

## МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ НЕФТЕПРОВОДОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК

Т. Е. Мамонова

Институт кибернетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, 634050, Томск, Россия

УДК 622.692.482

Приведено описание методов постоянного мониторинга при обнаружении утечек из нефтепровода, в том числе их преимущества и недостатки. Проведена классификация представленных методов по девяти признакам.

**Ключевые слова:** нефтепровод, утечки из нефтепровода, метод обнаружения утечки, классификация.

In article the description of continuous monitoring methods at detection of leaks from the oil pipeline is carried out. Their merits and demerits are listed. Classification of the presented methods by nine offered signs is given.

**Key words:** oil pipeline, leak from oil pipeline, method of leak detection, classification.

**Введение.** Всего на территории Российской Федерации находится в эксплуатации 350 тыс. км внутрипромысловых нефтепроводов, на которых ежегодно отмечается свыше 50 тыс. инцидентов, имеющих опасные последствия [1]. Основными причинами высокой аварийности при эксплуатации трубопроводов являются сокращение ремонтных мощностей, низкие темпы работ по замене отработавших срок трубопроводов на трубопроводы с антикоррозионными покрытиями, а также прогрессирующее старение действующих сетей. Только на месторождениях Западной Сибири эксплуатируется свыше 100 тыс. км промысловых нефтепроводов, среди которых 30 % имеют 30-летний срок службы, однако в год заменяется не более 2 % трубопроводов. В результате ежегодно происходит 35–40 тыс. инцидентов, сопровождающихся выбросами нефти, в том числе в водоемы, причем их количество ежегодно увеличивается, а значительная часть инцидентов преднамеренно скрывается от учета и расследования.

По оценкам экспертов, причинами разрыва трубопроводов являются гидроудары, перепады давления и вибрации (60 % случаев); коррозионные процессы (25 %); природные явления и форс-мажорные обстоятельства (15 %) [2]. Участились аварии на трубопроводах, сопровождающиеся большими потерями природных ресурсов и широкомасштабным загрязнением окружающей среды. Согласно официальным данным только потери нефти вследствие аварий на магистральных нефтепроводах превышают 1 млн т в год (без учета потерь при прорывах внутрипромысловых трубопроводов).

Для своевременного обнаружения места прорыва трубопровода существует большое количество методов.

К методам обнаружения утечек предъявляются следующие основные требования [3]:

- 1) точность определения места утечки;
- 2) высокая чувствительность;
- 3) высокая степень надежности и автоматизации;
- 4) достоверность информации;
- 5) отсутствие помех, оказывающих влияние на режим перекачки;
- 6) безопасность при эксплуатации;
- 7) обеспечение контроля состояния трубопроводов большой протяженности;
- 8) экономичность;
- 9) работоспособность при плохих климатических и погодных условиях.

В данной работе приведено описание наиболее известных методов постоянного мониторинга утечек из нефтепроводов.

**Метод понижения давления с фиксированной или скользящей установкой.** Данный метод включает два способа.

1. Сравнение давления, рассчитанного по гидравлическому уклону нефтепровода при его заданной пропускной способности, с давлением, определяемым датчиками давления через определенные промежутки времени. Расчет выполняется аналитически с использованием компьютера. При этом вычисляются значения давления для каждой точки измерения с учетом изменения давления и расхода перекачки на головной станции. Найденные аналитически значения давления сравниваются с соответствующими измеренными значениями давления [4].

2. Измерение и сравнение локальных понижений давления на трубопроводе. ЭВМ через определенные промежутки времени фиксирует все значения давления в точках измерения на участке трубопровода и сравнивает их с записанными ранее. Если градиент давления превышает предварительно установленное значение (при постоянном расходе), то срабатывает сигнал тревоги. В обоих способах утечка определяется аналитически или по гидравлическому уклону.

