

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Гумеров И.К., Хайрутдинов Ф.Ш., Шмаков В.А.

*В статье предложена несложная математическая модель оптимизации капитального ремонта трубопровода с заменой изоляции в условиях ограниченного финансирования.*

При длительной эксплуатации магистральных трубопроводов большое значение имеет периодическая диагностика и ликвидация дефектов [1]. При этом особая роль отводится внутритрубной диагностике [2] и оценке опасности выявленных дефектов [3]. Однако этот метод позволяет выявлять дефекты только металлической составляющей трубопровода. Состояние изоляционного покрытия трубопровода диагностируют электрометрическими методами [4]. Но при этом оценку опасности дефектов изоляционного покрытия обычно не проводят. Не делают также оценок по срокам восстановления изоляционного покрытия. При этом подразумевается, что методом ликвидации дефектов металлической составляющей трубопровода можно сколько угодно долго поддерживать безопасность трубопровода. То, что это не так, можно увидеть на примере магистрального нефтепродуктопровода “Альметьевск – Н.Новгород”, который в 2005 году обследовали электрометрическими методами на участках с общей протяженностью 360 км.

При обследовании трубопровода электрометрическими методами измеряют потенциалы “труба-земля” над трубопроводом с шагом 5 м. Одновременно измеряют потенциалы “труба-земля” на расстоянии 5 м слева и справа от оси трубопровода. Измерения выполняют на поверхности земли. Если на данном месте трубопровода имеется дефект изоляционного покрытия, то на поверхности земли появляется градиент потенциала “труба-земля”. Чем больше дефект, тем больше потеря защитного тока и тем больше градиент потенциала на поверхности земли. При градиенте 30 мВ на 5 м дефект изоляции считается недопустимым.

При электрометрических измерениях проводят также измерения удельного электрического сопротивления грунта, которое является косвенной характеристикой его коррозионной агрессивности по отношению к трубопроводу.

Если удельное сопротивление ниже 20 Ом·м, то коррозионная агрессивность грунта считается высокой.

Фрагмент результатов электрометрических измерений приведён в табл. 1. В этой же таблице приведены некоторые другие сведения о трубопроводе: высотные отметки, максимальные проходные давления, характеристика коррозионной агрессивности грунта. На последнем столбце указаны километры, где рекомендовано проведение ремонта с заменой изоляции, исходя из полученных результатов обследования.

Таблица 1

Результаты обследования МНПП «Альметьевск-Н.Новгород»  
методом электрометрических измерений (фрагмент)

Км трассы	Высотные отметки, м	Проходные давления, МПа	Протяженность дефектов изоляции, м	Агрессивность грунта	Рекомендуется ремонт изоляции
511	137,6	1,82	88		
512	130,9	1,85	60		
513	130,1	1,83	66		
514	120,1	1,89	148		ремонт
515	125,1	1,82	123		ремонт
516	137,6	1,69	66		ремонт
517	96,5	2,00	62		
518	102,8	1,92	76		
519	108,6	1,85	128		ремонт
520	98,2	1,90	118		ремонт
521	97,9	1,88	106		ремонт
522	120,8	1,66	39		
523	143,5	1,45	62		
524	148,5	1,38	58		
525	155,0	1,30	75		
526	154,2	1,28	64	высокая	
527	153,4	1,26	24		
528	155,7	1,21	55		
529	114,8	1,52	95		
530	105,7	1,57	22		
531	132,9	1,32	108	высокая	ремонт
532	148,4	1,17	202		ремонт
533	153,2	1,10	81		
534	152,7	1,08	98		
535	158,0	1,01	145		ремонт
536	173,3	0,85	69		
537	188,4	0,70	90		
538	187,8	0,68	62		

Км трассы	Высотные отметки, м	Проходные давления, МПа	Протяженность дефектов изоляции, м	Агрессивность грунта	Рекомендуется ремонт изоляции	
539	173,1	0,77	29			
540	141,4	1,01	28			
541	117,3	1,18	130	высокая	ремонт	
542	96,7	1,32	39		ремонт	
543	116,5	1,13	142			
544	133,9	0,96	97			
545	134,6	0,93	34			
546	99,5	1,19	0			
547	123,7	0,97	9			
548	185,3	0,43	41			
549	187,5	0,39	71			
550	191,5	0,33	0			
551	157,9	0,58	102	высокая высокая высокая высокая	ремонт	
552	134,4	0,74	56			
553	88,2	1,10	0			
554	116,9	0,83	20			
555	112,7	0,84	33			
556	118,5	0,76	0			
557	100,0	0,89	75			
558	84,1	0,99	136		высокая	ремонт
559	122,1	0,65	64			
560	125,9	0,60	61			
561	96,7	0,81	0		ремонт	
562	82,9	0,90	176			
563	74,4	0,94	0			
564	72,6	0,93	0			
565	83,1	0,81	72			
566	143,6	0,29	65			
567	99,9	0,62	7			
568	87,1	0,70	0			
569	80,8	0,72	274			
570	77,5	0,72	19			
Итог: на участке трубопровода протяженностью 60 км дефекты изоляции имеют суммарную протяженность 4170 м						

