

УДК 624.21:625.745.1

Боднар Л.П., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>
Панібратець Л.Г., <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>
Завгородній С.С., <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>
Борисенко М.А., <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОСТАМИ

Анотація

Вступ. З 2004 року Державним агентством автомобільних доріг України (Укравтодор) розробляється і впроваджується Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ), яка акумулює інформацію щодо мостів на дорогах загального користування України. Аналітичну інформацію з бази даних програмного комплексу АЕСУМ використовують на всіх рівнях дорожньої галузі, регулярно проводяться роботи з наповнення АЕСУМ інформацією з обстежень, паспортизації, враховуються всі зміни в класифікації доріг, мостів тощо.

Проблематика. Встановлено, що загальна система управління включає три найважливіші функції: збір інформації та її аналіз; визначення оптимальної стратегії; раціональне розподілення коштів. Аналіз публікацій свідчить, що створені і реалізовані системи в різних країнах мають багато спільного: є база даних по мостах; здійснюється планування робіт; виконується ранжування об'єктів для призначення пріоритетного виконання робіт. Але в системах різних країн є і суттєві відмінності.

Мета. Детальний розгляд функціоналу ПК АЕСУМ та порівняння його з відомими світовими системами управління мостами для визначення подальших напрямів розвитку програмного комплексу.

Матеріали та методи. База даних АЕСУМ містить в собі близько 150 параметрів кожного мосту. Тут зберігається також детальна інформація про окремі елементи мостів, такі як прогонові будови, опори, фундаменти, а також фотографії і креслення. У відомість дефектів внесено за результатами обстежень дефекти з детальним описом, обсягом розповсюдження та оцінкою їх впливу на стан елемента. В автоматичному режимі розраховується експлуатаційний стан по споруді. Для кожного елемента моста є можливість визначати залишковий ресурс з побудовою кривої деградації, що дозволяє прогнозувати стан елементів споруди на певний період часу в майбутньому. Ранжирування мостів за потребою ремонтів проводиться за двома показниками – експлуатаційним станом та категорією дороги. У складі АЕСУМ розроблено модуль стратегічного управління ремонтами та експлуатаційним утриманням мостів. При плануванні запропоновано дві функції цілі, за якими приймається оптимальне рішення: мінімізація середньорічного рівня деградації та мінімізація вартості ремонтних робіт і експлуатаційного утримання. Передбачено варіанти побудови стратегії при обмеженому бюджеті.

Результати. На сьогоднішній день функціонал програмного комплексу АЕСУМ співрозмірний з основними зарубіжними системами управління мостами.

Висновки. Програмний комплекс АЕСУМ містить у собі головні параметри системи управління мостами та визначено основні напрямки робіт з його вдосконалення.

Ключові слова: автодорожній міст, паспорт моста, система управління станом мостів, стратегії експлуатації мостів.

Першу у світі систему управління станом мостів було розроблено на початку 70-х років минулого сторіччя у США у відповідь на велику аварію мосту [1]. В теперішній час майже всі країни Європи, США і Канада мають свої офіційні системи управління мостами, які почали створюватися близько 50 років назад.

Основні глобальні цілі, які повинні реалізовувати системи управління мостами:

- раціональний і системний підхід до організації і виконання планування, проектування, будівництва, утримання, ремонту і заміни мостів;
- допомагати у виборі ефективної альтернативи для досягнення справного стану споруд у межах виділених коштів і планування майбутніх витрат;
- сприяти у прийнятті ефективних управлінських рішень адміністраторам, технічним спеціалістам і керівникам усіх рівнів експлуатаційних служб.

Сучасний підхід до систем управління мостами можна сформулювати наступним чином:

- система оцінки стану споруд повинна бути максимально наближена до об'єктивної;
- управлінський апарат повинен приймати рішення про раціональний розподіл бюджету на основі дослідження і прогнозування стану мостів при постійному оновленні інформації;
- система повинна базуватися на об'єктивній базі даних, занесеній у комп'ютери останнього покоління з високою продуктивністю.

Таким чином, загальна схема Аналітичної системи управління (АСУ) включає три найважливіші параметри:

- збір інформації та її аналіз;
- визначення оптимальної стратегії;
- раціональне розподілення коштів.

Сьогодні передові системи управління мостами будуються на чіткому розумінні цілі, в яку включені задачі певного призначення. Формується цільова функція, під якою розуміють формальне викладення правила прийняття рішень, в склад якої входить функція пріоритету, співставна з критерієм оптимізації. Ціллю оцінки споруди за пріоритетністю є визначення відносної терміновості заходів з обслуговування мостів. При цьому для визначення терміновості заходів і планування фінансування використовується підхід, який заснований на бальній оцінці тих чи інших факторів.

Наявні публікації з проблеми управління мостами [2, 3, 4, 5, 6] свідчать про те, що створені і реалізовані в даний час за кордоном системи управління мостами мають багато спільного:

- є база даних по мостах, в якій задіяно багато модулів – паспортні дані на мости і дані обстежень, оцінка стану мостів та оцінка ризику експлуатації споруди, обмеження в умовах експлуатації та ін.;
- здійснюється планування робіт (довгострокове та короткострокове) з визначенням виду робіт для елементів мостів та (або) мостів в цілому з можливістю вибору стратегій, з прогнозом зміни стану мостів в часі;
- виконується ранжування об'єктів для призначення пріоритетного виконання робіт.

В той же час є і суттєві відмінності.

Наприклад, система Danbro (Данія) не використовує математичні методи прогнозування зміни стану елементів (все будується на експертних оцінках) та не оцінює втрати на транспорті.