Преимущества:

- 1) обеспечение оперативного обнаружения значительных утечек;
- 2) обеспечение непрерывного контроля появления значительных утечек;
- 3) возможность автоматической обработки измеряемых данных и выдачи результатов;
- 4) простота обслуживания приборов;
- 5) возможность применения независимо от направления перекачки;
- 6) обеспечение оперативного автоматического отключения насосов и перекрытия задвижек на поврежденном участке трубопровода при появлении утечек.

Недостатки:

- 1) возможность применения только при установившемся режиме эксплуатации трубопровода;
- 2) невозможность применения при наличии отводов и изменении диаметра трубопровода;
- 3) большая погрешность определения места утечки;

4) низкая чувствительность к величине утечки (неприменим для обнаружения незначительных утечек);

5) возможность ложных срабатываний системы аварийной остановки трубопровода.

**Метод сравнения расходов.** Метод основан на постоянстве мгновенного расхода нефтепродукта в начале и в конце участка трубопровода при отсутствии утечки и установившемся режиме перекачки [5].

На входе и выходе каждого участка трубопровода устанавливаются расходомеры турбинного или объемного типа, дистанционно связанные с компьютером, находящимся на центральном диспетчерском пункте. Информация от расходомеров поступает на компьютер. Программа, установленная на компьютере в соответствии с алгоритмом рассматриваемого метода, непрерывно проводит сравнение расходов в начале и в конце каждого участка трубопровода с учетом температурной поправки. В случае если разность расходов превышает допустимый предел, установленный программой, автоматически срабатывает аварийная сигнализация, извещающая о появлении утечки.

Преимущества:

1) быстрое обнаружение значительных утечек при установившемся режиме перекачки;

2) обеспечение непрерывного дистанционного контроля возникновения значительных утечек;

3) обеспечение автоматической обработки поступающей информации;

4) обеспечение автоматического прекращения перекачки по трубопроводу и перекрытия задвижек;

5) возможность использования независимо от погодных условий;

6) отсутствие влияния на режим перекачки.

Недостатки:

1) низкая точность при определении даже значительных утечек;

2) низкая чувствительность к величине утечки;

3) ложные показания системы в период пуска и прекращения перекачки по трубопроводу;

4) возможность использования компараторов расхода только на небольших участках трубопровода, так как они не учитывают температурную поправку и аккумулирующую способность трубопровода (способность накапливать вещество);

5) необходимость прекращения перекачки по трубопроводу в период смены и ремонта турбинных расходомеров;

6) наличие ложных срабатываний системы при последовательной перекачке различных нефтепродуктов.

**Метод сравнения изменения скорости расходов.** Метод основан на мгновенном изменении скорости расходов в начале и конце участка трубопровода при появлении утечки [5].

В начале и конце участка трубопровода устанавливаются измерительные диафрагмы (калиброванные сужения, позволяющие по разности давлений до и после сужения рассчитать скорость и расход жидкости), оборудованные устройствами дифференцирования. Электрические сигналы, пропорциональные скорости изменения расхода, по каналам телеметрии непрерывно поступают в диспетчерский пункт на вход компаратора, где сравниваются с пороговыми значе-

ниями. Повреждение или разрыв нефтепровода вызывает резкое изменение расхода транспортируемой нефти. Приблизительно место утечки можно определить по разности времен появления всплесков на трендах расходов в контрольных сечениях.

Преимущества:

- 1) возможность быстрого обнаружения значительных утечек при установившемся режиме перекачки;
- 2) обеспечение дистанционной и автоматической обработки поступающей информации о появлении утечки, прекращения перекачки и перекрытия задвижек на всем участке трубопровода;
- 3) обеспечение непрерывности контроля за появлением значительных утечек;
- 4) отсутствие влияния на режим перекачки и возможность применения независимо от погодных условий;
- 5) экономичность за счет использования, простых и долговечных измерительных диафрагм;
- 6) непосредственное измерение количественных показателей процесса перекачки, что позволяет упростить алгоритмы принятия решения о наличии утечки.