Выборочные шурфовые обследования полностью подтвердили данные электрометрических измерений. Установлено, что за 45 лет эксплуатации трубопровода изоляционное покрытие потеряло свои защитные свойства. Коррозия металла в какой-то степени сдерживается системой электрохимической защиты. Но на участках с протяженными дефектами изоляции система ЭХЗ не справляется и наблюдается падение защитного потенциала, несмотря на большие

токи, подаваемые станциями катодной защиты (СКЗ). Возникает вопрос – что делать?

Ответ очевиден – надо менять изоляцию. Это однозначно. Естественно, на это нужны значительные средства и время, может быть не менее 10 лет. Поэтому важно правильно планировать ремонтные работы, чтобы сохранить и восстановить трубопровод при ограниченных объемах финансирования. Разработанная несложная математическая модель и позволяет оптимизировать решение этой задачи.

При разработке математической модели капитального ремонта трубопровода с заменой изоляции в условиях ограниченного финансирования использованы следующие положения:

- дефекты изоляционного покрытия и коррозионные дефекты металла растут в процессе дальнейшей эксплуатации трубопровода;
- новое изоляционное покрытие, наносимое в трассовых условиях, соответствует условиям эксплуатации и обладает долговечностью не менее 30 лет;
- в первую очередь подлежат ремонту участки трубопровода, содержащие наиболее протяженные дефекты;
- на участках трубопровода, где защитный потенциал недостаточен, устанавливаются временные дополнительные станции катодной защиты; после восстановления изоляционного покрытия временные СКЗ демонтируются;
- отремонтированные участки не содержат дефектов изоляции.

Предлагаемая модель реализована в алгоритмической программе, которая состоит из следующих этапов:

- 1) ввод исходных данных (срок эксплуатации, ежегодный объем ремонта исходя из финансовых возможностей);
- 2) ввод массива данных по результатам диагностического обследования в виде таблицы “километр - протяженность дефектов”;
- 3) ранжирование участков трубопровода (километров) по протяженности дефектов;
- 4) выделение участков, подлежащих ремонту в ближайший год;

- 5) оценка остаточной дефектности трубопровода (отношение суммарной протяженности дефектов на не отремонтированных участках к суммарной протяженности этих участков трубопровода);
- 6) корректировка протяженности дефектов с учетом их роста в процессе дальнейшей эксплуатации;
- 7) выделение участков (километров), подлежащих ремонту в следующий год;
- 8) повторение этапов 5-8 до завершения ремонта всего трубопровода;
- 9) формирование и печать результатов расчета (уровень дефектности изоляционного покрытия по итогам ежегодных ремонтов).
- 10) формирование и печать таблиц, характеризующих динамику изменения дефектности изоляционного покрытия трубопровода при различных объемах ремонта.

Предложенная модель процесса восстановления изоляции трубопровода не может быть реализована аналитическими методами и методами математической статистики. В программном исполнении с применением разработанной математической модели никаких проблем не встречается.

В таблице 2 приводятся прогнозные данные по восстановлению состояния изоляции, получаемые при объемах капитального ремонта трубопровода 10 км в год и 20 км в год соответственно.

