



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОСТАМИ. ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ. СОВРЕМЕННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Лариса Боднар

Государственный дорожный научно-исследовательский институт им. Н. П. Шульгина, Киев, Украина
Эл. почта: LaraGor@ukr.net

Аннотация. В статье приводится функциональная характеристика АЕСУМ, показаны основные рычаги управления надежностью и долговечностью автодорожных мостов, формулируются концептуальные положения дальнейшего развития и предложения широкого использования данных, генерируемых АЕСУМ, в системе эксплуатации мостов Украины.

Ключевые слова: мост; управление надежностью и долговечностью; остаточный ресурс; стратегическое планирование.

Введение

По мере развития экономики страны влияние транспортной инфраструктуры на экономическую, производственную и социальную сферы становится всё более значимым. Уменьшение скорости движения транспорта в проблемных местах дорожной сети приводит к значительным прямым и ещё большим непрямым затратам в экономике.

С другой стороны, неудовлетворительное техническое состояние автодорожных мостов Украины провоцирует значительные социальные и материальные затраты, требует увеличения ассигнований на их ремонт и реконструкцию. Привлекает внимание факт накопления объемов ремонтных работ, которые не были выполнены в прошлые годы. Количество мостов, требующих капитального ремонта или реконструкции, за последние годы постоянно увеличивается. Например, если в 2004 г. их количество составляло 428 мостов (2,7% от общего количества), то в 2010 г. их уже почти вдвое больше – 710 ед. (4,4% от общего количества), общей длиной 26602 м; в 2013 г. – 1957 ед. (12% от общего количе-

ства), общей длиной 54040 м. Очевидны темпы разрушения и стремительного ухудшения ситуации. Также понятно, что необходимых ассигнований в ближайшие годы не будет выделено и количество мостов, требующих капитального ремонта или реконструкции будет дальше увеличиваться.

В условиях тяжёлого финансового кризиса, в котором оказалась экономика Украины, для надлежащего функционирования дорожной сети, необходимо иметь современный инструментарий управления мостами. Таким инструментарием Укравтодора являются Аналитическая экспертная система управления мостами (АЕСУМ).

Сейчас программный комплекс АЕСУМ Укравтодора стал классическим образцом применения современных информационных технологий для мониторинга технического состояния мостов, прогноза ресурса и безопасности эксплуатации, обоснования стратегий ремонтов и реконструкции в условиях ограниченного финансирования. В современных условиях АЕСУМ рассматривается как универсальный инструмент системы эксплуатации мостов, их

мониторинга и поддержания в безопасном для эксплуатации состоянии.

От широкого внедрения АЕСУМ ожидается значительный социально-экономический эффект за счет оптимального использования средств на ремонт и реконструкцию, контроля безопасной эксплуатации сооружений, продлению их остаточного ресурса и, тем самым, увеличения пропускной способности транспортной сети Украины. Открытая структура данных позволяет по мере необходимости дополнять ее новыми данными и развивать и наращивать расчетные и аналитические модули.

В 2004 году по заказу Укравтодора институт ГосдорНИИ вместе с Национальным транспортным университетом начал работы по созданию и внедрению АЕСУМ.

Начиная с 2006 года, осуществляется активное внедрение и внесение данных по паспортизации мостов в разработанную систему АЕСУМ. Благодаря научному сопровождению, который ведет ГосдорНИИ, система динамично развивается, пополняется новыми аналитическими экспертными функциями, наполняется и расширяется ее банк данных. Сегодня есть потребность в ретроспективном анализе концепции развития АЕСУМ и определения направления дальнейшего совершенствования. Именно это научно-техническое задание составляет центральную цель статьи.

1. Общая характеристика АЕСУМ

Глобальной целью АЕСУМ является автоматизация процесса управления мостами, как компьютерной реализации современной информационной методологии планирования, руководства, координации человеческих и материальных ресурсов, поиска оптимальной стратегии финансирования эксплуатационных мероприятий на протяжении жизненного цикла моста, направленную на эффективное поддержание мостов в безопасном для эксплуатации состоянии.

АЕСУМ является одним из первых мероприятий по созданию национальной системы эксплуатации автодорожных мостов и рассматривается как универсальный инструмент системы эксплуатации мостов, их мониторинга и поддержания в безопасном для эксплуатации состоянии.

С другой стороны, следуя тезису, что мост должен быть органичным элементом дорожной сети, программный комплекс АЕСУМ проектировался, как

система уровня сети. Комплекс содержит, кроме полных данных уровня элементов сооружения, необходимую информацию относительно дорог. В программном комплексе реализованы требования всех нормативных документов, принятых за последние 5 лет. Функционально это экспертная программа, которая генерирует информацию для принятия решений в системе эксплуатации мостов.