Тільки системи США враховують втрати від незадовільного стану мостів. В системі NATS (Великобританія) не враховуються транспортні витрати і не виконуються оптимізаційні розрахунки, як і в деяких інших. Тільки системи управління мостами США та Данії передбачають довгострокове планування.

В таблиці 1 наведено основні параметри для порівняння систем управління мостами. Всі вони в той чи іншій мірі оперують даними з прогнозованими вартостями ремонтних робіт.

Таблиця 1

Стисла характеристика зарубіжних систем управління мостами [1]

Параметри систем управління мостами	Країни - системи								
	США		Фінляндія – SINA	Канада – OBMS	Великобританія – NATS	Франція – OA-MeGA	Данія – Danbro	Швеція – Safebrow	Німеччина – SIB-Baerwerke
	Pontis	Bridgit							
Зберігання даних паспорту мостів	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Вихідна інформація про стан споруд:									
– дані обстежень	+	+	-	+	+	-	-	-	+
– дані розрахункові	+	-	+	+	+	+	-	+	+
Оцінка стану мостів:									
– експертна	-	+	+	+	+	+	-	-	-
– розрахункова	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Прогнозування стану:									
– за експертними оцінками	-	-	-	-	-	+	+	+	+
– за ймовірнісною оцінкою	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Розгляд різних стратегій обслуговування	+	-	+	-	+	-	+	+	-
Оцінка втрат на транспорті	+	+	-	-	-	-	-	+	-
Визначення пріоритетності обслуговування	+	-	-	-	-	+	+	-	+
Планування:									
– поточне	+	+	+	+	+	+	+	+	+
– короткострокове	+	+	+	+	-	-	-	+	+
– довгострокове	+	-	-	-	-	-	+	-	-

З 2004 року Державним агентством автомобільних доріг України (Укравтодор) розробляється і впроваджується Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) на базі ДП «ДерждорНДІ» з залученням спеціалістів з НТУ, яка акумулює інформацію щодо мостів на дорогах загального користування України [7]. З 2006 року почалося впровадження системи в обласних Службах автомобільних доріг. Починаючи з 2013 року науковий супровід здійснюється цілісно та системно в усіх обласних Службах автомобільних доріг України. Аналітичну інформацію з бази даних програмного комплексу АЕСУМ використовують на всіх рівнях системи дорожньої галузі, регулярно проводяться роботи з наповнення АЕСУМ інформацією з обстежень, паспортизації, враховуються всі зміни в класифікації доріг, мостів тощо. В той же час, треба розуміти, що мости є стратегічними об'єктами, від яких залежить функціонування дорожньої мережі України, і тому інформація про них надається в обмеженому доступі.

ПК АЕСУМ перебуває у стані постійного розвитку та вдосконалення. На сьогоднішній день функціонал програмного комплексу співрозмірний з основними зарубіжними системами управління мостами. База даних АЕСУМ містить в собі близько 150 технічних параметрів по кожному мосту (рисунок 1). Основними параметрами моста в ній є:

- ✓ вид споруди (міст, шляхопровід, естакада тощо);
- ✓ перешкода та її характеристики. Вказується вид перешкоди (ріка, суходіл, залізнична колія, автомобільна дорога, струмок, болото, яр тощо), назва перешкоди (наприклад р. Смотрич) та її характеристики (глибина, ширина, напрям та швидкість течії водних перешкод, кількість колій залізниці, категорія автомобільної дороги);
- ✓ адреса (індекс, назва дороги) вказується відповідно до класифікації, актуальної на час обстеження;
- ✓ кілометр + ПК, GPS координати;
- ✓ категорія дороги (кількість смуг руху, наявність розмітки, тощо);
- ✓ найближчий населений пункт. Вказується його вид, назва та приблизна відстань до споруди;
- ✓ підмостовий габарит. Вказується відстань від нижньої точки прогонової будови в головному прогоні до рівня води або верху покриття автомобільної дороги, головки рейки на залізниці або ґрунту на суходолі;
- ✓ проектне навантаження. Вказується розрахункова схема навантажень на міст згідно проекту (Н30, НК80; А15, НК100...);
- ✓ довжина моста. Вказується відстань між зовнішніми гранями шафових стінок, у випадку, коли шафові стінки відсутні, довжиною моста вважається відстань між крайніми торцями прогонових будов моста;
- ✓ отвір моста. Вказується горизонтальний розмір між крайніми опорами за винятком ширини проміжних опор;
- ✓ ширина моста. Вказується відстань між крайніми точками прогонової будови моста в поперечному напрямку;
- ✓ габарит по висоті. Вказується відстань від верху покриття мосту до найнижчої точки поперечної конструкції прогонової будови над проїзною частиною моста;
- ✓ габарит по ширині. Вказується відстань між огорожами проїзду, включаючи розділову смугу, яка не має огорожень і смуги безпеки;
- ✓ поздовжня схема;
- ✓ покриття проїзної частини. Вказується тип покриття проїзної частини (асфальтобетон, цементобетон, кам'яна бруківка, сталевий настил, дощатий настил тощо);
- ✓ тротуари, їх конструкція. Вказується наявність тротуарів, тип тротуару (блоки рамного типу, навісні тротуарні консолі тощо), тип покриття, їх ширина;
- ✓ тип огорожі безпеки. Вказується тип огороження (бар'єрне, парпетне, бордюрне, тросове тощо) і його висота від проїзної частини.

