

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Харисов Р.А., Кантемиров И.Ф.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет
кафедра «Сооружение и ремонт ГНП и ГНХ»
email: pipe@rusoil.net*

В работе разработана методика проведения экспертных оценок по определению оптимального вида изоляции, выявлены основные параметры, влияющие на долговечность и стоимость изоляционного покрытия, составлен опросный лист для экспертов. Подобрана группа экспертов, ведущих специалистов страны по проблемам защиты трубопроводов от коррозии. Проведен опрос экспертов. Проведен количественный расчет групповой экспертной оценки.

Проведенный анализ результатов групповой экспертной оценки выявил два наиболее предпочтительных вида изоляционных покрытий для трубопроводов – полиуретановые и полиэтиленовые ленты с двухсторонним липким слоем для трассового нанесения и полипропиленовые и полиэтиленовые экструдированные для заводского нанесения.

Ключевые слова: изоляция, показатель, защитное покрытие, экспертная оценка, фактор, свойство, оценка, клан, алгоритм, ранг, матрица, компетентность

В настоящее время существует достаточно много конструкций защитных покрытий трубопроводов и выбор одного из них для конкретных условий эксплуатации представляет непростую задачу. Задача осложняется тем, что не существует достаточно надежных математических моделей системы трубопровод-изоляция, которые бы позволили расчетным путем определить основные эксплуатационные показатели того или иного защитного покрытия. Основные показатели - срок службы покрытия и стоимость - зависят от множества других факторов, как внешних (свойства грунта, температура перекачиваемой среды и грунта, климатологические условия на трассе), так и внутренних (влагопроницаемость и водопоглощение покрытия, устойчивость к воздействиям различного рода, адгезии к металлу и т.п.) [1, 2].

В случае ограниченных возможностей применения точных математических методов из-за отсутствия достаточно точной статистической и другой информации о надежности показателей и технических характеристиках системы, а также надежных математических моделей, описывающих реальное состояние

системы, экспертные оценки являются единственным средством решения задач безопасности.

Можно выделить два уровня использования экспертных оценок: качественный и количественный. Применение оценок на качественном уровне (определение возможного развития опасной ситуации из-за отказа системы, выбор окончательного варианта решения и др.) не вызывает сомнения. Возможность применения количественных, балльных экспертных оценок нередко оспаривается, а результаты подвергаются сомнению. При этом справедливо отмечается, что количественные или балльные оценки нередко скрывают неумение квалифицированно, на научной основе оценивать те или иные состояния, явления, пути развития ситуации. Очень часто выбор групповых решений на основе оценок отдельных экспертов проводится без анализа правомерности получения такого решения. Кроме того, в большинстве методик экспертных опросов не уделяется достаточно внимания обоснованию выбранной схемы интегрирования оценок, полученных на основе использования нескольких критериев, по которым ведется оценка состояния исследуемого объекта.

Ввиду отмеченного, применение экспертных оценок требует анализа их объективности и надежности. С одной стороны, нет гарантий, что полученные оценки достоверны, а с другой - существуют значительные трудности при проведении опроса экспертов и обработке полученных данных. Применяемые способы определения достоверности экспертных оценок основаны на предположении, что при согласовании действий экспертов эта достоверность обеспечена. Однако в ряде случаев эксперты, не согласные с мнением большинства, давали правильные оценки. Это объясняется психологией принятия решений в группе и распределением ответственности.

Следовательно, единодушие большинства экспертов не всегда является критерием достоверности оценок. Отсюда вытекает необходимость тщательного отбора экспертов. Дело в том, что при обсуждении многих вопросов, например определения развития опасной ситуации вследствие отказа трубопроводной системы, должны участвовать эксперты высокой квалификации, одного уровня подготовки, знающие цепь всего производства и могущие оценить весьма отда-

ленные последствия. Прогнозы, составленные «средними» экспертами, будут основаны на знаниях только отдельного вопроса.

Используя экспертные оценки, предполагают, что при решении проблем в условиях неопределенности мнение группы экспертов надежнее, чем мнение отдельного эксперта, т.е. две группы одинаково компетентных экспертов с большей вероятностью дадут аналогичные ответы, чем два эксперта. Предполагается также, что совокупность индивидуальных ответов экспертов должна включать «истинный» ответ.

Зачастую оценки экспертов не обладают достаточной устойчивостью, т.е. эксперт может одни и те же события при нескольких повторных экспертизах оценить по-разному. Чем устойчивее оценки, тем больше можно им доверять. Однако на практике повторная экспертиза вследствие организационных, временных ограничений, финансовых трудностей применяется крайне редко.

При нахождении оценок экспертным путем, помимо погрешности, вызванной недостатком информации о событиях и недостаточной компетентностью экспертов, возможна и погрешность, обусловленная возможной заинтересованностью экспертов в результатах оценки. Такая погрешность может значительно исказить оценки и необходимо заранее предусмотреть меры для ее устранения.

Одним из показателей, характеризующих пригодность эксперта, является степень его надежности, т.е. относительная частота случаев, когда он приписывал более высокую вероятность событиям, которые впоследствии происходили.

Выбор значимых факторов экспертной оценки

Как отмечалось выше, явно имеется всего два важнейших фактора, определяющие выбор того или иного способа защиты трубопровода от коррозии – стоимость покрытия (с учетом стоимости его нанесения) и долговечность. Тем не менее, для экспертной оценки преимуществ различных типов этих двух факторов может оказаться недостаточно. Это связано с неполной информацией о данных факторах, особенно для новых защитных покрытий, практика применения которых невелика и много меньше срока службы (долговечности) покрытия. Кроме того, долговечность существенно зависит от внешних условий и условий эксплуа-

тации трубопроводов. Поэтому однозначной универсальной оценки конкретного типа защитного покрытия нельзя дать в принципе.