Недостатки:

- 1) низкая чувствительность к величине утечки;
- 2) низкая точность определения места утечки;
- 3) возможность ложных срабатываний при нарушении сплошного потока, изменении свойств партий перекачиваемой нефти или нефтепродуктов и усложнении технологических режимов перекачки;
- 4) необходимость прекращения перекачки по трубопроводу для обслуживания расходомеров;
- 5) возможность использования блоков сравнения расхода (компараторы) только на небольших участках, так как они не учитывают аккумуляющую способность нефтепровода.

**Корреляционный метод.** Корреляционный метод обнаружения утечек в нефтепроводах и определения мест их расположения основан на измерении виброакустического сигнала, генерируемого утечкой, с помощью двух датчиков (пьезодатчиков), установленных непосредственно на трубопроводе [6].

Если два датчика установить по обе стороны (в двух колодцах) от предполагаемого места утечки и с помощью двухканального анализатора измерить взаимно корреляционную функцию (функцию кросс-корреляции), то можно определить разность (задержку) времен распространения сигнала от места утечки до первого и до второго датчика.

Задержка определяется по максимуму функции кросс-корреляции сигналов, измеренных датчиками. Зная скорость распространения сигнала (звука) по трубе и расстояние между датчиками (колодцами, в которых они установлены), можно аналитически определить место расположения утечки. При этом важен правильный выбор частотного диапазона измерения и частотной полосы анализа [7].

Точность определения места утечки с помощью данного метода зависит от следующих параметров:

- точности измерения временной задержки (точности идентификации максимума кросс-корреляционной функции);
- точности измерения расстояния между датчиками;
- точности определения скорости распространения сигнала утечки по трубопроводу.

Точность определения первого параметра зависит от точности измерительного прибора как электронного устройства и применяемых в нем алгоритмов программной обработки сигналов, второго – от степени изученности трассы трубопровода, третьего – от отклонений скорости распространения звука по трубе от среднего значения (1200 м/с), которые в свою очередь зависят от материала и способа укладки труб, температуры, давления, состава перекачиваемой жидкости, структуры грунта и т. д.

Преимущества:

- 1) эффективность при определении значительных утечек;
- 2) возможность применения для любых трубопроводов и любых жидкостей в трубопроводах;
- 3) безопасность с экологической точки зрения.

Недостатки:

- 1) невозможность использования при определении малых утечек;
- 2) возможность ложных срабатываний сигнала;
- 3) неэкономичен, так как корреляционные течеискатели являются дорогостоящими приборами, для работы с которыми необходимо создавать специально обученную группу.

**Метод акустической эмиссии.** Метод основан на регистрации высокочувствительными пьезоэлектрическими датчиками, расположенными на контролируемом участке трубопровода, сигналов акустической эмиссии (АЭ) о микротрещинах в стенке трубопровода и об утечках жидкости [8, 9].

Для обнаружения мест утечек разработано специальное оборудование для анализа затухания и времени прихода импульсов АЭ. С помощью специальной программы, установленной на компьютер, анализируются сигналы от пьезодатчиков и определяется разность времен прихода звуковых сигналов АЭ к преобразователям. Компьютер обрабатывает поступающую информацию и с учетом скорости распространения сигналов АЭ и расстояния между датчиками на трубопроводе аналитически определяет местонахождение дефекта.

Преимущества:

- 1) эффективность при обнаружении малых утечек;
- 2) высокая точность обнаружения мест утечки;
- 3) обеспечение автоматической обработки информации и выдачи результатов обследования технического состояния магистральных трубопроводов с указанием степени опасности дефектов;
- 4) возможность применения для любых конструкций нефтепроводов;
- 5) возможность применения для любых нефтепродуктов;
- 6) обеспечение высокой степени достоверности результатов контроля.

Недостатки:

- 1) необходимость больших временных затрат для обследования трубопроводов большой протяженности;

- 2) высокая стоимость обследования;
- 3) зависимость от погодных и климатических условий;
- 4) необходимость установки пьезодатчиков с преусилителями на поверхности трубы, для чего требуется шурфовка;
- 5) ограниченность применения, так как сигналы АЭ являются шумоподобными и в случаях, когда их амплитуда мала, выделение полезного сигнала из помех представляет собой сложную задачу.