Таблица 2 – Динамика восстановления изоляционного покрытия при объеме ремонта 10 км в год

Время выполнения ремонта	Протяженность отремонтированных участков	Протяженность дефектов изоляции, остающихся после ремонта, м	Уровень остаточной дефектности и трубопровода, %	Протяженность дефектов на наиболее поврежденных километрах, м	Количество километров, где протяженность дефектов более 100 м
В год ремонтируется 10 км трубопровода					
2006 год	0	25073	<b>6,96</b>	523	80
2007 год	10	23805	<b>6,80</b>	294	82
2008 год	20	23330	<b>6,86</b>	217	85
2009 год	30	23044	<b>6,98</b>	217	87
2010 год	40	22806	<b>7,13</b>	205	90
2011 год	50	22628	<b>7,30</b>	198	97
2012 год	60	22449	<b>7,48</b>	195	104

Время выполнения ремонта	Протяженность отремонтированных участков	Протяженность дефектов изоляции, остающихся после ремонта, м	Уровень остаточной дефектности и трубопровода, %	Протяженность дефектов на наиболее поврежденных километрах, м	Количество километров, где протяженность дефектов более 100 м
2013 год	70	22242	<b>7,67</b>	193	100
2014 год	80	21992	<b>7,85</b>	192	100
2015 год	90	21682	<b>8,03</b>	193	94
2016 год	100	21318	<b>8,20</b>	194	94
В год ремонтируется 20 км трубопровода					
2006 год	0	25073	<b>6,96</b>	523	80
2007 год	20	21407	<b>6,30</b>	210	72
2008 год	40	19304	<b>6,03</b>	174	65
2009 год	60	17615	<b>5,87</b>	153	57
2010 год	80	16068	<b>5,74</b>	141	50
2011 год	100	14561	<b>5,60</b>	133	47
2012 год	120	13077	<b>5,45</b>	124	44
2013 год	140	11569	<b>5,26</b>	121	30
2014 год	160	10002	<b>5,00</b>	117	20
2015 год	180	8417	<b>4,68</b>	106	4
2016 год	200	6998	<b>4,37</b>	91	0
2017 год	220	5672	<b>4,05</b>	84	0

На рисунках 1 и 2 приводится динамика состояния изоляционного покрытия трубопровода при разных ежегодных объемах ремонта. Как следует из полученных результатов, для данного трубопровода критическим является ежегодный объем ремонта 15 км в год, что составляет 4,2 % от общей протяженности трубопровода. При меньших объемах ремонта износ изоляции продолжает усиливаться из-за низких темпов ремонта. Причём, дальнейшему износу будет подвергаться не только изоляционное покрытие, но и металлическая составляющая трубопровода. Несмотря на все усилия по ликвидации дефектов труб, объемы ремонта будут увеличиваться с каждым годом, так как не исключается причина интенсификации коррозии. Как показывают результаты выполненных экспертиз безопасности, именно такая картина наблюдается на некоторых магистральных нефтепродуктопроводах со сроком эксплуатации более 30 лет.

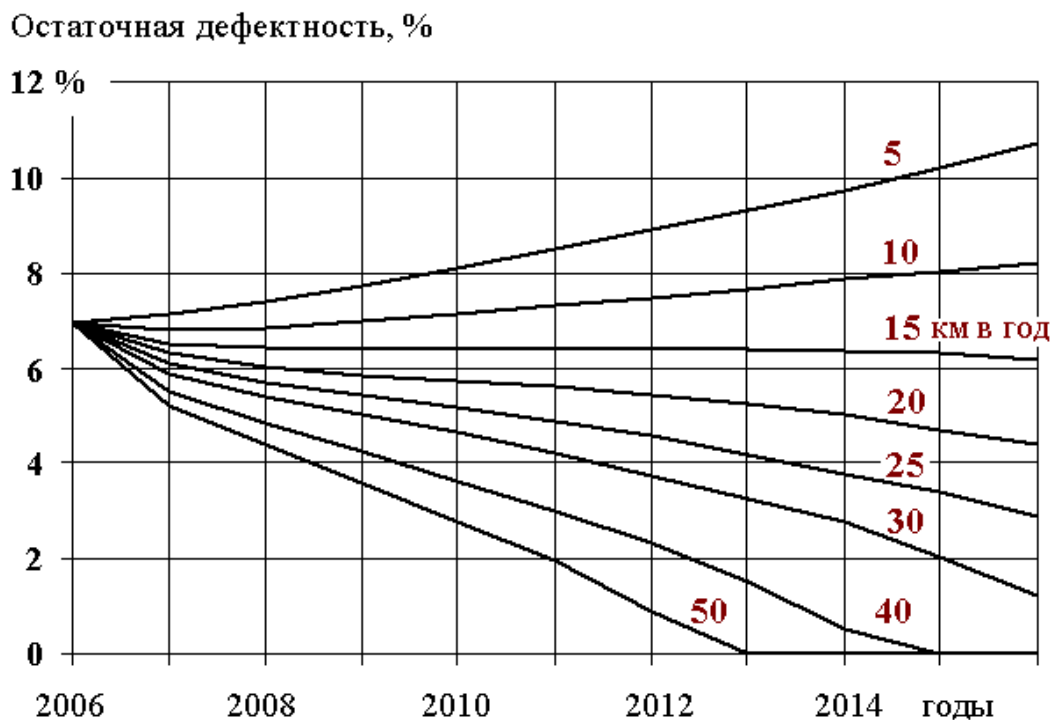


Рисунок 1. Динамика состояния изоляционного покрытия в зависимости от планируемых объемов ремонта.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет планировать объемы ремонтных работ в зависимости от характеристик конкретных трубопроводов и финансовых возможностей эксплуатирующих организаций.

