

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf>

DOI: 10.15862/66TVN116 (<http://dx.doi.org/10.15862/66TVN116>)

Статья опубликована 21.03.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Нигаматова О.И., Овчинников И.Г. Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/66TVN116

Нигаматова Ольга Ивановна

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения», Россия, Екатеринбург¹

Аспирант кафедры «Мосты и транспортные тоннели»

E-mail: olganigamatova@ya.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=733517

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Россия, Пенза

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь

Доктор технических наук, профессор

E-mail: bridgesar@mail.ru

Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений

Аннотация. В процессе эксплуатации мостовые сооружения подвергаются воздействию агрессивных факторов окружающей среды, постоянных и временных нагрузок, поэтому с течением времени ухудшается их техническое состояние. Для эффективного управления за состоянием мостовых сооружений во многих государствах внедряются экспертные системы.

Экспертные системы – это компьютерные программы, которые используют накопленные знания с целью отыскания удовлетворительного решения определенной задачи в реальных условиях. Основу экспертной системы составляет база знаний, которая закладывается в экспертную систему в процессе ее разработки и может редактироваться при использовании.

В статье рассмотрены экспертные системы управления состоянием мостовых сооружений на автомобильных дорогах Германии (BridgeManagementSystem), Соединенных Штатов Америки (PontisBMS) и Швейцарии (KUBA).

Во второй части статьи приведен алгоритм формирования работы экспертной системы, базирующейся на аппарате нечеткой логики. Выполнено преобразование состояния элементов (на примере дефектов, возникающих в железобетонных пролетных строениях) в виде лингвистических переменных и их терм. Заданы правила формирования функции принадлежности выходной переменной. Предложена методика оценки состояния мостовых сооружений и возможность определения корректности ее работы.

¹ 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Ключевые слова: мостовое сооружение; мониторинг; нечеткая логика; экспертная система; дефекты и повреждения; надежность

При эксплуатации мостовых сооружений широко применяется для оценки технического состояния визуальное обследование. Поэтому возникает необходимость в установлении состояния обследуемого сооружения по внешним признакам.

В процессе эксплуатации мостовые сооружения подвергаются воздействию агрессивных факторов окружающей среды, постоянных и временных нагрузок. В основных несущих конструкциях в следствии различных повреждений наблюдаются повреждения: трещины, потеря устойчивости элементов, пластические деформации, коррозионные повреждения и т.д. Таким образом, со временем ухудшается техническое состояние мостовых сооружений.

Анализ мирового опыта систем управления эксплуатацией мостовых сооружений показывает, что при разработке систем поддержки принятия решений наиболее перспективным является применение технологии экспертных систем [1]. Вопросы применения экспертных систем для оценки технического состояния мостовых сооружений и систем управления эксплуатацией были рассмотрены в работах Овчинникова И.Г. [11, 12], Бокарева С.А. [13, 14], Рыбалова А.Ю. [15].

Экспертные системы – это компьютерные программы, которые используют накопленные знания с целью отыскания удовлетворительного решения определенной задачи в реальных условиях. Основу экспертной системы составляет база знаний, которая закладывается в экспертную систему в процессе ее разработки и может редактироваться при использовании.

Отличительной особенностью экспертных систем является полная доступность всей информации по данной проблеме, автоматизированный ее поиск и анализ, а также решение проблемы не только по вводимым данным, но и с учетом всей имеющейся информации в базе знаний и в архиве системы. Работа с системой осуществляется по технологии меню и подсказок, пользуясь которыми можно провести все расчеты, проанализировать реальную ситуацию, а также осуществить модификацию и расширение базы знаний и архива системы [2].

В экспертных системах для оценки технического состояния, основанных на знаниях, правила, по которым решаются задачи о состоянии моста, хранятся в базе знаний, являющейся ядром экспертной системы. Проблемы ставятся перед системой в виде совокупности фактов, описывающих некоторую ситуацию, и система с помощью базы знаний формирует решение. Система, как правило, функционирует в циклическом режиме в такой последовательности [3]:

- 1) запрос данных или результатов анализа;
- 2) наблюдение, интерпретация результатов;
- 3) усвоение новой информации;
- 4) выдвижение с помощью правил временных гипотез;
- 5) выбор следующих данных или результатов анализа, до тех пор, пока не поступит информация, достаточная для окончательного вывода решения.

Экспертные системы, основанные на знаниях, содержат три типа знаний:

- структурированные статические знания о предметной области; после того как эти знания выявлены, они уже не изменяются;
- структурированные динамические знания – изменяемые знания о предметной области, которые обновляются по мере выявления новой информации;
- текущие знания, используемые для решения конкретной задачи или проведения консультации.

База знаний создается и постоянно обновляется в процессе ее эксплуатации. Построение базы знаний включает три этапа:

- описание предметной области;
- выбор модели представления знаний;
- приобретение знаний.

Одной из наиболее сложных проблем, возникающих при создании экспертных систем, является приобретение знаний – преобразование знаний эксперта и описание применяемых им способов поиска решений в форму, позволяющую представить их в базе знаний, а затем эффективно использовать для решения задач по оценке технического состояния.

Методология эффективного построения экспертных систем базируется не только на воспроизведении представления и использования знаний эксперта, но и на мышлении человека. Процесс мышления человека имеет свои особенности на каждой фазе: приобретении и обработки неполной информации, приближенных рассуждений, оценки сложных объектов, заключений и принятия решений в недостоверных ситуациях и др. Например, пусть данные об отношении x и y неполны, тогда человек будет представлять, и истолковывать такую неполную информацию следующим образом:

«Если x равен примерно 2, то y будет примерно 100, а если x равен 7, то y – примерно 120» или «если x малое, то y – большое» [4].