Споруда: [Міст на км 285 + 241 р.Смотрич м.Кам'янець-Подільський Дорога: Житомир-Чернівці]

Паспорт споруди Книга транспортних споруд Стан елементів транспортних споруд Розрахунки Обмін даними Довідники

Споруда в цілому | Перешкода та регуляційні споруди | Дорога, проїзна частина, тротуари | Водовідвод, огородження

Дата обстеження: 23.07.2015 Кілометр початку: 285 + 241 координати GPS: широта: довгота:

Довжина споруди, м: 379,46 Ширина споруди, м: 18,93 Габарит по ширині фактично, м: 14 Габарит по ширині за нормами, м: 9,5

Підмостовий габарит, м по висоті: 53 Габарит по висоті, м: Кількість прогонів: 10 Кількість смуг руху: 2

Підмостовий габарит, м по ширині: Отвір моста: 363,4 Кількість опор: 13

Навантаження: 5 Н30, НК80 Поздовжня схема: 6x22,16+178,57+3x22,16 Матеріал: 24 Сталезалізобетон

Рік проектування: Рік спорудження: 1973 Рік випробування навантаженням: 2005

Обмеження навантаження, т: Обмеження швидкості руху, км/год: Ширина звуженої по умовам руху проїзної частини, м:

Причини обмеження руху:

Тип антисейсмічних пристроїв:

Власник споруди: 22 Служба автомобільних доріг у Хмельницькій області Експлуатаційна організація: 175 Кам'янець-Подільська ДЕД

Примітки: Дата уширення з лівого боку: Дата уширення з правого боку:

паралельна транспортна споруда Дата відправки у архів:

розташування споруди на невідконтрольній території

Рисунок 1 – Режим ПК АЕСУМ щодо інформації про споруду в цілому

Також зберігається детальна інформація про окремі елементи мостів, таких як прогонові будови, опори, фундаменти (рисунок 2).

Інформація про прогонові будови вноситься за типами їх конструкцій.

Для розрізних конструкцій вказуються номери прогонів, перекритих однаковими прогоновими будовами, для нерозрізних та інших багатопрогонних систем дають номери прогонів, які вони перекривають і позначають їх в дужках. Підвісні прогонові будови описують окремо.

Для кожного прогону або групи однакових прогонових будов записують такі дані:

- ✓ статична схема. Вказується тип статичної схеми (балочно-розрізна, балочна нерозрізна з постійною висотою прогонової будови, балочно-консольна, балочно-консольна з підвісним прогоном, балочна температурно-нерозрізна, арочна, висяча з балкою жорсткості, вантова з балкою жорсткості, рамна, інші статичні системи);

- ✓ вказується тип конструкції (плитна, ребристі балки з діафрагмами, ребристі балки без діафрагм, балки коробчастого перерізу, арки, прокатні двотаврові балки, наскрізні ферми з їздою поверху (понизу), склепіння, дощаті ферми, прогонові будови з елементів і конструкцій цивільного (промислового) будівництва тощо);

✓ матеріал. Вказується матеріал головної несної конструкції (сталезалізобетон, сталь, залізобетон, попередньо-напружений залізобетон, кам'яна кладка, деревина, деревина клеєна тощо);

✓ типовий проект – згідно технічної документації;

✓ тип опорних частин. Вказується наявність опорних частин, їх тип та кількість;

✓ деформаційні шви. Вказується місця розташування, типи деформаційних швів (деформаційні шви закритого типу; щебенево-мастикові деформаційні шви; деформаційні шви, що заповнюються; деформаційні шви, що перекриваються; деформаційні шви з еластомерним компенсатором тощо);

✓ поперечна схема. Вказується як сума відстаней між сусідніми головними несними елементами прогонових будов по осях; для плитних збірних мостів поперечна схема записується як ширина однієї плити, помноженої на кількість плит; для плитних монолітних мостів - ширина плити;

✓ кількість головних балок. Вказується в коробчастих та таврових перерізах за кількістю ребер (стінок), а в плитних збірних – за кількістю плит.

Опори записують по групах. В одну групу входять однакові за конструкцією опори незалежно від їх висоти і відмінності розмірів окремих деталей. Для кожної опори або групи однакових опор потрібні наступні дані:

✓ тип опори. Вказуються типи берегових та проміжних опор;

✓ матеріал. Вказується матеріал опори (сталь, залізобетон, бетон, бутобетон, кам'яна кладка, бетон і кам'яна кладка, цегляна кладка, інші матеріали);

✓ кількість стояків. Вказується загальне число стійок, для пальово-стійкових опор число паль відповідає числу стійок;

✓ схема опори. Вказується кількість стійок (стояків) та крок між ними;

✓ переріз стійки, ригеля, довжина ригеля;

✓ тип конструкції фундаменту. Вказується відповідно до технічної документації на міст;

✓ глибина закладення фундаменту. Вказується за технічною документацією. Якщо фундамент пальовий, вказується глибина занурення паль;

✓ розміри масивної частини фундаменту. Розміри масивної частини вказуються по кресленням або по обміру опори в нижній зоні;

✓ кількість паль. Вказується з технічної документації, для пальово-стійкових опор число паль відповідає числу стійок.