**Метод линейного баланса.** Метод основан на постоянстве мгновенного и интегрального значений объемов перекачиваемой жидкости в начале и конце участка трубопровода при отсутствии утечки и установившемся режиме перекачки [6].

На входе и выходе каждого участка трубопровода устанавливаются турбинные или ультразвуковые счетчики измерения количества перекачиваемого нефтепродукта. Информация от счетчиков непрерывно поступает по линии связи на вход компьютера центрального диспетчерского пункта. В компьютере через определенные разностные промежутки времени (15÷30 с) проводится сравнение объемов с учетом температурной поправки, вязкости, плотности и давления перекачиваемого продукта. При отсутствии утечки непрерывные сравнения значений измеренных объемов на концах участка трубопровода позволяют сделать вывод о его герметичности. Если разность объемов на входе и выходе участка трубопровода превышает установленное программой значение, то включается аварийный сигнал о появлении утечки.

Преимущества:

- 1) эффективность для быстрого обнаружения значительных утечек;
- 2) обеспечение определения величины значительной утечки;
- 3) обеспечение непрерывности дистанционного контроля появления значительных утечек;
- 4) обеспечение автоматической обработки поступающей информации и выдачи аварийного сигнала о появлении утечки, прекращения перекачки по трубопроводу и перекрытия задвижек;
- 5) возможность использования независимо от конструкции трубопровода и климатических условий.

Недостатки:

- 1) невозможность точного определения места появления значительной утечки;
- 2) сравнительно низкая чувствительность к величине утечки, невозможность использования для обнаружения малых утечек;
- 3) необходимость прекращения перекачки по трубопроводу для смены и ремонта турбинных счетчиков;
- 4) увеличение погрешности величины утечки при неустановившемся режиме эксплуатации трубопровода и последовательной перекачке различных нефтепродуктов.

**Метод ударных волн Жуковского.** Н. Е. Жуковский предложил определять места повреждений в трубопроводе с помощью ударной диаграммы (кривой зависимости давления от времени), записанной при гидравлическом ударе, созданном быстрым закрытием задвижки в конце участка трубы [10, 11]. В литературе данный метод называется методом сканирующих волн (методом ударной диаграммы Жуковского).

Н. Е. Жуковским была получена система уравнений, описывающая переходный режим при гидравлическом ударе без учета сил трения по длине. Физический смысл этих процессов заключается в преобразовании кинетической и потенциальной энергий, которые определяют физические свойства среды и характер волновых процессов, происходящих в ней. Решения данных уравнений получены для случая распространения импульса прямоугольной формы вдоль идеализированного трубопровода. При этом труба является цилиндрической с постоянной площадью сечения при исходном давлении; течение жидкости по трубе одномерное; гидравлические сопротивления для стационарных течений и неустановившегося движения эквивалентны; стенки трубы упругие и удовлетворяют закону Гука под нагрузкой от давления [5].

Вывод о наличии утечки делается в результате сравнения модельного решения и тренда показаний датчика давлений в конце диагностируемого участка нефтепровода. Зная скорость распространения ударной волны в заданном трубопроводе, можно с достоверной точностью определить место повреждения трубопровода.

Преимущества:

- 1) относительно невысокая стоимость;
- 2) почти мгновенное получение данных о состоянии трубопровода;
- 3) непрерывность контроля во времени;
- 4) эффективность при обнаружении значительных утечек (разрывов) трубопровода;
- 5) независимость от погодных условий;
- 6) расположение оборудования в пределах насосной станции;
- 7) обеспечение дистанционного мониторинга эксплуатационного участка;
- 8) возможность обнаружения утечки (несанкционированной врезки) на стадии сброса (отбора) продукта с постоянным расходом.