Предполагается, что программный комплекс используется на всех уровнях управленческой вертикали эксплуатации мостов Укравтодора. Это означает, что система будет использоваться в аппарате Укравтодора, в областных и районных дорожных организациях. Структура банка, форматы данных, набор пользовательских функций является неизменным и не зависит от уровня пользователя.

АЕСУМ имеет современную базу данных, которая состоит из большого количества графической, текстовой, численной информации следующих типов:

- технические данные о сооружениях и их элементы, расчеты, чертежи;
- данные испытаний, обследований, описание дефектов, чертежи конструкций, фото, данные вычислений надежности, прогноза долговечности;
- схемы дорожной сети, расположение сооружений, технические характеристики дорог;
- данные поиска оптимальной стратегии эксплуатации;
- база ценообразования;
- справочно-аналитическая система ресурсов;
- база инвесторов, научных, юридических лиц, проектантов, строителей и субподрядчиков отрасли.

Программный комплекс сегодня содержит около 40 функций (Коваль П. *et al.* 2008) две группы: информационные и аналитические экспертные, которыми генерируются рекомендации по управлению мостами.

Полный набор информационных функций АЕСУМ является довольно типичным для программных комплексов управления мостами. Назовем главные из них:

- хранение и обработка информации о сооружении в целом и конструкции элементов сооружения (проектная и исполнительная документация);

- хранение и обработка систематизированной информации о реконструкции и усилении элементов сооружения;
- хранение и обработка информации о надзоре, ремонтах, испытаниях и обследованиях, дефектов сооружения;
- генерация паспортов сооружений;
- статистические и информационные функции;
- подготовка форм статистической отчетности;
- подготовка справок, содержащих любые показатели, предусмотренные базой данных.

Доминирующими в АЕСУМ являются аналитические экспертные функции. Главные из них:

- формализованная оценка эксплуатационного состояния автодорожных мостов;
- прогноз остаточного ресурса сооружения;
- формализованная экспертная оценка (рейтинг), которая служит для ранжирования мостов в рамках дорожной сети по необходимости ремонта или реконструкции;
- оценка безопасности движения по сооружению;
- анализ грузоподъемности мостов и возможности пропуска сверхнормативных грузов;
- генерация рекомендаций по стратегии эксплуатации и оптимизация затрат на ремонт и реконструкцию;
- экономический прогноз, моделирование социальных последствий закрытия моста на ремонт.

Сегодня АЕСУМ уже является признанным статистическим инструментом научного поиска по технической политике эксплуатации автодорожных мостов, прогноза технического состояния, продлению остаточного ресурса, разработки новейших моделей прогноза ресурса моста.

Состоянием на 01/01/2013 АЕСУМ содержит 16 171 автодорожных мостов на дорогах государственного и местного значения. Из них 4434 мостов имеют полную техническую характеристику и данные по эксплуатационному состоянию и истории содержания. Выборка полностью описанных мостов составляет на дорогах государственного значения – 75%, на дорогах местного значения – 16%, на всех дорогах – почти 30%. Такая выборка в математической статистике считается достаточно достоверной, позволяет делать широкие обобщения. Нет сомнений

в том, что АЕСУМ в ближайшие годы будет все шире использоваться в научных целях.

2. Теоретический базис экспертных функций

2.1. Оценка эксплуатационного состояния

Теоретической базой модулей оценки эксплуатационного и прогноза остаточного ресурса сооружения является новейшая модель деградации элементов мостов, сформулирована в работах (Лантух-Лященко А. И. 1999). Модели устанавливается связь между надежностью и временем эксплуатации элемента. Переход из одного эксплуатационного состояния в другое описывается как процесс Пуассона с дискретными состояниями и непрерывным временем. Модель деградации элемента имеет вид:

$$P_i = 1 - 0,008333 (\lambda t)^5 e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где: λ – параметр процесса – интенсивность отказов; P_i – вероятность того, что элемент перейдет в состояние k в течение времени $t < T_k$.

Зависимости (1), при заданной интенсивности отказов λ , устанавливается связь между надежностью элемента P_i в i -м состоянии и время t , прошедшее от начала эксплуатации до состояния $i = 2, \dots, 5$.

Решение уравнения (1), относительно неизвестной t – время эксплуатации, может быть получен при известном параметре λ (надежность элемента P_i в i -м состоянии является известной из классификационной таблицы состояния). Интенсивность отказов λ_i находится для элемента из уравнения (1), как его решение при известных начальных условиях (Лантух-Лященко А. И. 1999):

- надежность элемента в i -м дискретном состоянии P_i , и, полученная из классификационной таблицы дискретных состояний;
- время t_i , прошедшее от начала эксплуатации элемента до момента классификации его дискретного состояния.