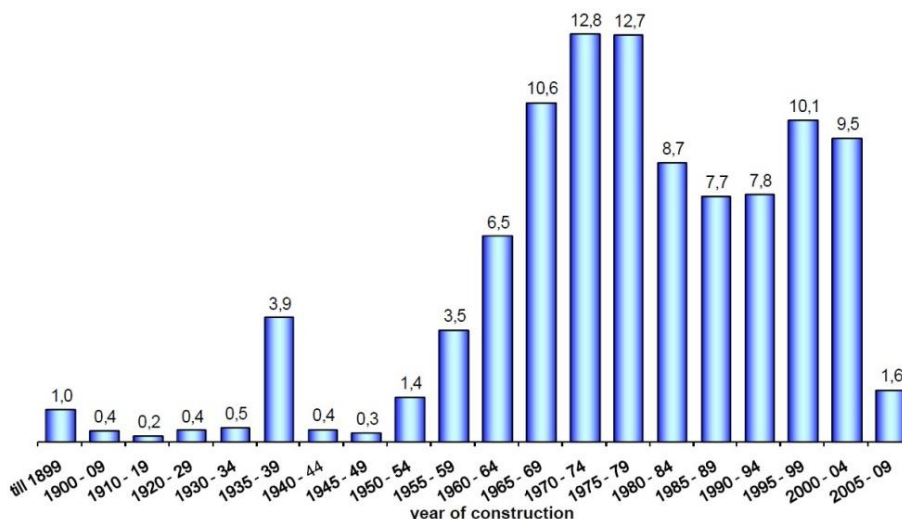
Экспертные системы Германии, США и Швейцарии

Рассмотрим развитие и применение экспертных систем на примере мирового опыта.

Германия. Дорожная инфраструктура Германии развивалась в течение веков. В настоящее время безопасность инфраструктуры должна обеспечиваться с учетом экологических аспектов. В то же время собственник должен убедиться, что содержание осуществляется наиболее эффективным способом. Учитывая тот факт, что финансовые ресурсы ограничены, затраты на техническое обслуживание должны быть потрачены таким образом, чтобы получить наибольшую возможную выгоду. В случае мостовых сооружений, которые являются одним из наиболее важных участков автодорожной инфраструктуры в Германии, эта задача выполняется применением системы управления мостами (BridgeManagementSystem – BMS). Существующая немецкая система BMS содержит процедуры оценки и оптимизации как на объекте, так и на автодорожной сети и является основой для достижения и удовлетворения будущих потребностей. Развитие системы касается жизненного цикла и ориентировано на качество, разумное управление инфраструктурой, что в целом будет способствовать достижению эффективности и устойчивости сети.

В Германии федеральная дорожная сеть, пропускает транзитные перевозок в связи с центральным положением в Европе, с каждым годом транспортные нагрузки возрастают из-за развития европейского рынка. На сегодняшний день на федеральных автомобильных дорогах

эксплуатируется около 70% мостовых сооружений из предварительно-напряженного железобетона, основная часть мостов была построена между 1960 и 1980-х годов (Рисунок 1). Несмотря на планируемый срок службы более 70 лет, на десятках мостов через некоторое время (в период от 30 до 40 лет) появились основные повреждения. Кроме коррозионных повреждений в предварительно напряженных железобетонных мостовых сооружениях, есть и другие: усталостные эффекты в конструкциях, разрыв арматуры вследствие коррозии, вызванной некачественным цементированием каналов и т.д. Со временем многие проблемы были рассмотрены и на сегодняшний день достигнуто высокое качество строительства конструкций [5].



На оси абсцисс отложены годы строительства мостовых сооружений

Рисунок 1. Продолжительность эксплуатации мостовых сооружений в Германии (на 1 января 2007 г.) [5]

Для поддержки экономически эффективного и устойчивого управления эксплуатацией разработана система управления мостами (BMS) с целью формирования стратегии технического обслуживания сооружений. Она позволяет формировать и планировать выполнение строительных работ. Для ее эффективного функционирования важно получить информацию о состоянии мостовых сооружений, поэтому все конструкции должны быть проверены в определенные промежутки времени. В соответствии с немецким стандартом DIN 1076 (Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung. Beuth Verlag Berlin, Version November 1999) различают: основные осмотры, простые осмотры, осмотры в особых случаях, осмотры по специальным и регулярным наблюдениям. Основные осмотры проводятся регулярно каждые 6 лет; простые осуществляются через 3 года после основного обследования. Кроме того, регулярные осмотры в соответствии с DIN 1076 выполняются после проведения специальных мероприятий или по требованию. При основных осмотрах выполняются визуальный контроль состояния сооружения. Некоторые полевые испытания для более детального обследования выполняются с использованием методов неразрушающего контроля (НК), например, молоток-Шмидта – для определения прочности бетона.

Результаты осмотра заносятся в базу данных “SIB-Bauwerke”, которая содержит технические данные, касающиеся периода строительства и характеристики сооружения, а также информация о затратах и предлагаемые меры по техническому обслуживанию для каждого мостового сооружения в автодорожной сети. Все повреждения, выявленные во время

осмотра, оцениваются по четырех бальной шкале (для оценки стабильности критериев по безопасности дорожного движения и долговечности). Показатель технического состояния варьируется в диапазоне от 1,0 (очень хорошее состояние) до 4,0 (неудовлетворительное состояние). На рисунке 2 показано, как распределяется показатель технического состояния мостовых сооружений на федеральной дорожной сети. Все данные заносятся местными дорожными управлениями, обновляются каждые полгода, и направляются в Федеральное министерство транспорта, строительства и городского развития (BMVBS).