Математическая модель реализована в расчетной программе, которая позволяет учитывать и использовать фактические закономерности деградации изоляционных материалов в процессе дальнейшей эксплуатации трубопровода, вводить элементы совершенствования в зависимости от заданных условий и поставленных задач.

Разработанная математическая модель и программа могут быть легко трансформированы для решения другой задачи – планирования ремонта трубопроводов по результатам обследований внутритрубными приборами. В этом случае будут рассматриваться дефекты труб (металлической составляющей трубопровода), а показателем состояния трубопровода будет являться допустимое рабочее давление, достигаемое в результате ежегодных ремонтов.

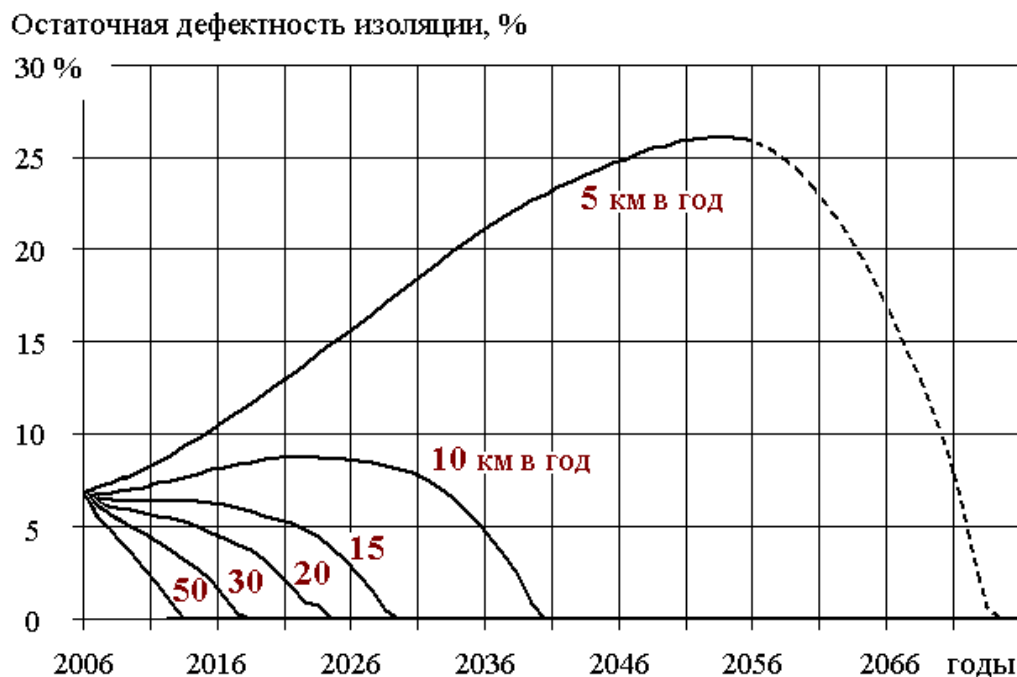


Рисунок 2 .Восстановление изоляционного покрытия трубопровода с использованием высококачественных материалов с гарантированным сроком эксплуатации не менее 50 лет при разных объемах ремонта

### Литература

1. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Гумеров К.М. Безопасность длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. - М.: Недра, 2001. -305 с.
2. Черняев К.В., Васин Е.С. Система безопасной эксплуатации и продления срока службы магистральных нефтепроводов // Трубопроводный транспорт нефти. -1998. -№ 11. -С. 16-21.
3. РД 153-39.4Р-119-03. Методика оценки работоспособности и проведения аттестации эксплуатирующихся магистральных нефтепроводов. -М.: АК «Транснефть», 2003.
4. ВРД 39-1.10-026-2001. Методика оценки фактического положения и состояния подземных трубопроводов. М.: ОАО «Газпром», ООО «ВНИИГАЗ», 2001.