2.2. Прогноз остаточного ресурса сооружения

Остаточный ресурс элемента определяется из уравнения деградации элемента (1), по известной надежности элемента в состоянии $i - P_{i,i}$, и та параметром интенсивности отказов элемента λ_i , находится прогнозируемый время T_n , который пройдет от начала эксплуатации элемента к состоянию n . В случае $n = 5$ время T_n будет прогнозом остаточного ресурса.

Исходными данными для определения остаточного ресурса является надежность элемента $P_{i,i}$ и время, прошедшее от начала эксплуатации до состояния $i - t_i$. Эти данные получают инженером на основании осмотров и обследований, классификации дискретного состояния, проверочных расчетов грузоподъемности и характеристики безопасности β (Дехтяр А. С. 1999).

Приведен алгоритм оценки и прогноза эксплуатационного состояния является нормативным и согласно действующего документа ДСТУ–Н Б В.2.3–23: 2009 «Руководство по оценке и прогнозированию технического состояния автодорожных мостов».

Для примера реализации этого алгоритма в АЕСУМ на рис. 1 показано окно вычисления остаточного ресурса пролетного строения моста.

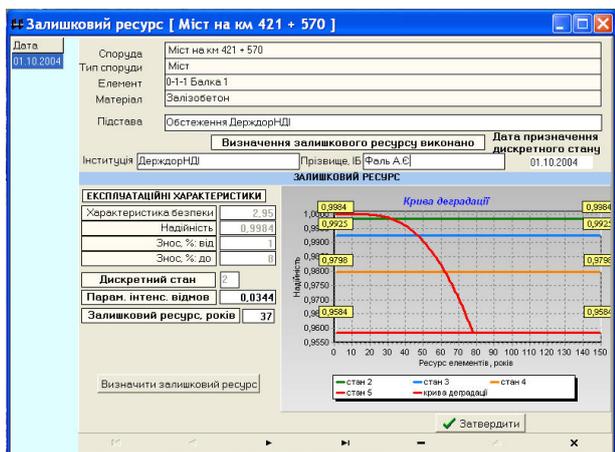


Рис. 1. Вычисление остаточного ресурса пролетного строения моста

2.3. Формализованная экспертная оценка (рейтинг) сооружения

Для ранжирования сооружений по необходимости ремонтов предложена экспертная эксплуатационная оценка эксплуатационного состояния. Эта оценка определяется по шкале безразмерных коэффициентов в 100 баллов и вычисляется по формуле:

$$E = \frac{80 \left(5 - \sum_{i=1}^{i=7} \alpha_i D_i \right)}{4} + 20, \quad (2)$$

где D_i – номер эксплуатационного состояния конструктивных элементов сооружения; α_i – коэффициент влияния состояния i -го элемента на общее состояние сооружения (нормализованные коэффициенты веса); $i = 1, 2, \dots, 7$ – элементы сооружения согласно (ДСТУ–Н Б.В.2.3–23:2009).

Экспертная эксплуатационная оценка эксплуатационного состояния, наряду с остаточным ресурсом пролетного строения моста, являются базовыми параметрами для генерации рекомендации по стратегии эксплуатации и оптимизации затрат на ремонт и реконструкцию.

2.4. Определение и прогнозирование затрат на содержание и ремонт мостов

Для использования в АЕСУМ разработана специальная методика определения и прогнозирования затрат на содержание и ремонт мостов. Целью методики является экспертная оценка затрат на содержание и ремонт мостов. Оценка выполняется относительно эксплуатационного состояния элементов моста в ценах, прогнозируемых на определенный период в будущем.

Методика базируется на общих принципах ценообразования в строительстве, изложенных в нормативном документе ДБН.1.1–1–2000. В основу положены базисные сметные цены, разработанные в рамках методики (Методика прогнозування витрат...). Принята двухуровневая система определения стоимости содержания и ремонта мостов:

- базисной сметной стоимости работ по эксплуатации;
- расчетной стоимости эксплуатационных работ, которая включает в себя базисную сметную стоимость и средства на компенсацию расходов, которые изменяются в зависимости от инфляционных процессов и конъюнктуры рынка.

Разработанный на основе этой методики алгоритм протестирован и подключен к АЕСУМ.

2.5. Анализ возможностей пропуска сверхнормативных грузов

В рамках АЕСУМ разработан алгоритм проверки несущей способности пролетных строений по маршруту перевозки сверхнормативного груза. В случае проблемных пролетных строений автоматически ведется поиск объездов. Задача оптимизируется поиском минимума длины маршрута.