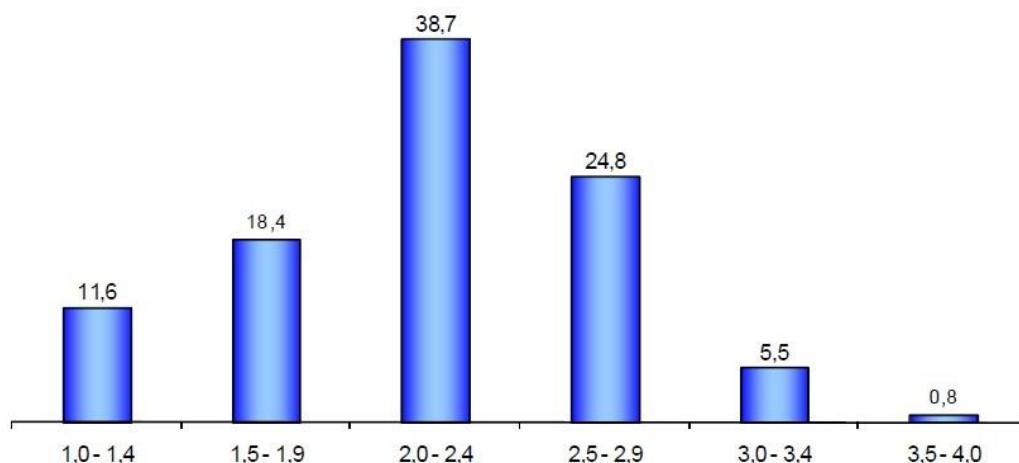


Рисунок 2. Показатель технического состояния мостовых сооружений на федеральной дорожной сети в Германии (на 1 января 2007 г.) [5]

В сложных случаях, когда общих процедур осмотра не достаточно, а также в случаях, если специальные исследования необходимы, чтобы прийти к более точной оценке размеров и причин повреждений и, определить соответствующие меры по технической эксплуатации выполняется мониторинг сооружений. Мониторинг является перспективным методом для достижения дополнительной информации о изменении во времени «поведения» мостов. В настоящее время он применяется, если общий осмотр не эффективен. Опыт немецких специалистов показывает, что мониторинг не может быть альтернативой проверки в соответствии с DIN 1076, однако он может быть использован для углубления и подтверждения результаты проверки [5]. Условием для успешного применения является глубокое знание структурного поведения и методов измерения.

США. Pontis BMS – экспертная система американской ассоциации государственных автомобильных дорог и транспорта (AASHTO). Pontis выполняет полный цикл управления мостовыми сооружениями, в том числе обследование мостов, сбор, обработку и сохранение данных. Pontis широко используется в США, и имеет значительное присутствие на международном уровне (например, в Италии [9]). По состоянию на октябрь 2002 года в США было 46 учреждений, использующих Pontis, в том числе 39 штатов или территориальных транспортных отделов и 7 прочих учреждений (рисунок 3) [6].

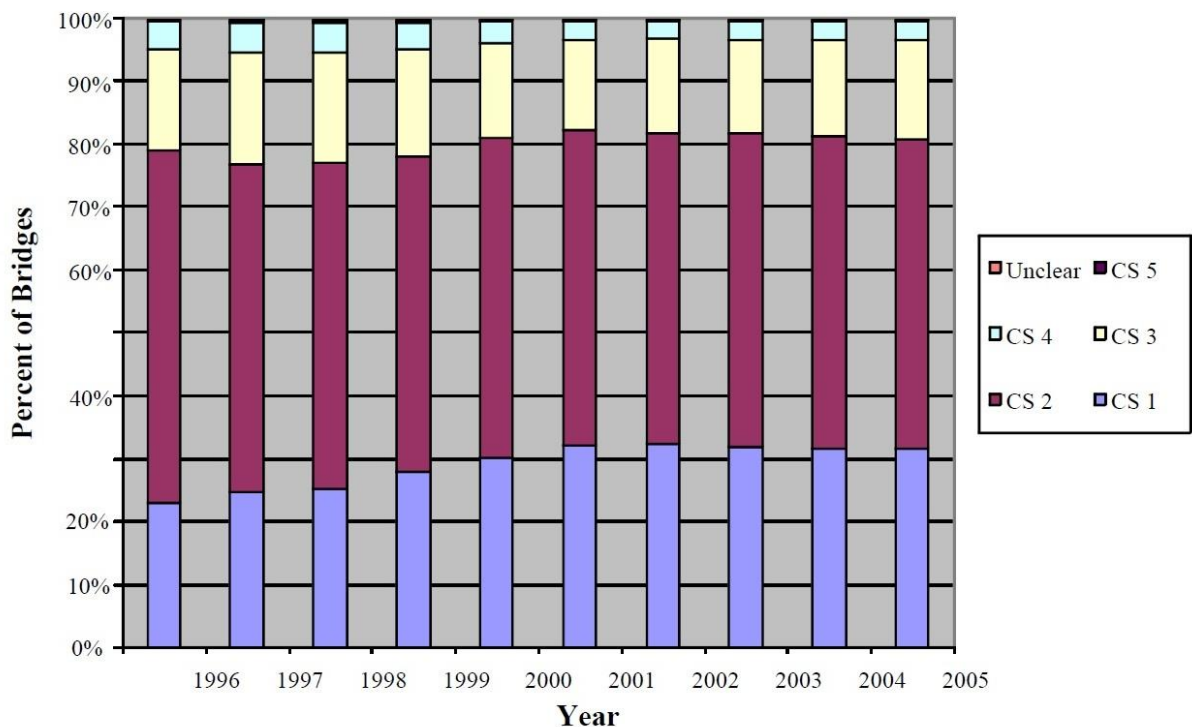
В PontisBMS каждое мостовое сооружение состоит из подэлементов. Примером распространенных типов элементов являются – проезжая часть, пролетные строения, опорные части, опоры и т.д.

Поддержка работы транспортных учреждений является важным компонентом успеха Pontis BMS. Агентства, использующие программное обеспечение имеет доступ к большому функционалу с настройками работы базы данных Pontis. Программный продукт поддерживает разработку апплетов и внешних приложений, которые может использовать базы данных Pontis. Учреждения, использующие базу данных, воспользовались вариантом настройки Pontis, чтобы адаптировать продукт для удовлетворения своих потребностей. Более 80% учреждений, использующих базу данных сделали настройки в системе, и более одной трети сделали обширные настройки. Ключевые темы в области внедрения и разработки Pontis включают индивидуальную настройку системы на основе потребностей тех или иных учреждений. Учитывая разнообразные потребности учреждений важным шагом в развитии продукта в будущем является возможность развития функционала базы данных. Тем не менее, будущие усовершенствования продукта должны быть сделаны таким образом, чтобы сохранить возможность изменения параметров системы учреждениями по настройке системы для удовлетворения своих уникальных потребностей.