По этим причинам в данной работе было принято решение существенно расширить набор свойств покрытий, по которым проводится экспертная оценка. В частности, этот набор должен учитывать устойчивость покрытия к воздействию внешних факторов (свойства грунта, климатические условия, температура перекачиваемой среды, условия транспортировки и хранения и пр.).

Заметим, что при любом выборе существенных факторов, определяющих качество защитного покрытия, их влияние на эксплуатационные свойства будет неравнозначным, т.е. имеет смысл присвоить им некоторый весовой коэффициент, или значимость. Этот параметр можно оценить двумя способами. Во-первых, включить его в опросные листы для непосредственной оценки экспертами. Во-вторых, он может быть определен расчетным путем на основании данных экспертных таблиц. Отклонения непосредственных оценок от расчетных в какой-то степени позволяют определить квалификацию эксперта.

Путем анализа литературных данных в работе приняты для экспертных оценок 21 свойство (фактор) [3], которые приведены в табл. 1.

В качестве объектов экспертных оценок, т.е. носителей свойств/факторов нами выбраны как широко применяемые, так и новые виды защитных покрытий. Заметим, что нанесение покрытий может быть как трассовым, так и заводским, причем эксплуатационные свойства одного типа покрытия в этих случаях различны. Поэтому необходимо рассматривать оба этих случая, причем в одной шкале оценок, т.е. баллы для каждого фактора должны присваиваться экспертами при сравнении качества свойства одновременно для обоих способов нанесения покрытия. Это дает возможность сравнения преимуществ и недостатков не только защитных свойств самого покрытия, но и учесть влияние способа его нанесения [4, 5].

С учетом перечисленных аргументов разработанный нами опросный лист для экспертных оценок имеет вид, приведенный в табл. 2.

Таблица 1

Факторы для проведения экспертных оценок

| Группа свойств | Название свойства |
|---|---|
| Защитные свойства | Адгезия к стали |
| | Водопроницаемость и водопоглощение |
| | Переходное электросопротивление |
| | Стойкость к катодному отслаиванию |
| | Газо- и воздухопроницаемость |
| | Объемная устойчивость |
| Эксплуатационные свойства | Защитная способность от стресскоррозии |
| | Устойчивость к бактериям и грибостойкость |
| | Устойчивость к сдвиговому воздействию грунта |
| | Устойчивость к пенетрации |
| | Устойчивость к низким температурам |
| | Устойчивость к высоким температурам |
| Свойства, отнесенные к транспортировке и хранению | Ударная прочность |
| | Устойчивость при пластических деформациях труб |
| | Устойчивость к атмосферному воздействию УФ радиации |
| | Устойчивость к истиранию |
| | Устойчивость к разрушению |
| | Экологические характеристики |
| Технологические и экономические показатели | Долговечность |
| | Стоимость |
| | Технологичность нанесения |

Таблица 2

Опросный лист для экспертных оценок

| Название свойств | ОБЪЕКТЫ | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------|--------------------|--------------------|
| | Заводского нанесения | | | | | Трассового нанесения | | | | |
| | Полипропиленовое экструдированное | Эпоксидное | Стеклоэмалевое | Полимерцементное | Полиэтиленовое экструдированное | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимерно-битумные |
| Адгезия к стали | | | | | | | | | | |
| Водопроницаемость и водопоглощение | | | | | | | | | | |
| Переходное электросопротивление | | | | | | | | | | |
| Стойкость к катодному отслаиванию | | | | | | | | | | |
| Газо- и воздухопроницаемость | | | | | | | | | | |
| Объемная устойчивость | | | | | | | | | | |
| Защитная способность от стресскоррозии | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к бактериям и грибовстойкость | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Устойчивость к сдвиговому воздействию грунта | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к пенетрации | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к низким температурам | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к высоким температурам | | | | | | | | | | |
| Ударная прочность | | | | | | | | | | |
| Устойчивость при пластических деформациях труб | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к атмосферному воздействию УФ радиации | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к истиранию | | | | | | | | | | |
| Устойчивость к разрушению | | | | | | | | | | |
| Экологические характеристики | | | | | | | | | | |
| Долговечность | | | | | | | | | | |
| Стоимость | | | | | | | | | | |
| Технологичность нанесения | | | | | | | | | | |

Выбор ведущих специалистов трубопроводного транспорта страны для экспертной оценки

Как уже отмечалось, экспертные оценки субъективны и могут отличаться для разных экспертов. Согласно ряду независимых исследований, мнения экспертов совпадают в среднем на 30-50 % [6]. Отметим, что даже мнение одного и того же эксперта изменяется во времени.

Составление списка возможных экспертов облегчается тогда, когда рассматриваемый вид экспертизы проводится многократно. В таких ситуациях обычно ведется реестр возможных экспертов, из которого можно выбирать по различным критериям или с помощью датчика псевдослучайных чисел.

Как быть, если экспертиза проводится впервые, устоявшиеся списки возможных экспертов отсутствуют? Для формирования списка есть полезный метод «снежного кома», при котором от каждого специалиста, привлекаемого в качестве эксперта, получают несколько фамилий тех, кто может быть экспертом по рассматриваемой тематике. Очевидно, некоторые из этих фамилий встречались ранее в деятельности рабочей группы по проведению экспертной оценки, а некоторые - новые. Каждого вновь появившегося опрашивают по той же схеме. Процесс расширения списка останавливается, когда новые фамилии практически перестают встречаться. В результате получается достаточно обширный список возможных экспертов. Метод «снежного кома» имеет и недостатки. Число туров до остановки процесса наращивания кома нельзя заранее предсказать. Кроме того, ясно, что если на первом этапе все эксперты были из одного «клана», придерживались в чем-то близких взглядов или занимались сходной деятельностью, то и метод «снежного кома» даст, скорее всего, прежде всего лиц из этого «клана». Мнения и аргументы других «кланов» будут упущены.