Споруда: [Міст на км 285 + 241 р.Смотрич м.Кам'янець-Подільський Дорога: Житомир-Чернівці]

Паспорт споруди Книга транспортних споруд Стан елементів транспортних споруд Розрахунки Обмін даними Довідники

Прогонова будова

№ типу 1
 № типу прогонової будови 1
 Номери прогонів, що перекриті прогоновими будовами такого типу (наприклад, 0-1, 1-2) 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 9-10, 10-11, 11-12
 К-ть прогонів даного типу 9

Тип статичної схеми 1 Балочна розрізна
 Тип конструкції 7 ребриста з діафрагмами з ребрами двотаврового перерізу
 Тип матеріалу 31 Попередньо напружений залізобетон
 Типовий проект 10 Союздорпроект "Випуск 122-62"

Проектне навантаження 5 Н30, НК80
 Тип опорних частин: рухомих 4 тангенціальні
 Тип опорних частин: нерухомих 4 тангенціальні
 Рік виготовлення 1973

Спосіб спорудження: монолітні збірно-монолітні збірні
 Спосіб поперечного об'єднання конструкції: діафрагмами плитою поздовжніми шпонками інший
 Кількість рухомих опорних частин
 Кількість нерухомих опорних частин 22,16
 Довжина прогону (повна), м
 Поперечна схема 9x1,66

Товщина плити проїжджої частини, мм: від 80 до 120
 Товщина одягу ізового полотна, мм: від 250 до 330
 Висота головної балки (плити) в центрі прогону, м 1,2
 Висота головної балки (плити) у опори, м 1,2

Кількість головних балок 10
 Кількість поздовжніх балок (плит) у панелі
 Дата обстеження 23.07.2015

Деф. на початку: Закритий без армування покриття
 Деф. в кінці: Закритий без армування покриття
 Примітки
 Клас бетону
 Водневий показник pH
 Додаткове постійне навантаження 100 мм а/б

F2 виконати Esc відмовитися F10 довідник

Споруда: [Міст на км 285 + 241 р.Смотрич м.Кам'янець-Подільський Дорога: Житомир-Чернівці]

Паспорт споруди Книга транспортних споруд Стан елементів транспортних споруд Розрахунки Обмін даними Довідники

Опори

№ типу 1
 № типу опори 1 0
 Номери опор такого типу (наприклад, 0,1,2)

Тип конструкції опори 38 берегова масивна з боковими відкрілками
 Тип фундаменту 1 неглибокого закладання на природній основі
 Тип матеріалу 2 Залізобетон
 Типовий проект 70 Індивідуальний проект
 К-ть опор даного типу 1

Опори

Ширина, м 0,325
 Довжина, м 20,57
 Висота, м 6,3
 Глибина закладання фундаменту, м
 Схема опори, м 1x20,57

Розміри масивної частини опори, м
 Ширина, м
 Довжина, м
 Висота, м
 Розміри масивної частини опори, м 0,325x20,57x6,3

Переріз ригеля, м
 Ширина, м
 Довжина, м
 Висота, м
 Переріз ригеля, м

Переріз стояка, м
 Ширина, м
 Довжина, м
 Кількість стояків
 Переріз стояка, м

Клас бетону
 Водневий показник pH
 Дата обстеження 23.07.2015

Примітки

F2 виконати Esc відмовитися F10 довідник

Рисунок 2 – Режим ПК АЕСУМ щодо інформації по окремим елементам моста

Паспорт містить фотографії загального вигляду моста, проїзної частини, основних елементів і дефектів. На фотографії проїзної частини відображаються типи тротуарів, огорож та поручнів (рисунок 3).

В паспорті приводяться креслення (або схеми) загального вигляду і поперечних розрізів споруди з основними розмірами [8]. Схема споруди повинна відповідати стану споруди на період обстеження. Число поперечних перерізів на кресленнях визначається кількістю типів конструкцій прогонових будов і опор.

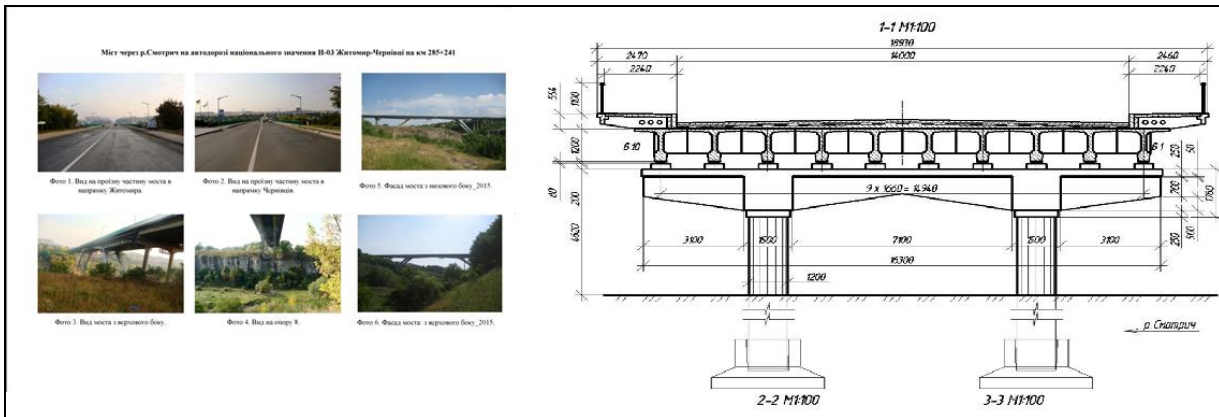


Рисунок 3 – Відображення фотографій моста та його креслень в ПК АЕСУМ

З результатів обстежень у відомість дефектів вносяться дефекти по кожній групі елементів з детальним описом, обсягом розповсюдження та фотографіями. В результаті внесеної інформації робиться оцінка впливу дефектів на стан елемента та визначається експлуатаційний стан по кожній групі елементів на основі найгіршого стану елемента цієї групи (рисунок 4).