Швейцария. KUBA (с немецкого "KUnstBAuten" или искусственные сооружения) – это комплексная система управления дорожной структурой разработанная для Швейцарского федерального управления автомобильных дорог. KUBA похожа на другие государственные системы управления, но имеет многочисленные отличительные характеристики. Она состоит из четырех компонентов: управление дорожной структурой (KUBA-DB), сохранение результатов планирования (KUBA-MS), модуль отчетности (KUBA-RP), оценка условий пропуски большегрузных транспортных средств (KUBA-ST) [7].

В следствии расположения Швейцарии в горной местности, дорожные сооружения образуют важную часть дорожной сети. На государственных автомобильных дорогах в настоящее время эксплуатируется около 6700 искусственных сооружений, в том числе примерно 3500 мостов. Общая площадь мостовых сооружений составляет примерно 4 млн м², суммарная длина 263 км. Большая часть существующих искусственных сооружений уже достигли возраста 30 лет.

Состояние искусственных сооружений на федеральной дорожной сети можно рассматривать, как хорошее. Развитие состояние мостов на основе текущих осмотров представлено на рисунке 5, где CS 1 является лучшим состоянием, и CS 5 – худшее. На рисунке 5 рассмотрены только мосты, которые были введены в эксплуатацию до 31 декабря 2006 г.



На оси абсцисс отложены годы, на оси ординат – количество мостовых сооружений по каждому из состояний в процентах

Рисунок 5. Состояние сооружений на федеральной дорожной сети [7]

Количество мостов в каждом из состояний остается практически постоянным во времени, а количество мостов в худшем CS 5 состоянии является незначительным. Это означает, что текущее содержание достаточно финансируется. Содержание дорожных сооружений (за исключением туннелей) доходит примерно до 43% от общей стоимости содержания, на основе детального анализа затрат выполненного в 1993 году.

Рассмотрим по отдельности, компоненты, входящие в состав системы управления дорожной структурой KUBA.

Компонент KUBA-DB представляет собой систему сбора данных и служит в качестве основы для других компонентов системы. Компонент обладает возможностью инвентаризации, проверки и редактирования данных. На рисунке 6 показано рабочее окно системы KUBA, где приведена информация по сбору данных, связанных с зонами повреждений.

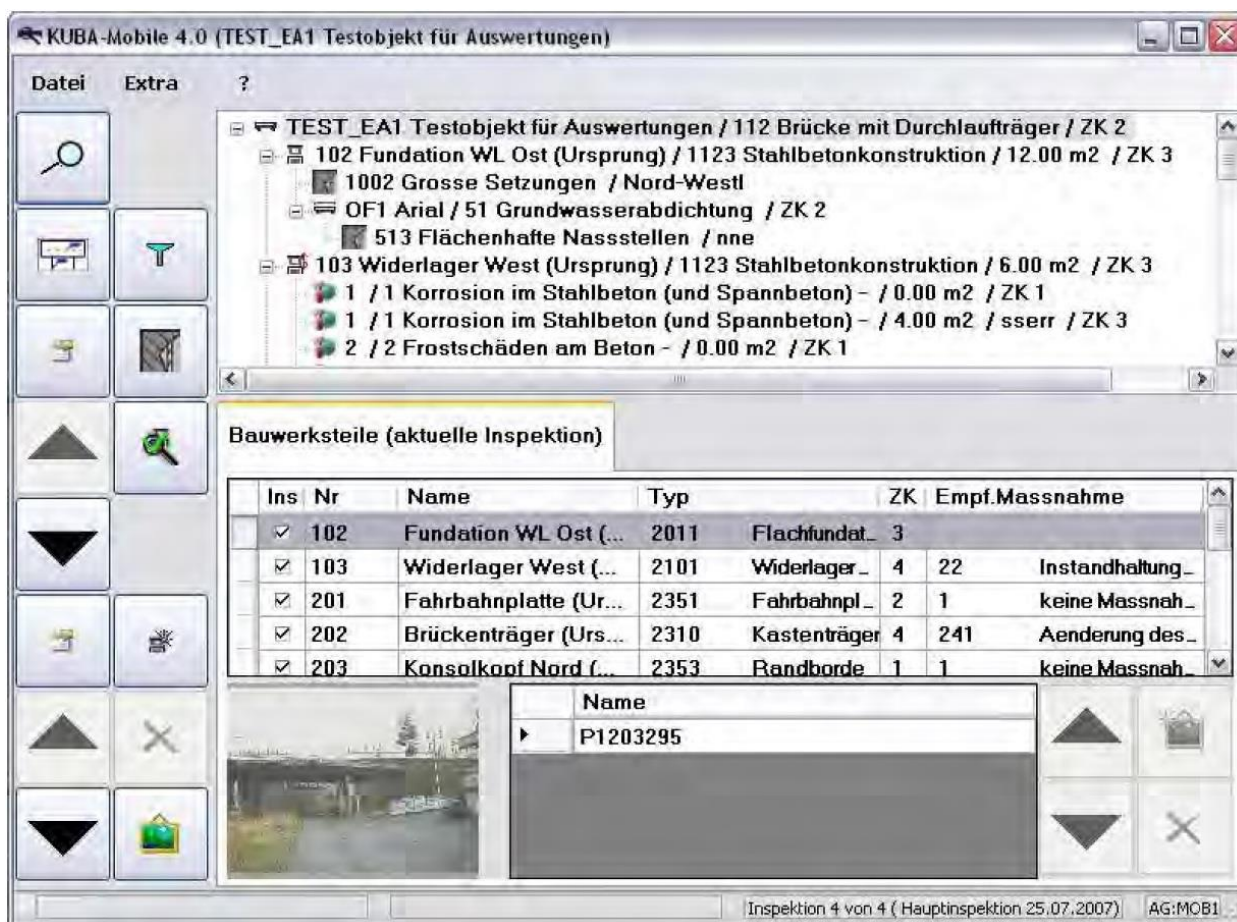


Рисунок 6. Сбор данных в компоненте KUBA-DB [7]

KUBA-DB также хранит информацию и документы об организациях, связанных со строительством, осмотром и технической эксплуатацией сооружений.

