

## **О ПРИМЕНЕНИИ ПРИНЦИПОВ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Нигаматова Ольга Ивановна, аспирант*

*кафедры «Мосты и транспортные тоннели»*

*Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург  
(Научный руководитель – Овчинников И.Г., докт. техн. наук, профессор)*

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.

Показателями неудовлетворительного состояния мостовых сооружений являются:

- недостаточный габарит большого количества сооружений (как следствие низкая пропускная способность);

- недостаточная грузоподъемность мостовых сооружений, что приводит к ограничению по массе обращающихся транспортных средств и нагрузок на их оси;

- наличие дефектов и повреждений в конструкциях, снижающих срок службы сооружения;

- низкий уровень безопасности дорожного движения (в частности из-за повреждения покрытия мостового полотна и расстройств конструкций ограждений безопасности), прохода пешеходов.

Неудовлетворительное техническое состояние мостов является серьезной угрозой нормальному функционированию дорожной сети, приводит к большим социально-экономическим потерям в стране. Эксплуатация мостов, в том виде, как это происходит сегодня, приводит к уменьшению срока их службы, снижению надежности, повышению рисков.

Возникает необходимость нового подхода для устранения выше приведенных недостатков. Методической основой эксплуатационной системы должны стать новейшие научные разработки автоматизированной оценки и прогноза технического состояния автодорожных мостов, которые находятся в эксплуатации.

Накопленный опыт и анализ тенденций развития ремонтно-строительной отрасли в других странах показал, что основными свойствами такой системы должны быть:

- способность накапливать знания и использовать их при решении задач, возникающих в реальных производственных условиях;
- возможность использования методов экономического планирования и многокритериальной оптимизации;
- методов прогнозирования рисков (с привлечением теории вероятностей и современных методов искусственного интеллекта);
- средства для накопления и применения экспертных знаний.

Оценка технического состояния мостов является подготовительным этапом для принятия решения о мерах по их эксплуатации и частью комплексного процесса автоматизации. Известные методы оценки можно разделить на две группы:

- модели экспертных оценок;
- модели, построенные на базе современных достижений в теории надежности сооружений.

Одной из моделей, базирующейся на основах теории надежности является теория нечеткой логики, опирающаяся на понятие нечеткого множества, впервые введенного Лофти Заде в 1965 году.

Основы теории нечеткой логики уже широко известны во всем мире и изложены в большом количестве источников [1-4]. Нечеткая логика отличается от традиционной двухуровневой логики (да – нет, истина – ложь) тем, что между двумя крайними полюсами лежит бесконечное множество логических значений. Основной характеристикой нечеткого множества является функция принадлежности  $\mu_A(x)$  элемента  $x \in X$  подмножеству  $A \subseteq X$ , (где  $X$  – универсальное множество) принимает значение в интервале  $[0,1]$ :  $\mu_A \rightarrow [0,1]$ . Нечеткое подмножество  $A$  полностью определяется множеством пар  $A = \{x, \mu_A(x)\}$ . Здесь понятие "нечеткость" определяется отсутствием ясности о принадлежности элемента  $x$  множеству  $A$ . Само по себе значение  $\mu_A(x)$  является контекстно-зависимым и интерпретируется как степень совместимости элемента  $x \in X$  с подмножеством  $A$ , или как степень истинности  $v$  высказывания  $x \in A$  или высказывания "x является свойством A":  $\mu_A(x) = c \Leftrightarrow v(x \in A) = c$ .

Методология нечеткого моделирования полностью соответствует общей методологии создания моделей сложных систем, лишь конкретизируя и дополняя ее применительно к процессу построения и использования нечетких моделей сложных систем.

Этапы процесса нечеткого моделирования [5]:

1. Анализ проблемной ситуации.

2. Структуризация предметной области и построение нечеткой модели (включает формализацию входных и выходных переменных модели, создание нечетких баз знаний, выбор процедуры нечеткого логического вывода и методов дефаззификации).

3. Выполнение вычислительных экспериментов с нечеткой моделью.

4. Анализ результатов вычислительных экспериментов.

5. Коррекция или доработка нечеткой модели.

Одним из наиболее сложных и трудоемких этапов нечеткого моделирования является формализация переменных модели. Сложность этого этапа связана с трудоемким процессом извлечения знаний экспертов (этот процесс изучает отдельная наука - когнитология) и представления переменных модели в виде лингвистических переменных (формально представляющих выражения естественного языка) и их терм-множеств.

Структура лингвистической переменной описывается набором  $(N, T(N), X, G, M)$ , в котором  $N$  – название переменной;  $T$  – терм-множество  $N$ , т.е. совокупность ее лингвистических значений;  $X$  - универсальное множество с базовой переменной  $x$ ;  $G$  – синтаксическое правило, которое может быть задано в форме бесконтекстной грамматики, порождающей термы множества  $T$ ;  $M$  – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению  $t$  ставит в соответствие его смысл  $M(t)$ , причем  $M(t)$  обозначает нечеткое подмножество множества  $X$  [10].