Недостатки:

1) создание ударной волны путем быстрого закрытия задвижки, перекрывающей все сечение трубопровода, в результате чего резко повышается давление (гидравлический удар с амплитудой  $0,5 \div 1,0$  МПа) и может произойти дополнительное разрушение трубопровода [5];

2) возможность обнаружения утечек при микроударах только на участках трубопровода небольшой протяженности – порядка нескольких сотен метров (при малых утечках) или нескольких километров (при больших утечках);

3) низкая чувствительность к величине утечки;

4) снижение чувствительности метода при последовательной перекачке различных нефтепродуктов.

**Метод отрицательных ударных волн.** Во многих работах данный метод называется методом улавливания волн давления [12]. Идея метода основана на регистрации фронта волны изменения давления, которая возникает в месте разгерметизации трубопровода. Координаты места возникновения утечки вычисляются по разности времен прихода фронта волны на концы контролируемого участка. Скорость распространения волны изменения давления равна скорости звука в потоке, ограниченном стенками трубы. При движении волны давления ее амплитуда постепенно уменьшается вследствие наличия гидравлического сопротивления, причем умень-

шение тем более существенно, чем больше скорость потока в трубопроводе. В результате для технической реализации указанного метода необходимы достаточно точные индикаторы давления.

Для повышения точности определения местоположения утечки и направления распространения волны давления количество датчиков может быть увеличено, однако в принципе для работы системы достаточно двух датчиков.

Преимущества:

- 1) непрерывность контроля во времени;
- 2) оперативное обнаружение криминальных врезок;
- 3) высокая избирательность;
- 4) возможность применения независимо от погодных условий.

Недостатки:

- 1) необходимость поддержания такого давления внутри нефтепровода, которое обеспечивает полное заполнение сечения нефтепродуктом;
- 2) невозможность использования для контролируемых участков со сложным профилем местности, особенно с большими перепадами высот вблизи пункта приема нефтепродукта;
- 3) низкая чувствительность к величине утечки;
- 4) сложность фиксации появления утечки в динамическом режиме вследствие наличия колебаний давления, вызванных работой насосных агрегатов и движением элементов запорной арматуры;
- 5) снижение чувствительности при последовательной перекачке нефтепродуктов различного типа;
- 6) искажение полезного сигнала на самотечных участках;
- 7) невозможность использования метода на стадии сброса продукта при постоянном расходе.

**Метод гидравлической локации утечки.** Данный метод основан на анализе гидравлических характеристик участка нефтепровода. Метод локации места утечки нефтепродукта и оценки ее интенсивности основан на измерении гидравлических уклонов на двух специально выбранных базисных сегментах, находящихся вблизи перекачивающих станций [3]. Задача состоит в том, чтобы указать место утечки нефти и оценить ее интенсивность по изменению гидравлических уклонов на этих сегментах.

Преимущества:

- 1) низкая эксплуатационная стоимость;
- 2) использование только штатных средств контрольно-измерительных приборов;
- 3) визуализация распределения давления по трассе;
- 4) оперативность обнаружения утечек;
- 5) возможность определения интенсивности утечки.

Недостатки:

- 1) низкая чувствительность ( $5 \div 15$  % номинального значения расхода трубопровода), зависящая от местоположения дефектного участка [5];
- 2) наличие зон в начале и конце эксплуатационного участка, в которых утечка с использованием данного метода не определяется;
- 3) возможность применения только при установившемся режиме эксплуатации изотермического трубопровода;
- 4) невозможность использования в трубопроводных сетях со сбросами и подкачками;



## Классификация методов постоянного мониторинга утечек из нефтепровода

Метод контроля	Точность	Чувствительность	Надежность и автоматизация	Достоверность информации	Помехоустойчивость	Безопасность в эксплуатации	Протяженность участка трубы	Экономичность	Влияние климатических условий
Метод сравнения расходов	н	н	в	н	н	в	н	в	н
Метод понижения давления с фиксированной или скользящей установкой	в	н	в	н	н	в	в	в	н
Метод сравнения изменения скорости расходов	н	н	в	н	н	в	н	в	н
Корреляционный метод	в	н	в	н	в	в	в	н	н
Метод акустической эмиссии	в	в	в	в	н	в	н	н	в
Метод линейного баланса	н	н	в	в	н	в	в	н	н
Метод ударных волн Жуковского	в	н	в	в	н	в	в	в	н
Метод отрицательных ударных волн	в	н	в	в	н	в	в	в	н
Метод гидравлической локации утечки	в	н	в	в	н	в	в	в	н

Примечание: н – низкий уровень, в – высокий уровень.