Компонент KUBA-MS (система управления) является ядром системы KUBA. Цель KUBA-MS – позволить создать последовательные, единые и объективные процессы принятия решений по искусственным сооружениям на Швейцарских федеральных автомобильных дорогах.

Компонент KUBA-RP (отчетность) позволяет выполнять обширные запросы и формирование отчетов по всей информации, хранящейся в системе KUBA.

Компонент KUBA-ST (специальный транспорт) помогает органам управления в решении задач по пропуску большегрузных транспортных средств по одному или нескольким мостовым сооружениям вдоль заданного маршрута.

Экспертные системы на базе нечеткой логики

Экспертные системы на базе нечеткой логики, несомненно, будут более эффективными и полезными [10]. На сегодняшний день важной задачей дорожной отрасли России является улучшение состояния автомобильных дорог и сооружений на них. Проблема улучшения состояния автодорожных мостов в России, осложняется большим количеством сооружений с неудовлетворительным состоянием, как на дорогах общего пользования России в целом, так и на Федеральной сети. Очень медленно улучшается общее техническое состояние сооружений, не получается пока полностью избавиться от аварийных мостов.

В настоящее время с экономической точки зрения не представляется возможным демонтировать и восстановить все мостовые сооружения со значительными повреждениями. Поэтому, стоит задача в необходимости обоснованной оценки: какие сооружения следует отремонтировать, а какие перестроить. Такую оценку легко дать в случае, когда сооружение получило повреждения, видимые невооруженным глазом. Однако если внешний осмотр ничего не дает, но имеются значительные внутренние повреждения, то оценка затрудняется. Чтобы сделать выводы о состоянии таких повреждений необходимо собрать воедино данные о состоянии повреждений (полученные при внешнем осмотре), а также другую информацию и факторы, имеющие отношение к ней (причины повреждений, состояние на данный момент, данные проектирования и т.д.) и затем оценить надежность сооружения со всех точек зрения. Если объема данных, которые можно использовать для оценки надежности сооружения недостаточно, то необходимо изучить нечеткие данные с различных позиций и на основе интуиции и опыта сделать заключение о степени и последствиях повреждений [4].

Рассмотрим функционирование модели автоматизированной оценки технического состояния с применением аппарата нечеткой логики. Как говорилось ранее [1], сначала производится обследование элементов моста, в результате которого формируется множество дефектов x_i . Для каждой лингвистической переменной (дефекты x_i) определяется множество соответствующих ей лингвистических термов. Формируется база нечетких правил.

На первом этапе следует задать модель объекта исследования. Она представляет собой набор конструктивных элементов мостового сооружения, в свою очередь, состоящих из подэлементов (Рисунок 7). Для определения состояния сооружения в целом требуется определение состояния конструктивных элементов. О каждом из подэлементов подробно описывается в «Инструкции по диагностике мостовых сооружений на автомобильных дорогах». На Рисунке 7 представлена примерная структура элементов сооружения.