Вопрос об оценке компетентности экспертов не менее сложен. Успешность участия в предыдущих экспертизах - хороший критерий для деятельности дегустатора, врача, судьи в спортивных соревнованиях, т.е. таких экспертов, которые участвуют в длинных сериях однотипных экспертиз. Однако наиболее интересны и важны уникальные экспертизы больших проектов, не имеющих аналогов. Использование формальных показателей экспертов (должность, ученые степень и звание, стаж, число публикаций и др.), очевидно, в современных условиях может

носить лишь вспомогательный характер, хотя подобные показатели проще всего применять.

Часто предлагают использовать методы самооценки и взаимооценки компетентности экспертов. Обсудим их, начав с метода самооценки, при котором эксперт сам дает информацию о том, в каких областях он компетентен, а в каких - нет. С одной стороны, кто лучше может знать возможности эксперта, чем он сам? С другой стороны, при самооценке компетентности скорее оценивается степень самоуверенности эксперта, чем его реальная компетентность. Тем более, что само понятие «компетентность» строго не определено. Можно его уточнять, выделяя составляющие, но при этом усложняется предварительная часть деятельности экспертной комиссии. Достаточно часто эксперт преувеличивает свою реальную компетентность. Бывают уклонения и в другую сторону, излишне критичное отношение к своим возможностям.

При использовании метода взаимооценки, помимо возможности проявления личностных и групповых симпатий и антипатий, играет роль малая осведомленность экспертов о возможностях друг друга. В современных условиях достаточно хорошее знакомство с работами и возможностями друг друга может быть лишь у специалистов, много лет (не менее 3 - 4) работающих совместно, в одной комнате, над одной темой. Однако привлечение таких пар специалистов не слишком целесообразно, поскольку их взгляды из-за схожести жизненного пути слишком похожи друг на друга.

С учетом сказанного, нами была выбрана группа экспертов из 14 специалистов трубопроводного транспорта нефти, работающих в разных организациях г. Уфы и в других городах России. В группу входят специалисты проектных, научных и эксплуатационных организаций, что расширяет общий круг компетентности группы. По должностям экспертов также был достаточно большой разброс – от ведущих специалистов предприятий и профессоров ВУЗов до мастеров производственных участков, что должно обеспечить максимальную достоверность оценок как по общим и теоретическим вопросам, так и по специфическим вопросам эксплуатации магистральных трубопроводов [3-5].

Обработка результатов экспертной оценки

В данном параграфе рассмотрим алгоритмы обработки результатов экспертного оценивания множества объектов согласно [7]. Пусть m экспертов произвели оценку n объектов по l факторам (свойствам). Результаты оценки представлены в виде величин X_{ij}^h , где j – номер эксперта, i – номер объекта, h – номер фактора (свойства) сравнения. Если оценка объектов произведена методом ранжирования, то величины X_{ij}^h представляют собой ранги. Если оценка объектов выполнена методом непосредственной оценки или методом последовательного сравнения, то величины X_{ij}^h представляют собой числа из некоторого отрезка числовой оси, или баллы. Обработка результатов оценки существенно зависит от рассмотренных методов измерения.

В нашем случае величины X_{ij}^h ($i = 1, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, l$) получены методами непосредственной оценки или последовательного сравнения, т.е. X_{ij}^h являются числами, или баллами. Для получения групповой оценки объектов в этом случае можно (воспользоваться средним значением оценки для каждого объекта [7]:

$$x_i = \sum_{h=1}^l \sum_{j=1}^m q_h x_{ij}^h k_j \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где q_h – коэффициенты весов показателей сравнения объектов,
 k_j – коэффициенты компетентности экспертов.

Коэффициенты весов показателей и компетентности экспертов являются нормированными величинами [7]:

$$\sum_{h=1}^l q_h = 1; \sum_{j=1}^m k_j = 1. \quad (2)$$

Коэффициенты весов показателей могут быть определены экспертным путем. Если q_{hj} – коэффициент веса h -го показателя, даваемый j -м экспертом, то средний коэффициент веса h -го показателя по всем экспертам равен [7]:

$$q_h = \sum_{j=1}^m q_{hj} k_j \quad (h=1, 2, \dots, l). \quad (3)$$

Получение групповой экспертной оценки путем суммирования индивидуальных оценок с весами компетентности и важности показателей при измерении свойств объектов в кардинальных шкалах основывается на предположении о вы-

полнении аксиом теории полезности фон Неймана-Моргенштерна как для индивидуальных, так и для групповой оценки и условий неразличимости объектов в групповом отношении, если они неразличимы во всех индивидуальных оценках (частичный принцип Парето). В реальных задачах эти условия, как правило, выполняются, поэтому получение групповой оценки объектов путем суммирования с весами индивидуальных оценок экспертов широко применяется на практике.

Коэффициенты компетентности экспертов можно вычислить по апостериорным данным, т.е. по результатам оценки объектов. Основной идеей этого вычисления является предположение о том, что компетентность экспертов должна оцениваться по степени согласованности их оценок с групповой оценкой объектов.

Алгоритм вычисления коэффициентов компетентности экспертов имеет вид рекуррентной процедуры [7]:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1} (i=1, 2, \dots, n); \quad (4)$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t (t=1, 2, \dots); \quad (5)$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t; \sum_{j=1}^m k_j^t = 1 (j=1, 2, \dots, m). \quad (6)$$

Вычисления начинаются с $t = 1$. В формуле (4) начальные значения коэффициентов компетентности принимаются одинаковыми и равными $k_j^0 = \frac{1}{m}$.