5) ложные срабатывания системы обнаружения утечек вследствие того, что чувствительность алгоритма к изменению проходного сечения труб в 3–5 раз выше чувствительности к утечке;

б) снижение точности при уменьшении интенсивности утечки.

**Классификация методов постоянного мониторинга утечек из нефтепроводов.** Классификация методов обнаружения утечек из нефтепроводов проводилась в работах [5, 12–15]. В настоящей работе классификация методов проводится по основным девяти критериям, указанным выше (см. таблицу).

Таким образом, методы постоянного контроля обеспечивают точное определение места возникновения утечки большой интенсивности. Наиболее точно рассматриваемым требованиям удовлетворяет метод акустической эмиссии, который позволяет определять утечку с высокой точностью, является надежным методом без ложных срабатываний, слабо зависит от климатических и погодных условий и имеет высокий уровень безопасности, однако он является неэкономичным и предназначен для использования на нефтепроводах небольшой протяженности. Методами с низкой точностью являются метод сравнения расходов, метод сравнения изменения скорости расходов и метод линейного баланса. Обладая высокой точностью, корреляционный метод допускает ложные срабатывания.

Метод отрицательных ударных волн, метод ударных волн Жуковского и метод гидравлической локации утечки экономичны, позволяют с высокой точностью определять утечку, однако уступают по ряду других критериев.

Следует отметить, что наиболее точно интенсивность утечки может быть рассчитана с помощью метода линейного баланса и метода гидравлической локации утечки.

**Выводы.** В работе представлены основные методы постоянного контроля утечек в нефтепроводах. Приведена классификация представленных методов, на основе которой можно сделать следующие выводы:

- 1) ни один из рассмотренных методов обнаружения утечек не удовлетворяет всем предъявляемым к ним требованиям;
- 2) наиболее точные методы основаны на использовании специальных устройств дополнительной диагностики, что приводит к периодичности применения этих методов;
- 3) с помощью существующих методов мониторинга целостности трубопроводов практически невозможно обнаружить "криминальные" утечки (несанкционированные врезки в нефтепроводы) вследствие кратковременности их использования или малой интенсивности.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод о необходимости создания специального метода обнаружения утечек, применимого для определения параметров малых утечек из нефтепровода, в том числе несанкционированных врезок.