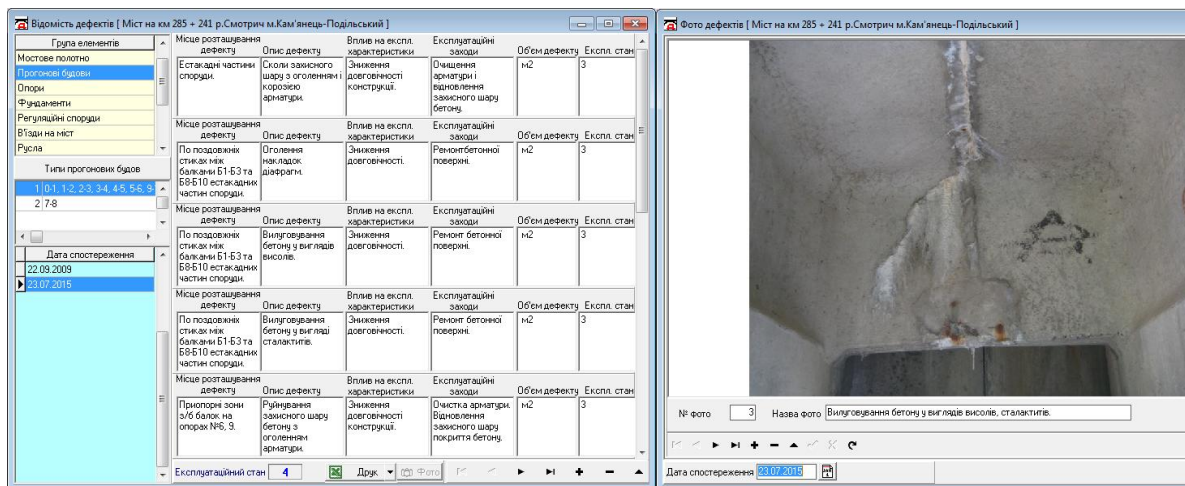


Рисунок 4 – Режим ПК АЕСУМ для роботи з дефектами

При визначенні стану по елементах передбачено можливість втручання експерта, який може скоригувати оцінку експлуатаційного стану на основі додаткових обчислень вантажопідйомності, на основі розрахунків характеристики безпеки та власного досвіду

(рисунок 5) [9]. Після чого в автоматичному режимі розраховується експлуатаційний стан по споруді в цілому.

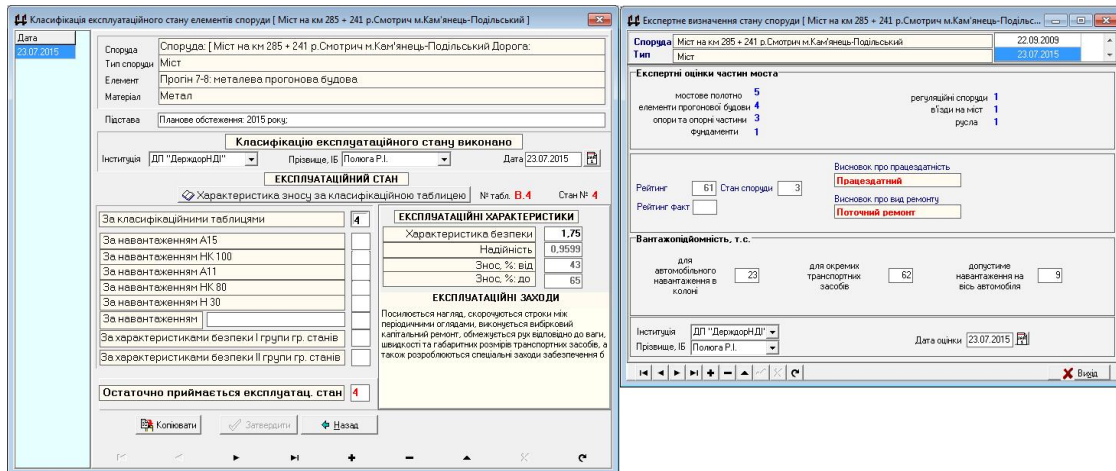


Рисунок 5 – Режим ПК АЕСУМ для експертного визначення експлуатаційного стану

Для кожного елемента моста є можливість визначати залишковий ресурс з побудовою кривої деградації, що дозволяє прогнозувати стан елементів споруди на певний період часу в майбутньому (рисунок 6).