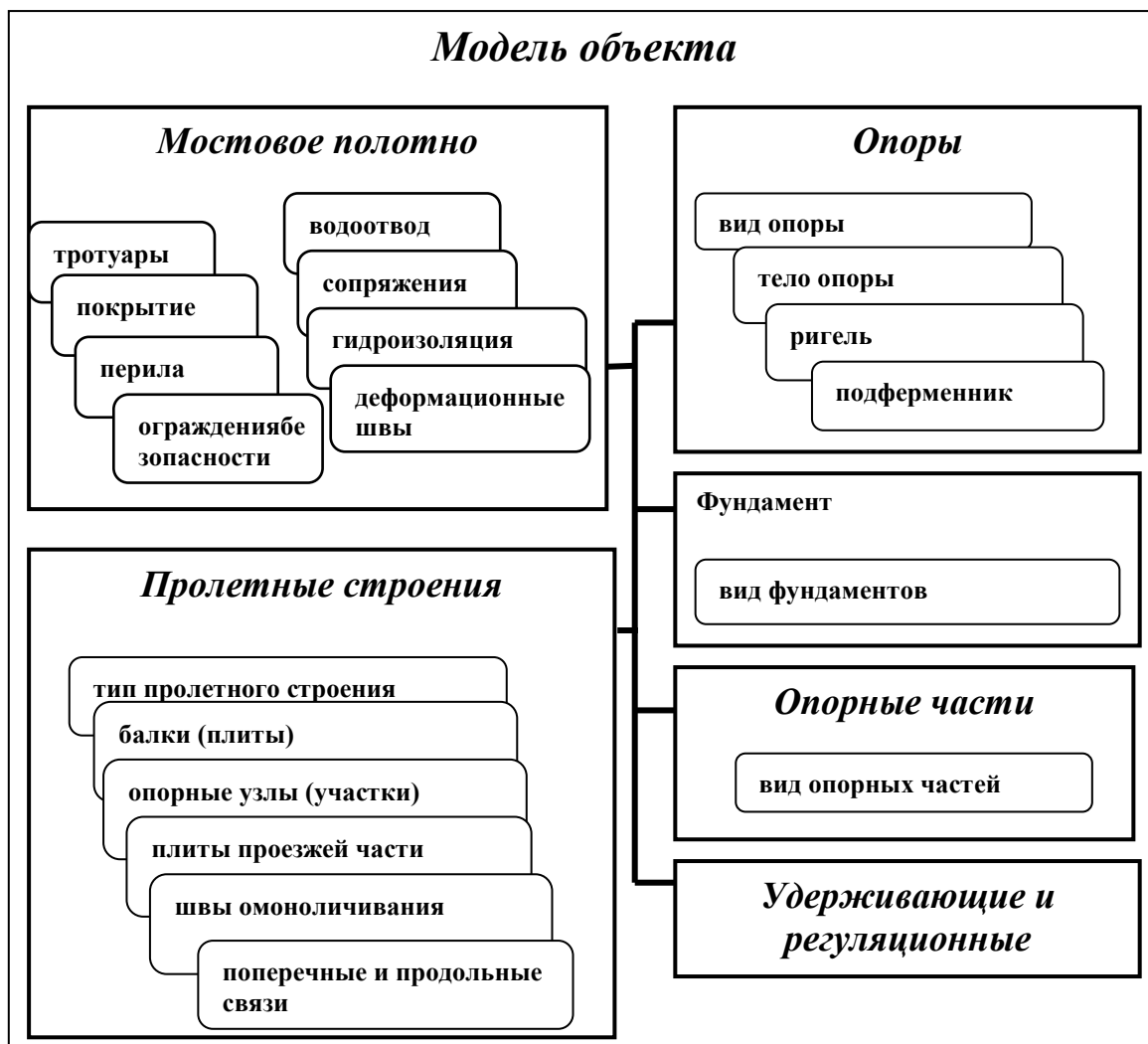


Рисунок 7. Структура модели моста

Каждому структурному элементу мостового сооружения ставится в соответствие лингвистическая переменная, то есть, выполняется преобразование таблиц состояния элементов, описанных экспертом к модели нечеткой системы автоматизации.

К примеру, для пролетных строений из обычного и преднапряженного железобетона виды дефектов можно преобразовать в виде лингвистических переменных и их терм. В таблице 1 приведены переменные состояния для дефектов: трещины, выщелачивание и повреждение арматуры.

Таблица 1

Переменные состояния дефектов элементов железобетонного пролетного строения

№ п/п	Дефект	Лингвистическая переменная	Переменная состояния	Универсальное множество	Определение термов
1	Трещины	Местоположение	PS1	$0 \div 1$	- в приопорных участках (x_{11}); - в растянутой зоне (x_{12}); - в сжатой зоне (x_{13}); - вдоль преднапряженной арматуры (x_{14}).
		Вид	PS2	$0 \div 1$	- температурно-усадочные (x_{21}); - температурные (x_{22}); - усадочные (x_{23}); - силовые (x_{24}); - волосные (x_{25}); - сквозные (x_{26}).
		Положение	PS3	$0 \div 1$	- продольные (x_{31}); - наклонные (x_{32}).
		Количество	PS4	$0 \div 1$	- одиночные (x_{41}); - местные (x_{42}); - многочисленные (x_{43}); - сеть трещин (x_{44}).
		Раскрытие	PS5	$0 \div 1,0$ мм	- малое до 0,3 мм (x_{51}); - среднее до 0,5 мм (x_{52}); - большое до 1,0 мм (x_{53}); - очень большое более 1,0 мм (x_{54}).
2	Выщелачивание	Местоположение	PS6	$0 \div 1$	- внешняя поверхность пролетных строений (x_{61}); - плита проезжей части (x_{62}); - ребро балки (x_{63}); - шов омоноличивания (x_{64}).
		Характер	PS7	$0 \div 1$	- местные (x_{71}); - без нарушения структуры бетона и следов ржавчины (x_{72}); - со следами ржавчины (x_{73}); - со следами выщелачивания и повреждения бетона (x_{74}); - интенсивное выщелачивание с образованием сталактитов (x_{75}).
3	Повреждение рабочей арматуры	PS8	$0 \div 1$	- нет (x_{81}); - незначительное с ослаблением сечения до 10% (x_{82}); - интенсивная коррозия >10% (x_{83}); - значительная коррозия с ослаблением сечения >30% (x_{84}).	

Настройка модели оценки технического состояния мостового сооружения производится путем подбора функции принадлежности. Для нечеткой оценки технического состояния мостового сооружения используется модель типа Мамдани.

Механизм нечетких выводов представляется набором правил [8]:

если x_1 есть A_1 , тогда y_1 есть B_1 ,

если x_2 есть A_2 , тогда y_2 есть B_2 ,

.....

если x_n есть A_n , тогда y_n есть B_n , где x – входная переменная (имя для известных значений данных), y – переменная вывода (имя для значения данных, которое будет вычислено); A и B – функции принадлежности, определенные соответственно на x и y .

Пример: $x_1(t)$, $x_2(t)$, $y(t)$ – лингвистические переменные «глубина трещин», «прочность бетона», и «надежность элемента» соответственно, которые отражают динамику изменения соответствующих непрерывных входных и выходных переменных $x_1(t)$, $x_2(t)$, $y(t)$. Известно, что с течением времени трещины увеличиваются в раскрытии ($x_1(t)$ непрерывно возрастает), прочность бетона падает ($x_2(t)$ непрерывно убывает), а надежность элемента $y(t)$, как следствие непрерывно убывает. Тогда, на основании этого построим нечеткую модель оценки заданных параметров с помощью программы *MatLab* и ее приложения *FuzzyLogic* (Рисунок 8).

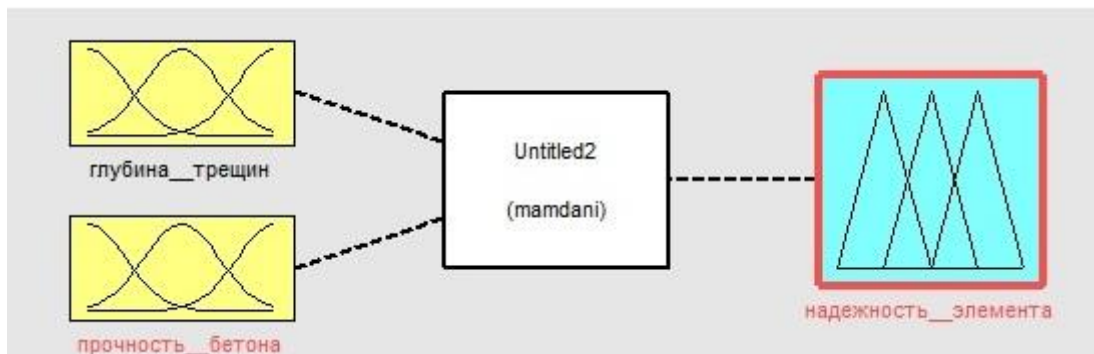


Рисунок 8. Нечеткая модель оценки «надежности элемента»

Для получения адекватного отображения заданных параметров в нечеткой экспертной системе необходимо задать шкалы лингвистических переменных так, как это показано на рисунке 9.