Тогда по формуле (4) групповые оценки объектов первого приближения равны средним арифметическим значениям оценок экспертов [7]:

$$x_i^1 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m x_{ij} (i=1, 2, \dots, n). \quad (7)$$

Далее вычисляется величина λ^1 по формуле (5) [7]:

$$\lambda^1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^1 \quad (8)$$

и значение коэффициентов компетентности первого приближения по формуле (6) [7]:

$$k_j^1 = \frac{1}{\lambda^1} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^1. \quad (9)$$

Используя коэффициенты компетентности первого приближения x_i^2, λ^2, k_i^2 , можно повторить весь процесс вычисления по формулам (4), (5), (6) и получить вторые приближения величин.

Повторение рекуррентной процедуры вычислений оценок объектов и коэффициентов компетентности естественно ставит вопрос о ее сходимости. Для рассмотрения этого вопроса исключим из уравнений (4), (6) переменные k^{t-1} и x_i^t и представим эти уравнения в векторной форме [7]:

$$x^t = \frac{1}{\lambda^{t-1}} Bx^{t-1}; k^t = \frac{1}{\lambda^t} Ck^{t-1} (t=1, 2, \dots), \quad (10)$$

где матрицы B размерности $n \times n$ и C размерности $m \times m$ равны [7]:

$$B = XX', C = X'X, X = \|x_{ij}\|. \quad (11)$$

Величина λ^t в уравнениях (10) определяется по формуле (5).

Если матрицы B и C неотрицательны и неразложимы, то, как это следует из теоремы Перрона – Фробениуса, при $t \rightarrow \infty$ векторы x^t и k^t - сходятся к собственным векторам матриц B и C , соответствующим максимальным собственным числам этих матриц [7]:

$$x = \lim_{t \rightarrow \infty} x^t, k = \lim_{t \rightarrow \infty} k^t, \quad (12)$$

Предельные значения векторов x и k можно вычислить из уравнений [7]:

$$\begin{aligned} Bx = \lambda_B x, \sum_{i=1}^n x_i = 1, |B - \lambda_B E| = 0, \\ Ck = \lambda_C k, \sum_{j=1}^m k_j = 1, |C - \lambda_C E| = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

где λ_B, λ_C - максимальные собственные числа матриц B и C .

Условие неотрицательности матриц B и C легко выполняется выбором неотрицательных элементов x_{ij} матрицы X оценок объектов экспертами.

Условие неразложимости матриц B и C практически выполняется, поскольку, если эти матрицы разложимы, то это означает, что эксперты и объекты распадаются на независимые группы. При этом каждая группа экспертов оценивает только объекты своей группы. Естественно, что получать групповую оценку в этом случае нет смысла. Таким образом, условия неотрицательности и неразложимости матриц B и C , а следовательно, и условия сходимости процедур (4), (5), (6) в практических условиях выполняются.

Следует заметить, что практическое вычисление векторов групповой оценки объектов и коэффициентов компетентности проще выполнять по рекуррентным формулам (4), (5), (6). Определение предельных значений этих векторов по уравнению (13) требует применения вычислительной техники.

Анализ результатов экспертной оценки

Долговечность-стоимость

Первоначально определим данные по качеству защитных покрытий по двум основным показателям – «долговечность» и «стоимость». Очевидно, что оба показателя оценивались экспертами в единой относительной шкале, т.е. «долговечность данного покрытия по сравнению с другими покрытиями» и «стоимость данного покрытия по сравнению со стоимостью других покрытий», выраженному в баллах. Чем выше балл, тем большая долговечность присуща данному покрытию (по мнению данного эксперта), а для стоимости наоборот, высший балл соответствует наиболее дешевому покрытию.

Для определенности примем важности (вес) обоих показателей равнозначными, т.е. $q_1=q_2=0,5$, а компетентность всех четырнадцати экспертов $k_j=1/14$ ($j=1, 2, \dots, 14$).

Таким образом, результаты экспертных оценок дают следующий приоритет для разных видов покрытий (в порядке приоритета):

Трассового нанесения:

| Вид покрытия | Ранг |
|--|------|
| Полиуретановые | 1 |
| Битумное мастичное | 2 |
| Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | 3 |
| Армопластобит | 4 |
| Полиэтиленовые ленты | 5 |

Заводского нанесения:

| Вид покрытия | Ранг |
|-----------------------------------|------|
| Полиэтиленовое экструдированное | 1 |
| Полипропиленовое экструдированное | 2 |
| Полимерцементное | 3 |
| Эпоксидное | 4 |
| Стеклоэмалевое | 5 |

Таблица 3

Экспертные оценки защитных покрытий по показателю «Долговечность»

| Эксперт | Полипропиленовое экструдированное | Эпоксидное | Стеклоэмалевое | Полимерцементное | Полиэтиленовое экструдированное | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимернобитумное |
|--------------|-----------------------------------|------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------|--------------------|-------------------|
| | Заводского нанесения | | | | | Трассового нанесения | | | | |
| 1 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 2 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| 6 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 3 |
| 7 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 |
| 9 | 5 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| 10 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 11 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 12 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 5 |
| 13 | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| 14 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 |
| Средний балл | 5,000 | 3,857 | 4,214 | 4,643 | 4,286 | 3,071 | 3,571 | 4,357 | 2,714 | 3,143 |
| Ранг | 1 | 5 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 | 5 | 3 |

Таблица 4

Экспертные оценки защитных покрытий по показателю «Стоимость»

| Эксперт | Полипропиленовое экструдированное | Эпоксидное | Стеклоэмалевое | Полимерцементное | Полиэтиленовое экструдированное | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимернобитумное |
|--------------|-----------------------------------|------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------|--------------------|-------------------|
| | Заводского нанесения | | | | | Трассового нанесения | | | | |
| 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 4 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 6 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 9 | 2 | 3 | 1 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 |
| 10 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 11 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 12 | 4 | 3 | 2 | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| 13 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| 14 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| Средний балл | 2,357 | 2,500 | 1,643 | 1,929 | 3,143 | 3,643 | 3,643 | 3,143 | 4,643 | 3,857 |
| Ранг | 3 | 2 | 5 | 4 | 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 |

Объединяя (т.к. вес показателей одинаков) данные таблиц 3 и 4 получим таблицу 5.