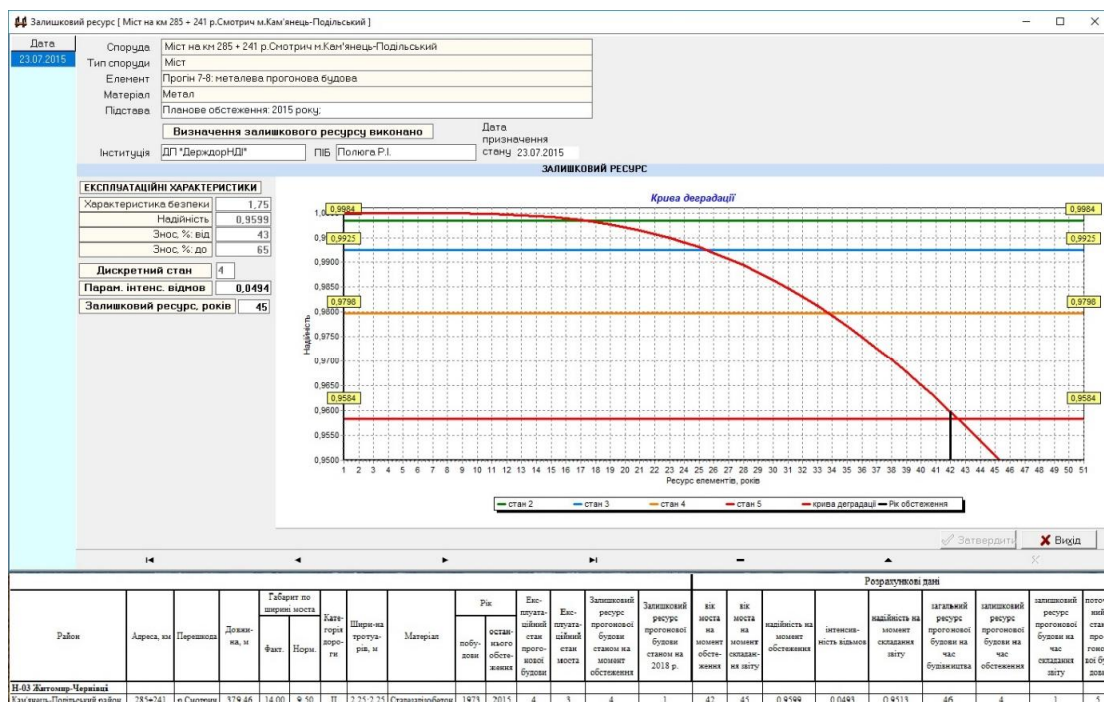


Рисунок 6 – Режим ПК АЕСУМ для розрахунку залишкового ресурсу елементів моста та розрахункова відомість залишкового ресурсу та прогнозованого розрахункового поточного експлуатаційного стану

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

На цьому прикладі для елемента «прогін 7-8» наведено оцінку його експлуатаційного стану (стан 4), при цьому експлуатаційний стан моста в цілому – 3. Залишковий ресурс цієї прогонової будови на момент обстеження – 4 роки, станом на 2018 рік – 1 рік. Розрахований загальний ресурс прогонової будови становить 46 років. Згідно розрахунку поточний стан прогонової будови відповідає 5 стану.

Ранжирування мостів за потребою ремонтів виконано за двома показниками – експлуатаційним станом (а точніше рейтингом) та категорією дороги. Отже, в першу чергу ремонтувати необхідно мости на дорогах найвищих категорій та з найгіршим технічним станом або ще точніше - найменшим рейтингом (рисунок 7).

Відомість мостів по а/д державного значення за рівнем першочерговості ремонтів								
№	Категорія дороги	Назва дороги	Рейтинг	км +	Перешкода	Рік спорудження	Дата останнього ремонту	Вид ремонту
Хмельницька область								
Стан - 5								
1	II категорія	Н-0 Житомир-Чернівці	38	27 + 508	р.Мукша	1953		реконструкція
2	III категорія	Т-23-17 Кам'янець-Подільський-Стара Ушиця	37	6 + 950	струмок	1951	1989	капітальний ремонт
3		Т-18-04 Корець-Славута-Антоніни	37	18 + 180	струмок	1968		реконструкція
4		Т-23-01 Білогір'я-Р-26/	38	12 + 800	суходіл	1986		реконструкція
5			38	24 + 300	суходіл	1968		капітальний ремонт
Всього в 5 стани - 5 споруд								
Стан - 4								
1	Iб категорія	М-12-03 Під'їзд до м.Хмельницький	40	2 + 296	залізниця	1986		капітальний ремонт
2	II категорія	Н-03 Житомир-Чернівці	45	164 + 917	р.Бужок	1959		капітальний ремонт
3			47	143				
4			51	150 +				
5		Т-23-09 Шелетівка-Чуднів-Бердичів	52	30 + 42				
6		Т-06-12 Новоград-Волинський-Полонне-Старокостянтинів	56	67 + 92				
7		Т-23-09 Шелетівка-Чуднів-Бердичів	57	1 + 420				
8			57	28 + 49				
9		Т-06-12 Новоград-Волинський-Полонне-Старокостянтинів	57	95 + 48				
10		Н-03 Житомир-Чернівці	57	137 + 0				
11	III категорія	Т-23-08 Гуків-Дунаївці-Могилів-Подільський	40	30 + 40				
12		Р-48 Кам'янець-Подільський-Сатанів-Війтівці-Білогір'я	41	159 + 5				
13			44	62 + 400	струмок	1950		капітальний ремонт
14		Т-23-08 Гуків-Дунаївці-Могилів-Подільський	44	79 + 891	р.Ушиця	1962	1983	капітальний ремонт
15		Т-23-06 Шелетівка-Старокостянтинів	47	4 + 736	струмок	1970		реконструкція
16		Р-48 Кам'янець-Подільський-Сатанів-Війтівці-Білогір'я	48	15 + 607	р.Жванчик	1967	1994	капітальний ремонт
17		Т-23-13 Кам'янка-Шелетівка	49	15 + 698	струмок	1974		реконструкція
18		Т-23-17 Кам'янець-Подільський-Стара Ушиця	50	9 + 950	струмок	1940	1977	капітальний ремонт
19		Т-18-04 Корець-Славута-Антоніни	50	50 + 823	залізниця	1984		капітальний ремонт
20		Р-48 Кам'янець-Подільський-Сатанів-Війтівці-Білогір'я	51	26 + 223	суходіл	1939		капітальний ремонт

Ранжирування мостів за потребою в ремонті проводять за 2 показниками: експлуатаційному стану мосту (рейтингу) та категорії дороги

Рисунок 7 – Фрагмент відомості ранжування мостів за першочерговістю ремонтів

В рамках науково-дослідних робіт були проведені дослідження та у складі АЕСУМ розроблено модуль стратегічного управління ремонтами та експлуатаційним утриманням мостів. На рисунку 8 представлено схему базисних компонентів обґрунтування оптимальної стратегії експлуатації мостів.