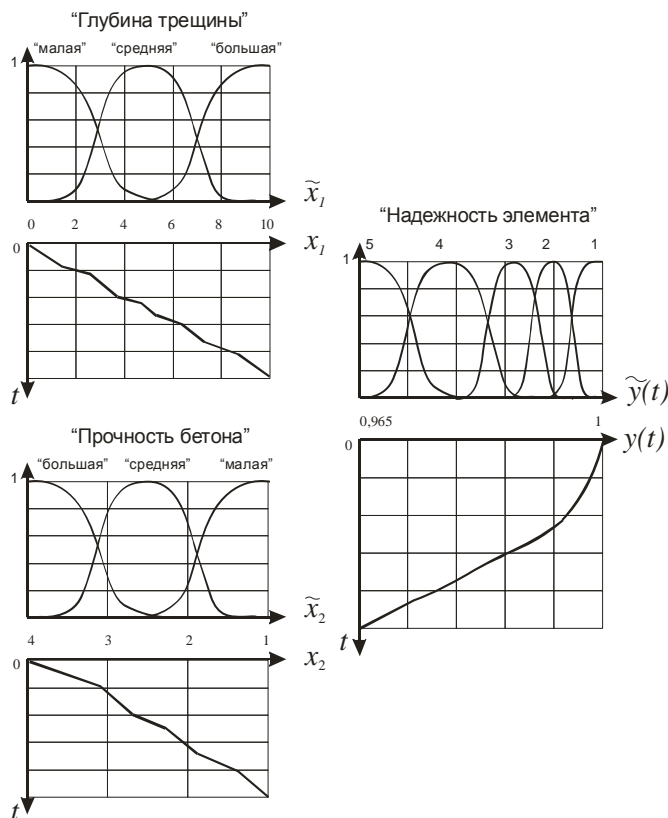


Рисунок 9. Пример выбора шкал для представления лингвистических переменных в нечеткой экспертной системе

Функция принадлежности выходной переменной «надежность элемента» формируется на основании множества правил, где каждое правило задает в указанном пространстве некоторую нечеткую точку. На основе множества нечетких точек формируется нечеткий график.

После определения надежности каждого элемента (Рисунок 1) необходимо рассчитать показатели технического состояния. Основой для автоматизированной модели оценки технического состояния станет действующая в настоящее время методика экспертной эксплуатационной оценки мостов, на основании ОДМ 218.3.014-2011 «Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах». Согласно этой методике эксплуатационное состояние моста определяется четырьмя критериями:

- K_b – показатель технического состояния по безопасности;
- K_z – показатель технического состояния по грузоподъемности;
- K_d – показатель технического состояния по долговечности;
- K_{pn} – показатель технического состояния по ремонтпригодности.

В действующей методике показатель технического состояния по грузоподъемности определяются исходя из реальных расчетных и нормативных значений, а по безопасности, долговечности и ремонтпригодности эмпирическим способом. В нашей работе предлагается определить показатели технического состояния моста с помощью нечеткой модели автоматизированной оценки технического состояния моста. Такой подход будет возможен, при установлении соответствия значений надежности элементов их дискретному состоянию. После разработки модели автоматизированной оценки технического состояния необходимо экспериментально определить корректность ее работы. Проверка может быть выполнена различными методами, например: можно сравнить модель с реальными системами с помощью статистического или эмпирического метода, когда независимый эксперт проверяет достоверность поведения модели. Подтверждением точности (проверка) модели построенной с помощью индивидуальной нечеткой системы является вопрос о выборе способа фаззификации, определении критериев оценки и дефаззификации.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Нигаматова О.И., Овчинников И.Г. Системы управления состоянием мостовых сооружений // Интернет-журнал «Наукоедение», 2015 №3 (28) [Электронный ресурс]-М.: Наукоедение, 2015. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf>, свободный.
- 2 К.Н. Сотникова, Н.В. Колосова, А.П. Толмачев Экспертная система принятия решений для реконструкции зданий с учетом принципов «Зеленого строительства» // Инженерные системы и сооружения. – Воронеж: ВГАСУ, 2012. – Вып. № 1(6). - с. 98-105.
- 3 Румянцева, Е.Л. Информационные технологии: Учебное пособие / Е.Л. Румянцева, В.В. Слюсарь; Под ред. Л.Г. Гагарина. - М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 256 с.
- 4 Прикладные нечеткие системы: Пер. с япон. / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно.-М.: Мир, 1993. - 368 с.

- 5 Peter Haardt and Ralph Holst The German Approach to Bridge Management: Current Status and Future Development (IBSMC08-008) // Transportation research board Circular October 2008 - Buffalo, New York - s. 3–5.
- 6 William E. Robert, Allen R. Marshall, Richard W. Shepard and Jose Aldayuz The Pontis Bridge Management System: State-of-the-Practice in in Implementation and Development http://camsys.com/pubs/pontis_implementation.pdf.
- 7 RadeHajdinKuba 4.0 The swiss road structure management system (IBSMC08-027) // Transportation research board Circular October 2008 - Buffalo, New York - s. 47–62.
<http://neuronus.com/fl/45-theory/310-chast-5-nechetkie-vyvody.html>.
- 9 E. Fruguglietti, G. Pasqualato, E. Spallarossa Bridge Management System implementation in Italy: Pontis® and other BMS application in Italy // http://www.gruppo-sina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf.
- 10 Нигаматова О.И. Применение нечеткого моделирования при автоматизированной оценке технического состояния мостовых сооружений // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы IX Международной науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 20—22 мая 2015 г., Волгоград / Режим доступа: <http://vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.
- 11 Овчинников И.Г. Применение экспертных систем для решения задач расчета, проектирования и оценки состояния конструкций (статья) // Строительная механика и расчет сооружений. 1991. N 3.
- 12 Овчинников И.Г., Козлов И.Г. Управление эксплуатацией мостовых сооружений (учебное пособие). Изд-во СГТУ, Саратов, 1998. 92 с.
- 13 Бокарев С.А., Прибытков С.С., Мочалкин П.С. Автоматизированная информационно-аналитическая система управления содержанием искусственных сооружений (учебное пособие). Сибирский гос. ун-т путей сообщ. (СГУПС), 2007. 113 с.
- 14 Бокарев С.А. Автоматизированные информационно-аналитические системы управления техническим состоянием мостов (статья) // Транспорт Российской Федерации. Изд-во ООО «Т-Пресса» (Санкт-Петербург), 2005.
- 15 Яшнов А.Н., Рыбалов А.Ю. Оценка технического состояния мостовых сооружений в системе мониторинга (статья) // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. Изд-во Пермский национальный исследовательский университет (Пермь), 2013.