Таблица 5

Усредненные экспертные оценки защитных покрытий по показателю «Долговечность» и «Стоимость»

| Эксперт | Полипропиленовое экструдированное | Эпоксидное | Стеклоэмалевое | Полимерцементное | Полиэтиленовое экструдированное | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимернобитумные |
|------------------------------|-----------------------------------|------------|----------------|------------------|---------------------------------|----------------------|--|----------------|--------------------|-------------------|
| | Заводского нанесения | | | | | Трассового нанесения | | | | |
| Средний балл (долговечность) | 5,000 | 3,857 | 4,214 | 4,643 | 4,286 | 3,071 | 3,571 | 4,357 | 2,714 | 3,143 |
| Средний балл (Стоимость) | 2,357 | 2,500 | 1,643 | 1,929 | 3,143 | 3,643 | 3,643 | 3,143 | 4,643 | 3,857 |
| Средний балл (Общий) | 3,6785 | 3,1785 | 2,9285 | 3,286 | 3,7145 | 3,357 | 3,607 | 3,75 | 3,6785 | 3,5 |
| Ранг | 2 | 4 | 5 | 3 | 1 | 5 | 3 | 1 | 2 | 4 |

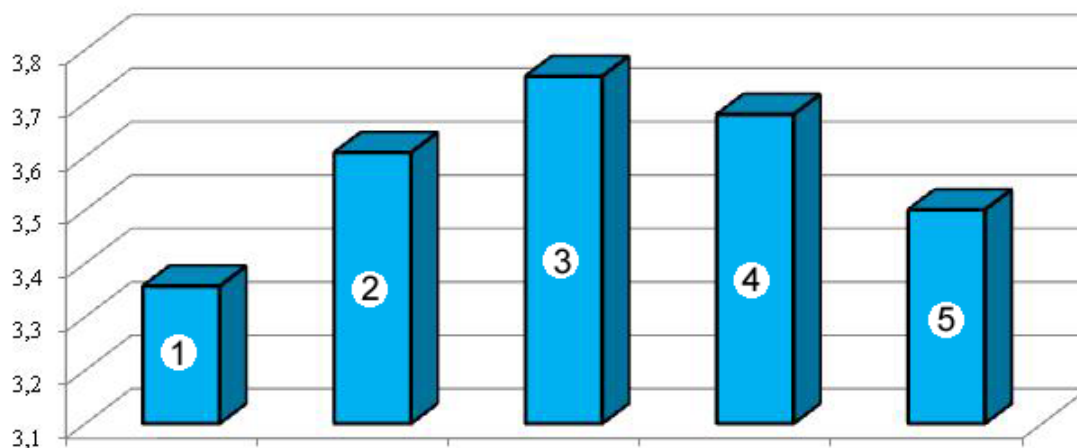


Рисунок 1. Диаграмма результатов экспертных оценок для трассового нанесения защитных покрытий:

- 1 — политэтиленовые ленты;
- 2 — политэтиленовые ленты с двухсторонним липким слоем;
- 3 — полиуретановые;
- 4 — битумное мастичное;
- 5 — полимернобитумные.

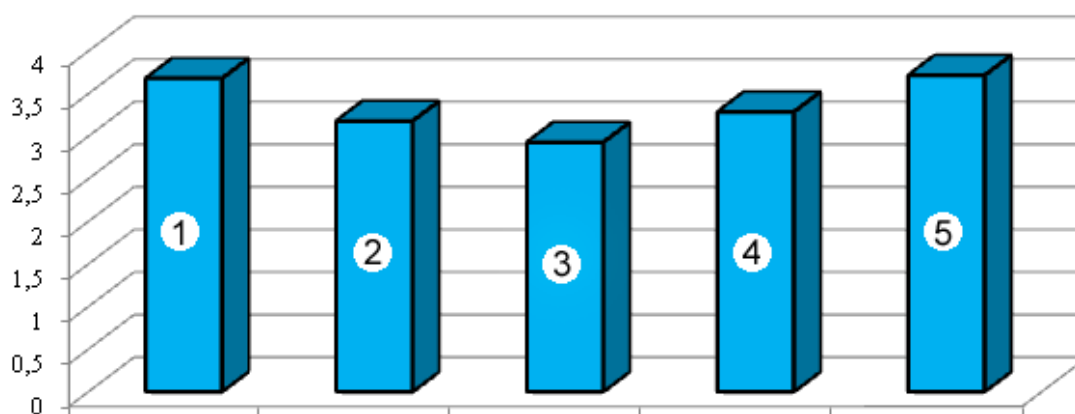


Рисунок 2. Диаграмма результатов экспертных оценок для заводского нанесения защитных покрытий:

- 1 — пропиленовое экструдированное;
- 2 — эпоксидное;
- 3 — стеклоэмалевое;
- 4 — полимерцементное;
- 5 — полиэтиленовое экструдированное.

Как следует из представленных данных, преимущества *полиуретанового покрытия* (при трассовом способе нанесения) и *полиэтиленового экструдированного* (при заводском способе нанесения) выражены незначительно (особенно первого). Это может быть связано с размытостью обобщенных понятий «долговеч-

ность» и «стоимость», взятых абстрактно, без привязки к конкретным условиям эксплуатации.

Поэтому на втором этапе анализа экспертных оценок нами были взяты более однозначные свойства (факторы) защитных покрытий. Поскольку для этого случая вес факторов может быть различен, то в опросные экспертные листы был включен соответствующий пункт.