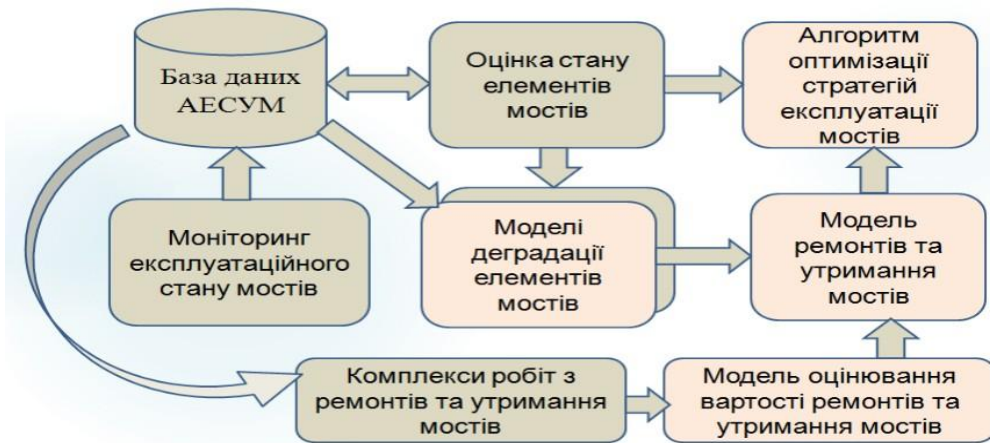


Рисунок 8 – Базисні компоненти обґрунтування стратегії експлуатації мостів

Планування стратегій експлуатації мостів відбувається на мережевому рівні, тобто передбачено планування на рівні мережі доріг загального користування, на мережі державних, місцевих доріг, на рівні області тощо.

Було прийнято дві функції цілі, за якими приймається оптимальне рішення. А саме – мінімізація середньорічного за період середньозваженого за площею мостів рівня деградації та мінімізація вартості на ремонтні роботи та експлуатаційні утримання. Передбачено варіанти побудови стратегій експлуатації при обмеженому бюджеті.

На рис. 9 продемонстровано зміну рівня деградації для мостів при відсутності фінансування та при фінансуванні згідно обраної стратегії. На графіках показано зміну середньорічного рівня деградації на сукупності мостів, для яких планується певна стратегія експлуатації. На лівому графіку показано зміну деградації при відсутності фінансування і, відповідно, при відсутності ремонтних робіт.

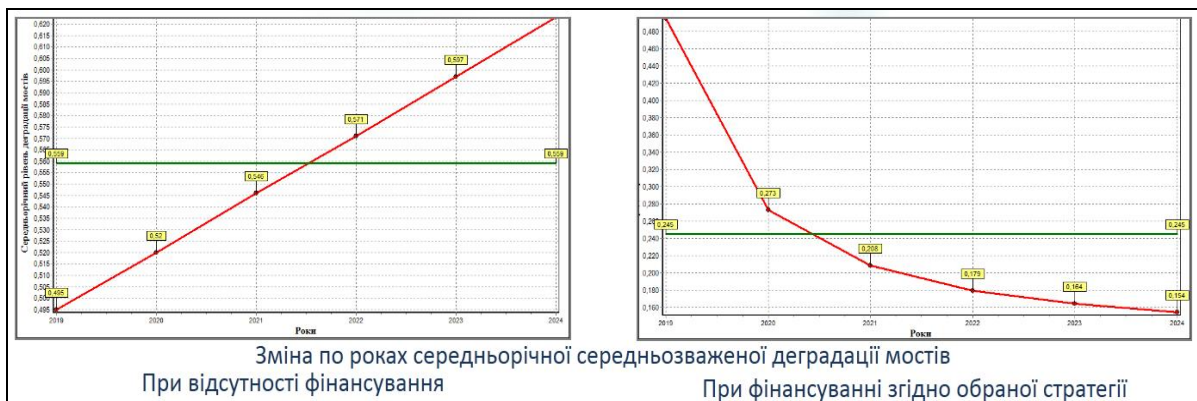


Рисунок 9 – Зміна по роках середньорічної середньозваженої деградації мостів

Середньострокові програми з експлуатації мостів (на 5 років) розробляються уповноваженими особами Укравтодору на основі розрахованих стратегій програмним комплексом АЕСУМ. На рис. 10 представлено фрагмент програми робіт на 5 років. Для кожного моста надано інформацію щодо зміни експлуатаційного стану за умови виконання запропонованих видів робіт на кожен рік розрахункового періоду.

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

Рік	Стан на початок року	Рівень деградації на початок року	Вид робіт	Стан на кінець року	Рівень деградації на кінець року	Вартість робіт, тис.грн	Площа моста, м2	Швидк. Деград.	Вплив заходу	±ΔD
Сумська область										
Кролевецький район										
М-02 Кіпті-Глухів-Бачівськ (на Брянськ)										
			(54651) Шляхопровід на км 150 + 619, вік - 9 р.				744,7			
2019				3	0,250					
2020	3	0,250	Експлуатаційне утримання	3	0,280	148,9		0,0300	0,0000	-0,0300
2021	3	0,280	ПДР	3	0,260	3798,0		0,0300	0,0500	0,0200
2022	3	0,260	Експлуатаційне утримання	3	0,290	148,9		0,0300	0,0000	-0,0300
2023	3	0,290	ПДР	3	0,270	3798,0		0,0300	0,0500	0,0200
2024	3	0,270	ПДР	3	0,250	3798,0		0,0300	0,0500	0,0200
			(39719) Міст на км 161 + 450, вік - 15 р.				320,6			
2019				4	0,409					
2020	4	0,409	ПСР	2	0,138	2741,1		0,0290	0,3000	0,2710
2021	2	0,138	ПДР	2	0,113	1226,3		0,0250	0,0500	0,0250
2022	2	0,113	ПДР	2	0,088	1226,3		0,0250	0,0500	0,0250
2023	2	0,088	Експлуатаційне утримання	2	0,113	48,1		0,0250	0,0000	-0,0250
2024	2	0,113	Експлуатаційне утримання	2	0,138	48,1		0,0250	0,0000	-0,0250
			(39720) Міст на км 178 + 232, вік - 15 р.				836,2			
2019				4	0,434					
2020	4	0,434	КР	1	0,050	8947,8		0,0290	0,6000	0,3840
2021	1	0,050	Експлуатаційне утримання	2	0,055	83,6		0,0050	0,0000	-0,0050
2022	2	0,055	Експлуатаційне утримання	2	0,080	125,4		0,0250	0,0000	-0,0250
2023	2	0,080	Експлуатаційне утримання	2	0,105	125,4		0,0250	0,0000	-0,0250
2024	2	0,105	Експлуатаційне утримання	2	0,130	125,4		0,0250	0,0000	-0,0250