3. Задачи дальнейшего развития

3.1. Усовершенствования архитектуры ПК АЕСУМ

Сегодня программный комплекс АЕСУМ функционирует с локальным банком данных на уровне пользователей. Система все без исключения функции и возможности экспорта локальных данных в центральный банк данных ГосдорНИИ путем передачи файлов в согласованных форматах на магнитных носителях. Этот вариант АЕСУМ рассматривался как переходный в период разработки и наполнения банка данных. Пора перейти к архитектуре с единым банком данных АЕСУМ в Государственной службе автомобильных дорог Украины. В этом варианте системы с единым централизованным банком данных, все данные о наличии и состоянии мостов хранятся на сервере баз данных Укравтодора. Там же находится сервер приложений, осуществляющих обработку данных согласно функциональному назначению АЕСУМ. Такая архитектура обеспечит централизованное хранение данных, повысит их безопасность и снизит требования технического и системного обеспечения пользователя. Клиентские программы, ориентированные на периферийного пользователя, иметь доступ к серверу на базе технического обеспечения низкого уровня. Связь пользователя с сервером приложений должно осуществляться через Интернет или Интранет (корпоративная сеть отрасли).

3.2. Оптимизация расходов на ремонт и реконструкцию

Проблема оптимального управления ремонтом и реконструкцией мостов всегда была актуальной. Давно известно, что опоздание с ремонтом или преждевременный ремонт ведут к большим материальным потерям. Проблема становится еще более актуальной в условиях ограниченных финансовых ресурсов.

Алгоритмы оптимизации стратегий ремонтов автомобильных мостов рассматривались, например, в работах (Дехтяр А.С. 2002; Liu Chunlu. *et al*; G. Morcouc *et al* 2005; Дингес Э.В. 2007). Разработана модель оптимизации стратегии ремонтов мостов на сетевом уровне на основе использования генетического алгоритма специального вида. Данную модель планируется реализовать в АЕСУМ ближайшее время.

3.3. Оценка целесообразности выполнения ремонтов

В последние годы, в системе эксплуатации мостов, все более весомой становится проблема ремонта и реконструкции. Неудовлетворительное техническое состояние автодорожных мостов Украине, требует все больших ассигнований на их ремонт и реконструкцию. Привлекает внимание факт накопления объемов ремонтных работ, которые не были выполнены в прошлые годы. Непрерывно увеличивается количество мостов, которые требуют капитального ремонта или реконструкции. Естественно возникает научно-техническая задача оценки целесообразности выполнения таких больших объемов ремонтных работ. Возможно, что в стратегическом плане есть смысл не вкладывать никаких средств в ремонт некоторой части таких мостов и финансировать строительство параллельных новых мостов? Ответ на это крайне важное социально-экономическое вопрос должен дать специальное теоретическое исследование в объединении с аппаратом АЕСУМ.

Выводы

АЕСУМ является признанным статистическим инструментом научного поиска по технической политике эксплуатации автодорожных мостов, прогноза технического состояния, продлению остаточного ресурса, разработки новейших моделей прогноза ресурса моста.

Усовершенствование АЕСУМ позволит вести управленческую политику по эксплуатации мостов, оценивать технические, экономические, финансовые ресурсы, дальнейшее пополнение данными создаёт прекрасную сокровищницу для анализа разносторонними данными, оперирования ими при осуществления научных изысканий.

Литература

- Дехтяр, А.С. 2001. Оптимальні терміни й об'єми ремонтів залізобетонних мостів. // Зб. *Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій*. – Вип.3., Львів: Каменяр: 83–86
- Дехтяр, А.С. 2002. Планування експлуатації залізобетонних мостів. Зб. Наукових праць V Наукового міжнародного симпозіуму «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій», №5, Л.: 162–168.
- ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». – Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
- Коваль, П.; Лантух-Лященко, А.; Сидун, С. 2008. Внедрение аналитической экспертной системы управления мостами в Украине. *Материалы юбилейной научно-*

технической конференции 80 лет Белорусской дорожной науке 1928-2008. Минск: 156–165.

- Лантух-Лященко, А.І. 1999. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами. //Зб. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. –вип.57: 183–188.
- Лантух-Лященко, А.І. 1999. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації. *Вісник Транспортної Академії України*, № 3, Київ: 59–63.
- Лантух-Лященко, А.І. 2008. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів Зб. *Дороги і мости*. Вип. 9, ДерждорНДІ – К.: 12–18.
- Методика прогнозування витрат на утримання і ремонт мостів*. Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор». К.: 2007.
- Liu, Chunlu; Hammad, Amin; Iton, Yoshito. 1997. Cost optimization of Bridge Decks Using Genetic Algorithm, *Journal of transport engineering*, March/April, [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <<http://users.encs.concordia.ca/~hammad/papers/J11.pdf>>
- Morcous, G.; Lounis, Z. 2005. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms /, *Automation in Construction* 14: 129–142.
- Дингес, Э.В. 2007. Методы оптимального планирования ремонта мостовых сооружений в условиях недостаточного финансирования. *Новости в дорожном деле*. Научно-технический информационный сборник, выпуск 4. М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационный центр по автомобильным дорогам»: 1–24.