Факторы устойчивости и защитных свойств покрытий

Расчеты будем проводить по формуле (1). Однако вначале необходимо определить параметры q_h и k_j , входящие в формулу (1), где q_h - коэффициенты весов показателей сравнения объектов, k_j - коэффициенты компетентности экспертов.

Поскольку q_h зависят от k_j (3), то вначале вычислим веса компетентности, ограничиваясь первыми двумя приближениями в соответствии с итерационными соотношениями (4-6).

Опуская промежуточные расчеты, запишем нормированную в соответствии с (2) матрицу компетентности экспертов (табл. 6):

Таблица 6

Матрица компетентности экспертов

| Эксперт | k_j |
|-----------|--------------|
| 1 | 0,061 |
| 2 | 0,079 |
| 3 | 0,202 |
| 4 | 0,021 |
| 5 | 0,066 |
| 6 | 0,045 |
| 7 | 0,076 |
| 8 | 0,087 |
| 9 | 0,019 |
| 10 | 0,012 |
| 11 | 0,090 |
| 12 | 0,137 |
| 13 | 0,064 |
| 14 | 0,041 |
| Сумма | 1,000 |

Наиболее компетентны эксперты №3 и №12, наименее - №10 и №9.

Далее, по формуле (3) вычисляем матрицу весов факторов (табл. 7, рис. 3).

Таблица 7

Матрица весов факторов

| | |
|---|--------|
| Адгезия к стали | 0,0700 |
| Водопроницаемость и водопоглощение | 0,0665 |
| Переходное электросопротивление | 0,0712 |
| Стойкость к катодному отслаиванию | 0,0618 |
| Газо- и воздухопроницаемость | 0,0513 |
| Объемная устойчивость | 0,0537 |
| Защитная способность от стресскоррозии | 0,0618 |
| Устойчивость к бактериям и грибостойкость | 0,0443 |
| Устойчивость к сдвиговому воздействию грунта | 0,0630 |
| Устойчивость к пенетрации | 0,0607 |
| Устойчивость к низким температурам | 0,0560 |
| Устойчивость к высоким температурам | 0,0642 |
| Ударная прочность | 0,0618 |
| Устойчивость при пластических деформациях труб | 0,0595 |
| Устойчивость к атмосферному воздействию УФ радиации | 0,0303 |
| Устойчивость к истиранию | 0,0280 |
| Устойчивость к разрушению | 0,0560 |
| Экологические характеристики | 0,0397 |
| Сумма | 1,000 |

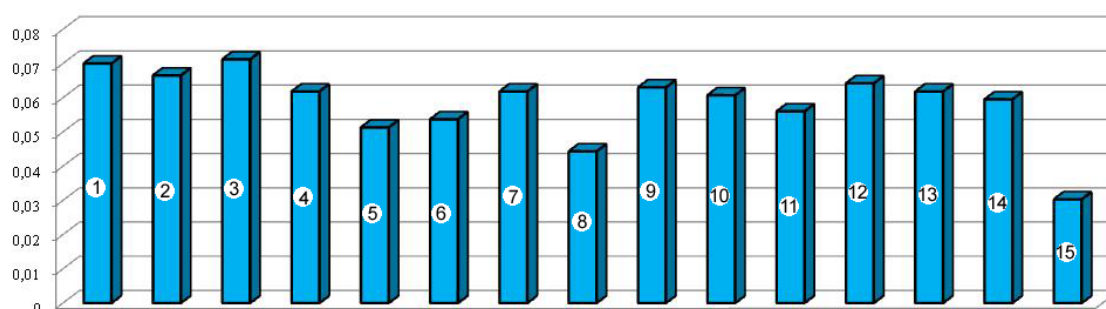


Рисунок 3. Диаграмма результатов экспертных оценок веса факторов:

- 1 — адгезия к стали;
- 2 — водопроницаемость и водопоглощение;
- 3 — переходное электросопротивление;
- 4 — стойкость к катодному отслаиванию;
- 5 — газо- и воздухопроницаемость;
- 6 — объемная устойчивость;
- 7 — защитная способность стресс-коррозии;
- 8 — устойчивость к бактериям и грибостойкость;
- 9 — устойчивость к сдвиговому воздействию;
- 10 — устойчивость к пенетрации;
- 11 — устойчивость к низким температурам;
- 12 — устойчивость к высоким температурам;
- 13 — ударная прочность;
- 14 — устойчивость при пластических деформациях труб;
- 15 — устойчивость к воздействию УФ.

Теперь имеем все данные для проведения расчетов групповой оценки объектов с учетом веса факторов и компетентности экспертов по формуле (1). После несложных расчетов получим следующие таблицы и диаграммы: для трассового нанесения табл. 8 и рис. 4, для заводского нанесения табл. 9 и рис. 5.

Как следует из представленных данных, учет в экспертных оценках конкретных свойств, оказывающих влияние на предпочтительность выбора защитного покрытия, позволяет более дифференцированно принимать решения. Например, ранг предпочтительности битумно-мастичного покрытия опустился со второго (рис. 1) на пятое (рис. 2), хотя на первом месте по-прежнему осталась полиуретановая изоляция.

