на трубопроводах, закладываемого уровня требуемой надёжности ПП и т.п.

Основные проблемы, которые должны быть решены при использовании данного метода, состоят в обосновании полноты учёта факторов влияния и определении количественных значений весовых коэффициентов и балльных оценок величин, характеризующих факторы влияния.

Полнота учёта факторов влияния, представленных в таблице, обоснована на предыдущих этапах исследования [5]. В таблице указаны также направления векторов величин, характеризующих признаки каждого из приведённых факторов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку количественных значений шкал баллов Q факторов влияния F (присвоение балльных оценок), установление количественных значений «весовых коэффициентов» W и E .

Факторы, влияющие на надёжность ПП, различны по своей физической сущности, поэтому для их оценки приходится использовать различные подходы:

- использование статистической информации по аварийности и надёжности, соответствующей типу объекта или вида деятельности (в данном случае объект – ПП);
- использование логических методов анализа «деревьев событий» и «деревьев отказов»;
- экспертные оценки путём учёта мнения специалистов в данной области.

Например, для назначения значения балла $Q_{4.1.1}$ для фактора $F_{4.1.1}$ «Цикличность нагружения ПП внутренним рабочим давлением» используется статистический метод. Граничными параметрами для значений балльной оценки $Q_{4.1.1}$ принята граница перехода из малоцикличной в многоцикловую область нагружения трубопровода (среднегодовое количество нагружений 3000 шт./год, за срок службы трубопровода в 33 года соответствует почти $1 \cdot 10^5$ суммарных нагружений, т.е. нагружение трубопровода переносится в многоцикловую область).

Другой пример – фактор $F_{1.6.2}$ «Судоходность реки». Этот фактор определяет опасность повреждения трубопровода судовым якорем, а также возможность негативных последствий на судоходство в результате аварий на трубопроводе. Если река судоходна, то значение балла $Q_{1.6.2}$ экспертно назначается понижающим степень надёжности подводного перехода. Если же река не судоходна, тогда значение фактора влияния $F_{1.6.2}$ на надёжность трубопровода не должно учитываться, а значение балла $Q_{1.6.2}$ должно быть приравнено к нулю.

Необходимо отметить, что для расчета индекса технического состояния предлагается отрицательно влияющим факторам назначать знак «-», а положительно влияющим – знак «+». Факторам, не оказывающим никакого влияния, предлагается назначать значение «0». Таким образом, отрицательное суммарное значение индекса технического состояния будет свидетельствовать об «опасности» подводного перехода трубопровода, а положительное значение – о его «надёжности».

Выводы

1. Предлагаемая методика позволяет произвести оценку технического состояния подводных переходов магистральных трубопроводов.

2. Рассчитанные значения индексов технического состояния подводных переходов позволят проводить сравнительный анализ различных подводных переходов магистральных трубопроводов для определения приоритетности их технического обслуживания и ремонта.

3. Используя предлагаемый метод определения индексов технического состояния ПП для ранжирования ПП по степени их надёжности, можно оперировать как конечным значением этого индекса, так и промежуточными значениями, например, сравнивая ПП по фактору «среднегодовой аварийности», или, например, по группе факторов «условия эксплуатации».

ЛИТЕРАТУРА

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов: Закон Респ. Беларусь, № 363-3 от 10.01.2000 г.
2. О трубопроводном транспорте: Закон Респ. Беларусь от 09.01.2002 г. № 87-3.
3. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Безопасность трубопроводного транспорта. – М.: Знание, 2002. – 752 с.
4. Системная надёжность трубопроводного транспорта углеводородов / В.Д. Черняев, К.В. Черняев, В.Л. Березин и др.; Под ред. В.Д. Черняева. – М.: Недра, 1997.
5. Липский В.К., Кульбей А.Г., Васильев Г.Г. Обеспечение на инвестиционной стадии надёжности подводных переходов трубопроводов // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. – № 9. – С. 166 – 172.
6. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах / НТЦ «Промышленная безопасность». – М., 2000.
7. РД 153-39-029-98 «Нормы периодичности обследования магистральных трубопроводов внутритрубными инспекционными снарядами»: ОАО ЦТД «Диаскан». – М., 1998.
8. Лисанов М.В., Печёркин А.С., Сидоров В.И. Анализ риска и декларирование безопасности объектов нефтяной и газовой промышленности // Сертификация и безопасность оборудования. – 1998. – № 1.