Nigmatova Olga Ivanovna

The Ural State University of Railway Transport, Russia, Yekaterinburg
E-mail: olganigmatova@ya.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Penza State University of Architecture and Construction, Russia, Penza
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Perm national research polytechnic university, Russia, Perm
E-mail: bridgesar@mail.ru

The international experience of expert systems for evaluation state bridges

Abstract. In the operation bridges exposed to aggressive environmental factors, permanent and temporary loads, thereby worsening their condition. For effective management of the condition of bridges in many states of the embedded expert system.

Expert systems – a computer programs that use the accumulated knowledge with the aim of finding a satisfactory solution to a specific problem in the real world. The basis of the expert system is the knowledge base which is implemented into an expert system in the development process and can be edited when using.

In the article describes an expert control system condition of bridges on the roads of Germany (Bridge Management System), of the United States of America (Pontis BMS) and Switzerland (KUBA).

In the second part of the article the algorithm development of the expert system based on fuzzy logic. Converted state elements (for example, the defects occurring in concrete superstructures) in the form of linguistic variables and their term. Defined rules for the membership functions of the output variable. The proposed method of assessing the condition of bridges and the ability to determine the correctness of its work.

Keywords: bridge; monitoring; fuzzy logic; expert system; defects and damage; reliability

REFERENCES

- 1 Nigamatova O.I., Ovchinnikov I.G. Sistemy upravleniya sostoyaniem mostovykh sooruzheniy // Internet-zhurnal «Naukovedenie», 2015 №3 (28) [Elektronnyy resurs]-M.: Naukovedenie, 2015. Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf>, svobodnyy.
- 2 K.N. Sotnikova, N.V. Kolosova, A.P. Tolmachev Ekspertnaya sistema prinyatiya resheniy dlya rekonstruktsii zdaniy s uchetom printsipov «Zelenogo stroitel'stva» // Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. – Voronezh: VGASU, 2012. – Vyp. № 1(6). - s. 98-105.
- 3 Rumyantseva, E.L. Informatsionnye tekhnologii: Uchebnoe posobie / E.L. Rumyantseva, V.V. Slyusar'; Pod red. L.G. Gagarina. - M.: ID FORUM, NITs INFRA-M, 2013. - 256 c.
- 4 Prikladnye nechetkie sistemy: Per. s yapon. / K. Asai, D. Vatada, S. Ivai i dr.; pod redaktsiey T. Terano, K. Asai, M. Sugeno.-M.: Mir, 1993. - 368 s.
- 5 Peter Haardt and Ralph Holst The German Approach to Bridge Management: Current Status and Future Development (IBSMC08-008) // Transportation research board Circular October 2008 - Buffalo, New York - s. 3–5.
- 6 William E.Robert, Allen R. Marshall, Richard W. Shepard and Jose Aldayuz The Pontis Bridge Management System: State-of-the-Practice in in Implementation and Development http://camsys.com/pubs/pontis_implementation.pdf.
- 7 RadeHajdinKuba 4.0 The swiss road structure management system (IBSMC08-027) // Transportation research board Circular October 2008 - Buffalo, New York - s. 47–62.
<http://neuronus.com/fl/45-theory/310-chast-5-nechetkie-vyvody.html>.
- 8 E. Fruguglietti, G. Pasqualato, E. Spallarossa Bridge Management System implementation in Italy: Pontis® and other BMS application in Italy // http://www.gruppo-sina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf.
- 10 Nigamatova O.I. Primenenie nechetkogo modelirovaniya pri avtomatizirovannoy otsenke tekhnicheskogo sostoyaniya mostovykh sooruzheniy // Molodezh' i nauchno-tekhnicheskyy progress v dorozhnoy otrasli yuga Rossii: materialy IX Mezhdunarodnoy nauch.-tekhn. konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, 20—22 maya 2015 g., Volgograd / Rezhim dostupa: <http://vgasu.ru/publishing/online/> — Zagl. s titul. ekrana.
- 11 Ovchinnikov I.G. Primenenie ekspertnykh sistem dlya resheniya zadach rascheta, proektirovaniya i otsenki sostoyaniya konstruktsiy (stat'ya) // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1991. N 3.
- 12 Ovchinnikov I.G., Kozlov I.G. Upravlenie ekspluatatsiey mostovykh sooruzheniy (uchebnoe posobie). Izd-vo SGTU, Saratov, 1998. 92 s.
- 13 Bokarev S.A., Pribytkov S.S., Mochalkin P.S. Avtomatizirovannaya informatsionno-analiticheskaya sistema upravleniya soderzhaniem iskusstvennykh sooruzheniy (uchebnoe posobie). Sibirskiy gos. un-t putey soobshch. (SGUPS), 2007. 113 s.
- 14 Bokarev S.A. Avtomatizirovannyye informatsionno-analiticheskie sistemy upravleniya tekhnicheskim sostoyaniem mostov (stat'ya) // Transport Rossiyskoy Federatsii. Izd-vo OOO «T-Pressa» (Sankt-Peterburg), 2005.
- 15 Yashnov A.N., Rybalov A.Yu. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya mostovykh sooruzheniy v sisteme monitoringa (stat'ya) // Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. Izd-vo Permskiy natsional'nyy issledovatel'skiy universitet (Perm'), 2013.