Таблица 8

Результаты экспертной оценки для трассового нанесения защитных покрытий

| Эксперт | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимерно-битумное |
|---------|----------------------|--|----------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 0,230 | 0,234 | 0,282 | 0,198 | 0,232 |
| 2 | 0,302 | 0,325 | 0,359 | 0,175 | 0,265 |
| 3 | 0,761 | 0,835 | 0,886 | 0,598 | 0,714 |
| 4 | 0,085 | 0,093 | 0,098 | 0,073 | 0,069 |
| 5 | 0,239 | 0,251 | 0,302 | 0,148 | 0,221 |
| 6 | 0,166 | 0,183 | 0,186 | 0,094 | 0,143 |
| 7 | 0,291 | 0,318 | 0,345 | 0,168 | 0,256 |
| 8 | 0,312 | 0,353 | 0,389 | 0,198 | 0,282 |
| 9 | 0,079 | 0,087 | 0,090 | 0,067 | 0,064 |
| 10 | 0,041 | 0,044 | 0,043 | 0,041 | 0,041 |
| 11 | 0,351 | 0,367 | 0,403 | 0,274 | 0,325 |
| 12 | 0,513 | 0,528 | 0,593 | 0,391 | 0,489 |
| 13 | 0,244 | 0,281 | 0,290 | 0,203 | 0,242 |
| 14 | 0,151 | 0,164 | 0,169 | 0,086 | 0,130 |
| Сумма | 3,764 | 4,063 | 4,435 | 2,713 | 3,475 |
| Ранг | 3 | 2 | 1 | 5 | 4 |

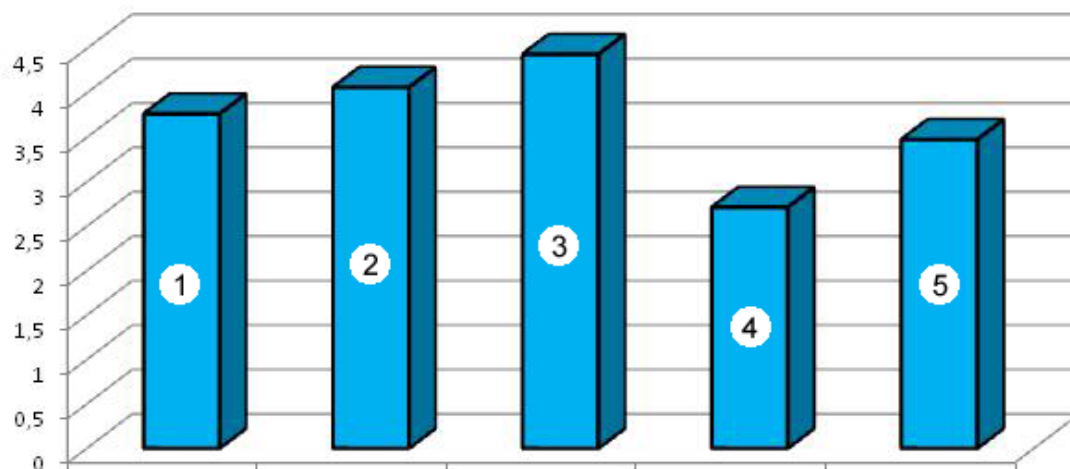


Рисунок 4. Диаграмма результатов экспертных оценок для трассового нанесения защитных покрытий:

- 1 — полиэтиленовые ленты;
- 2 — полиэтиленовые ленты с двухсторонним липким слоем;
- 3 — полиуретановые;
- 4 — битумное мастичное;
- 5 — полимернобитумные.

Таблица 9

Результаты экспертной оценки для заводского нанесения защитных покрытий

| Эксперт | Полипропиленовое экструдированное | Эпоксидное | Стеклоэмалевое | Полимерцементное | Полиэтиленовое экструдированное |
|---------|-----------------------------------|------------|----------------|------------------|---------------------------------|
| 1 | 0,304 | 0,277 | 0,279 | 0,296 | 0,302 |
| 2 | 0,388 | 0,329 | 0,348 | 0,383 | 0,366 |
| 3 | 0,981 | 0,863 | 0,916 | 0,957 | 0,954 |
| 4 | 0,101 | 0,079 | 0,089 | 0,079 | 0,098 |
| 5 | 0,329 | 0,277 | 0,287 | 0,321 | 0,300 |
| 6 | 0,218 | 0,196 | 0,202 | 0,210 | 0,212 |
| 7 | 0,374 | 0,317 | 0,335 | 0,369 | 0,353 |
| 8 | 0,426 | 0,365 | 0,382 | 0,420 | 0,402 |
| 9 | 0,093 | 0,073 | 0,082 | 0,074 | 0,091 |
| 10 | 0,049 | 0,047 | 0,047 | 0,044 | 0,049 |
| 11 | 0,441 | 0,383 | 0,406 | 0,435 | 0,426 |
| 12 | 0,616 | 0,589 | 0,612 | 0,596 | 0,652 |
| 13 | 0,308 | 0,267 | 0,290 | 0,313 | 0,303 |
| 14 | 0,199 | 0,179 | 0,184 | 0,192 | 0,193 |
| Сумма | 4,827 | 4,241 | 4,460 | 4,688 | 4,703 |
| Ранг | 1 | 5 | 4 | 3 | 2 |

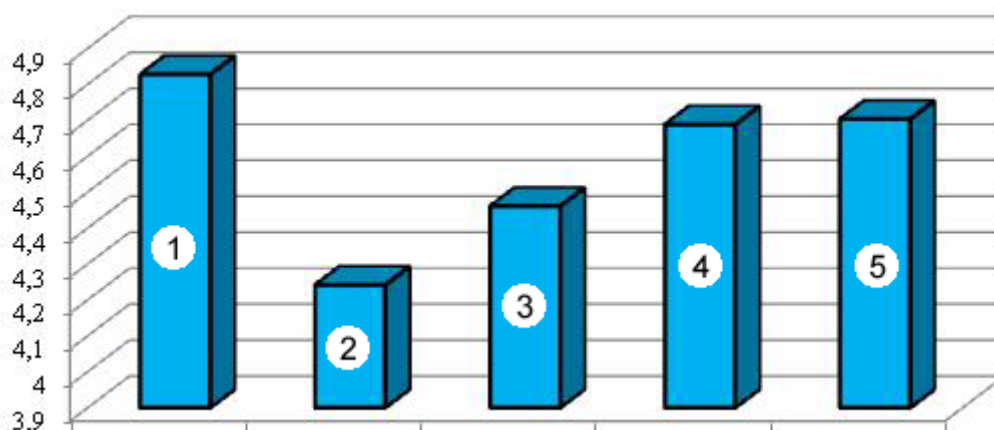


Рисунок 5. Диаграмма результатов экспертных оценок для заводского нанесения защитных покрытий:

- 1 — пропиленовое экструдированное;
- 2 — эпоксидное;
- 3 — стеклоэмалевое;
- 4 — полимерцементное;
- 5 — полиэтиленовое экструдированное.