Более сложные понятия могут характеризоваться составной лингвистической переменной. Например, понятие "трещина" может рассматриваться как название составной лингвистической переменной, компонентами которой являются лингвистические переменные "раскрытие", "глубина", "местоположение в пространстве", и т.п.

Действия над лингвистическими переменными осуществляются путем оперирования их функциями принадлежности. Обычно в практических приложениях применяются прямые либо косвенные методы построения характеристических функций (или построения их оценок) по выборкам и на основании априорной информации, в которую входят ограничения на эти функции [6]. Зачастую прибегают к эвристическим методам нахождения этих функций с последующей экспериментальной проверкой их "качества" [7].

Прямые методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функций принадлежности с помощью таблиц, графиков или формул [7].

В косвенных методах значения функций принадлежности выбираются таким образом, чтобы удовлетворить заранее сформулированным условиям. При построении нечетких моделей систем наиболее часто используются следующие

методы построения функций принадлежности: метод парных сравнений; метод привлечения статистических данных; метод экспертных оценок; параметрический метод; метод ранговых оценок.

После того, как все переменные модели преобразованы к нечеткому виду, выполняется структуризация предметной области и построение модели. На вход системы поступает набор реальных значений переменных состояния системы  $X$ , которые отображаются фаззификатором в "нечеткие" множества переменных. Фаззификатор выполняет преобразование "четкой" переменной  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)^T \in X_B$  в нечеткое множество  $A'$  из  $X$ . Нечеткий логический анализатор формирует решение в виде нечеткого множества, с использованием нечеткой базы знаний и операций над нечеткими входными переменными. Дефаззификатор преобразует полученное решение  $\mu(y) \in Y$  к точному значению  $y \in Y$ .

Произведя анализ методов оценки технического состояния можно сделать вывод, что существующие методики диагностики мостовых сооружений не дают четкого представления о техническом состоянии сооружений, в условиях неопределенности. Проанализировав известные методы оценки технического состояния необходимо разработать методику оценки технического состояния и прогноза остаточного ресурса, опирающуюся на аппарат нечеткой логики, используя эти методы в качестве основы.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- выполнить анализ существующих методов оценки технического состояния мостовых сооружений;
- разработать модели и алгоритмы оценки технического состояния и прогноза ресурса мостовых сооружений и их элементов с применением теории нечеткой логики;
- автоматизировать оценку технического состояния элементов и сооружения в целом на основе результатов обследования и нормативных технических характеристик с использованием теории экспертных систем и методов искусственного интеллекта;
- автоматизировать прогноз остаточного ресурса сооружения в соответствии с теоретической моделью деградации;
- разработать алгоритм принятия решения относительно эксплуатационных мероприятий или характера ремонтных работ.

При этом необходимо использовать методы системного анализа для выявления факторов, которые влияют на принятие решения относительно технического состояние объекта и проектных решений о последующей его эксплуатации; методы разработки экспертных систем и методы искусственного

интеллекта, в том числе теории нечетких множеств – для эффективного представления и обработки знаний, теории принятия решений в многокритериальной среде в условиях неопределенности – для разработки метода поиска оптимальных проектных решений.

Определенный шаг в этом направлении сделан и изложен в работах [8,9,10]

#### Литература:

1. Zadeh L.A. Fuzzy sets.- Information and Control.- 1965.- 8, 3, p. 338-353.
2. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе. - В кн.: Классификация и кластер / Под ред. Дж.Вэн Райзина.- М:Мир, 1980.- С. 208-247.
3. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств М.:Радио и связь, 1982.-432 с.
4. Овчинников И.Г. Овчинников И.И. Об оценке состояния мостовых сооружений с использованием теории нечетких множеств// Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте. Сб. науч. статей. Саратов. Изд-во Сарат. Ун-та. 2002.с.39-44.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH СПб.: БХВ-Петербург, 2003.-736 с.: ил.
6. Аверкин А.Н. Нечеткое отношение моделирования и его использование для классификации и аппроксимации в нечетких лингвистических пространствах.- Изв. АН СССР: Техническая кибернетика, 1982, N 2, с. 215.
7. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
8. 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 / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. — Волгоград : ВолгГАСУ, 2015.С. 24–28.
9. Овчинников И.Г., Шварц А.Ю., Овчинников И.И., Нигаматова О.И. О разработке интеллектуальных систем проектирования и оценки технического состояния мостовых сооружений. Часть 1 // Транспортные сооружения, 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/10SAT118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10SAT118.
10. Шварц А.Ю., Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Долинина О.Н., Нигаматова О.И. О разработке интеллектуальных систем проектирования и оценки технического состояния мостовых сооружений. Часть 2 // Транспортные сооружения, 2018 №1, <https://t-s.today/PDF/12SAT118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/12SAT118.