#### Список литературы

1. Аварии на нефтепроводах: Текут нефтяные реки... // Беллона [Электрон. ресурс]. [http://www.bellona.ru/russian\\_import\\_area/energy/renewable/30468](http://www.bellona.ru/russian_import_area/energy/renewable/30468).
2. РИА "Новости". [Электрон. ресурс]. <http://www.tv2.ru/category/istochnik-informatsii/ria-novosti>.
3. ВАЙНШТОК С. М. Трубопроводный транспорт нефти: Учеб. для вузов: В 2 т. / С. М. Вайншток, В. В. Новоселов, А. Д. Прохоров, А. М. Шаммазов и др. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. Т. 1.
4. ВАЙНШТОК С. М. Трубопроводный транспорт нефти: Учеб. для вузов: В 2 т. / С. М. Вайншток, В. В. Новоселов, А. Д. Прохоров, А. М. Шаммазов и др. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. Т. 2.
5. КУТУКОВ С. Е. Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах // Нефтегаз. дело. 2004. Т. 2. С. 29–45.
6. AVHULIMEN K. E., SUSU A. A. Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation // Chem. Engng J. 2004. N 97. P. 47–67.
7. Основные методы поиска утечки, реализованные в передвижной (мобильной) лаборатории ЛПУ ООО "Энерго-Профиль". Корреляционный метод определения мест утечек жидкости в трубопроводах и принцип работы трубопроводных корреляционных течеискателей. [Электрон. ресурс]. [http://pribor-yar.ru/metod\\_utechka](http://pribor-yar.ru/metod_utechka).
8. GORNY M. Monitoring acoustic noise in steel pipelines // Proc. of the 7th Intern. pipeline conf., Calgary (Canada), Sept. 29 – Oct. 3, 2008. Alberta: ASME, 2008. P. 18–26.
9. ЛАПШИН Б. М., ОВЧИННИКОВ А. Л. Взаимно спектральный метод обнаружения утечки на трубопроводах с односторонним доступом // Дефектоскопия. 2004. № 9. С. 19–26.
10. GEIGER G. Principles of leak detection // Fundamentals of leak detection. KROHNE oil and gas. 2005.
11. ГУМЕРОВ А. Г., АЗМЕТОВ Х. А., ГУМЕРОВ Р. С., ВЕКШТЕЙН М. Г. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов. Все про нефть и газ. [Электрон. ресурс]. <http://neft-i-gaz.ru/litera/index001Obtitul.htm>.
12. Гольянов А. А. Анализ методов обнаружения утечек на нефтепроводах // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2002. № 10. С. 5–14.
13. Эксплуатация магистральных нефтепроводов: Учеб. пособие. 2-е изд. / Под общ. ред. Ю. Д. Земенкова. Тюмень: ТюмГНГУ, 2001.
14. ЗВЕРЕВ Ф. С. Совершенствование технологий обнаружения утечек нефти из трубопроводов: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2010.
15. КРАСОВСКИЙ А. А. Разработка методов и алгоритмов автоматизированного комплекса мониторинга и управления магистральными нефтепроводами: Дис. ... канд. техн. наук. М., 2011.

*Мамонова Татьяна Егоровна – ассист. Института кибернетики Томского политехнического университета; тел.: (382-2) 70-18-37; e-mail: mamte@sibmail.com*

Дата поступления – 16.09.12 г.

## ФОРМИРОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ В СЕМАНТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕКАХ

Ле Хоай, А. Ф. Тузовский

Институт кибернетики Национального исследовательского  
Томского политехнического университета, 634034, Томск, Россия

УДК 004.02:004.82

Рассматривается задача формирования списков электронных ресурсов, рекомендуемых пользователям семантических электронных библиотек, сформированных на основе контекстных метаданных. Анализируются возможные методы решения и обосновывается решение данной задачи с использованием семантических технологий. Приведены экспериментальные результаты работы предложенного алгоритма.

**Ключевые слова:** метаописание документов, контекстные метаданные, семантическая близость, семантические технологии, семантическая электронная библиотека, рекомендация документов.

This paper examines the task of creating users's digital document recommendations in digital libraries based on contextual metadata. Methods for solving this problem are discussing, and arguing with selected semantic technologies, and also the experimental results of the proposed algorithm are showing.

**Key words:** document metadescription, contextual metadata, semantic similarity, semantic technologies, semantic digital library, document recommendation.

**Введение.** Применение семантических технологий для улучшения функциональности электронных библиотек и решения их основных задач является перспективным направлением [1]. Семантические электронные библиотеки (СЭБ) представляют собой новое поколение электронных библиотек, при этом семантика содержания информационных объектов – электронные ресурсы (ЭР) (документы, изображения, профиль пользователя и т. д.) – описываются явно с помощью специальных языков.

При разработке СЭБ необходимо решить ряд задач, таких как категоризация ЭР, их поиск и формирование рекомендаций пользователям [1]. Используемый в настоящее время подход к решению задачи формирования рекомендаций ЭР на основе ключевых слов имеет много недостатков, обусловленных омонимией, полисемией и синонимией языка. Кроме того, в традиционном подходе не учитывается семантика содержания ЭР.

Явное описание семантики содержания ЭР на основе онтологий подразумевает процесс составления набора утверждений в виде триплетов, состоящих из трех компонентов субъект – предикат – объект. Использование таких описаний позволяет выполнять вычисление семантической близости между электронными ресурсами библиотек.