Изменения наблюдаются и при заводском способе нанесения покрытий. Так, на первое место вместо полиэтиленовой изоляции вышла полипропиленовая изоляция.

Заметим, что в обоих случаях (по двум основным и по множеству свойств) лидирующие позиции занимают полипропиленовая изоляция и полиэтиленовые ленты с двухсторонним липким слоем.

Как следует из вышесказанного, для условий трассового нанесения единственным конкурентом полиэтиленовых лент с двухсторонним липким слоем является полипропиленовая изоляция. Для выяснения причин этого преимущества необходимо более подробно остановиться на тех свойствах этих типов изоляций, по которым между ними имеется существенное различие (по мнению экспертов).

В таблице 10 приведены обобщенные данные экспертов по оценке свойств различных типов покрытий. По выделенным жирным шрифтом пунктам полиуретановые имеет преимущество перед полиэтиленовыми лентами с двухсторонним липким слоем.

Таблица 10

Обобщенные данные экспертов по оценке свойств различных типов покрытий

| Свойства | Полиэтиленовые ленты | Полиэтиленовые ленты с двусторонним липким слоем | Полиуретановые | Битумное мастичное | Полимернобитумные |
|---|----------------------|--|----------------|--------------------|-------------------|
| Адгезия к стали | 3,92 | 4,20 | 4,13 | 2,87 | 3,01 |
| Водопроницаемость и водопоглощение | 2,59 | 3,53 | 3,92 | 2,53 | 2,93 |
| Переходное электросопротивление | 3,99 | 4,20 | 4,77 | 3,70 | 3,84 |
| Стойкость к катодному отслаиванию | 3,46 | 3,59 | 4,08 | 3,22 | 3,40 |
| Газо- и воздухопроницаемость | 2,52 | 2,93 | 3,34 | 1,90 | 2,26 |
| Объемная устойчивость | 2,68 | 3,01 | 3,54 | 1,66 | 2,74 |
| Защитная способность от стресскоррозии | 1,86 | 2,78 | 3,65 | 1,86 | 2,35 |
| Устойчивость к бактериям и грибостойкость | 2,66 | 2,62 | 2,84 | 1,68 | 2,08 |
| Устойчивость к сдвиговому воздействию грунта | 3,09 | 3,59 | 4,22 | 3,21 | 3,47 |
| Устойчивость к пенетрации | 3,40 | 3,46 | 3,64 | 2,12 | 3,03 |
| Устойчивость к низким температурам | 3,30 | 3,36 | 3,19 | 1,85 | 2,69 |
| Устойчивость к высоким температурам | 3,08 | 3,14 | 3,98 | 1,80 | 2,82 |
| Ударная прочность | 3,40 | 3,40 | 4,27 | 2,29 | 3,28 |
| Устойчивость при пластических деформациях труб | 3,87 | 3,93 | 3,81 | 2,20 | 2,38 |
| Устойчивость к атмосферному воздействию УФ радиации | 1,70 | 1,70 | 1,70 | 1,37 | 1,64 |
| Устойчивость к истиранию | 1,54 | 1,60 | 1,60 | 0,98 | 1,46 |
| Устойчивость к разрушению | 3,14 | 3,58 | 3,58 | 2,02 | 2,86 |
| Экологические характеристики | 2,62 | 2,58 | 1,43 | 1,59 | 1,82 |
| Водопроницаемость и водопоглощение | 3,77 | 4,08 | 4,41 | 2,77 | 3,43 |

Выводы

Разработана методика проведения экспертных оценок по определению оптимального вида изоляции, выявлены основные параметры, влияющие на долговечность и стоимость изоляционного покрытия, составлен опросный лист для экспертов. Подобрана группа экспертов, ведущих специалистов страны по проблемам защиты трубопроводов от коррозии. Проведен опрос экспертов. Проведен количественный расчет групповой экспертной оценки.

Проведенный анализ результатов групповой экспертной оценки выявил два наиболее предпочтительных вида изоляционных покрытий – полиуретановые и полиэтиленовые ленты с двухсторонним липким слоем для трассового нанесения и полипропиленовые и полиэтиленовые экструдированные для заводского нанесения.

Литература

1. Кузнецов М.В., Новоселов В.Ф., Тугунов П.И., Котов В.Ф. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1992. – 238 с.
2. Защита трубопроводов от коррозии: Том 1: Учебное пособие / Мустафин Ф.М. [и др.]. – СПб.: Недра, 2005. – 620 с.: ил.
3. Евланов Л.Г., Кутузов В.А. Экспертные оценки в управлении. - М.: Экономика, 1978. - 133 с.
4. Харисов Р.А. Оценка свойств защитных покрытий по пятибалльной шкале // Материалы международной учебно-научно-практической конференции «Трубопроводный транспорт-2006». –Уфа: 2006. - С.173-175.
5. Харисов Р.А., Волкова Е.С., Сагитова К.А. Экспертная оценка свойств защитных покрытий // Материалы 58-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. - Уфа: УГНТУ, 2007. - С.58.
6. Харисов Р.А. и др. Выбор значимых факторов экспертной оценки защитных покрытий трубопроводов // Материалы 60-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ. – Уфа: УГНТУ, 2009.
7. Орлов А.И. Экспертные оценки: Учебное пособие. - Москва: ИВСТЭ, 2002. -31 с. URL: <http://www.aup.ru/books/m154/> (дата обращения: 26.10.2009).