Рисунок 10 – Фрагменти результатів програми робіт по кожному мосту на 5 років

На графіку (рис. 11) представлено розподіл необхідних фінансових ресурсів по роках для певної стратегії, фрагмент якої представлено на рис. 10.



Рисунок 11 – Графік потреби у фінансуванні на експлуатацію мостів за певною стратегією

ДП «ДерждорНДІ» виконує науково-дослідні роботи щодо визначення орієнтовної вартості ремонтів більш наближеним методом, що є альтернативним існуючому шляхом ув'язки об'ємів дефектів кожного обстеженого моста з наборами робіт (які передбачено в кошторисних програмах), для усунення виявлених дефектів на конкретному мосту.

Також виконуються роботи щодо ранжирування дефектів за важливістю та повнотою їх усунення. В залежності від цього можлива побудова стратегічних програм з експлуатації мостів з урахуванням різних рівнів фінансування та побудови науково обґрунтованих стратегічних планів з ремонтів.

Висновки

Вітчизняний програмний комплекс АЕСУМ містить у собі всі головні параметри систем управління мостами та вирішує основні глобальні цілі, які стоять перед системами такого типу. Необхідно продовжувати роботи з його вдосконалення у таких напрямках: актуалізація бази даних АЕСУМ інформацією з обстежень/паспортизацій мостів; розробка модуля техніко-економічних обґрунтувань щодо проведення реконструкцій/нового будівництва; обґрунтування реконструкцій/нового будівництва з урахуванням ризиків; уточнення та удосконалення моделей та методів розрахунку деградації елементів мостів для підвищення їх надійності, довговічності; удосконалення та впровадження модуля прийняття ефективних рішень стратегічного планування ремонтів; створення механізму порівняння результатів за різними стратегіями, моделями; вдосконалення та впровадження механізму визначення вартості ремонтних робіт на 1 м² за видами ремонтів за рахунок варіювання за різними ознаками.

В даний час ПК АЕСУМ не оцінює втрати на транспорті від незадовільного стану мостів, тому необхідно вивчити досвід АСУ США для розробки відповідного модуля у вітчизняному програмному комплексі.

Список літератури

1. Шестериков В.И., Горобец Л.И., Матвеев И.К. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России: Обзор. информ. Москва, 2007. Вып. 2. 96 с. URL: <http://internet-law.ru/stroyka/text/56251>
2. Presentations from 8th International Bridge Management Conference (April 26-28, Denver, Colorado). Denver, Colorado, 1999. Issue 498. Vol. 1.
3. Shesterikov V., Gorobets L. Bridge operation management system in Russia. Intertraffic Asia 2002: PIARC Seminar. Bangkok, Thailand, 2002.
4. Presentations from 9th International Bridge Management (April 28-30, Orlando, Florida). Orlando, Florida, 2003. 440 p. URL: <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/153044.aspx>
5. Speiran K., Reed M. Ellis. Implementation of a Bridge Management System in the Province of Nova Scotia: Annual conference of the Transportation Association of Canada. Guebec, 2004. 20 p.
6. Bridge Management: Experiences of California, Florida and South Dakota. Washington, 2005. 32 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/bmcs7.pdf>
7. Боднар Л.П. Програмний комплекс АЕСУМ. Сучасний стан та концепція подальшого розвитку. *Дороги і мости*. Київ, 2010. Вип. 12. С. 31–39.
8. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування. Київ, 2009. 48 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2012. 38 с. (Інформація та документація)

REFERENCES

1. Shiesterykov V.Y., Horobets L.Y., Matvieiev Y.K. Upravlenie sostoianiiem mostovykh sooruzhenii na federalnoi sety avtomobilnykh doroh Rossii: Overview information. Moscow, 2007. 2. 96 p. URL: <http://internet-law.ru/stroyka/text/56251/> [in Russia].
2. Presentations from 8th International Bridge Management Conference (April 26-28, Denver, Colorado). Denver, Colorado, 1999. Issue 498. Vol. 1. [in the USA]
3. Shesterikov V., Gorobets L. Bridge operation management system in Russia. Intertraffic Asia 2002: PIARC Seminar. Bangkok, 2002. [in Thailand].
4. Presentations from 9th International Bridge Management (April 28-30, Orlando, Florida). Orlando, Florida, 2003. 440 p. URL: <http://www.trb.org/Publications/Blurbs/153044.aspx> [in the USA]
5. Speiran K., Reed M. Ellis. Implementation of a Bridge Management System in the Province of Nova Scotia: Annual conference of the Transportation Association of Canada. Quebec, 2004. 20 p. [in Canada].
6. Bridge Management: Experiences of California, Florida and South Dakota. Washington, 2005. 32 p. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/bmcs7.pdf> [in the USA].
7. Bodnar L.P. Software complex AESUM. Up-to-date state and the concept of further development. *Dorogi i mosti*. Kiev, 2010. 12. C. 31-39 [in Ukrainian].
8. State Building Norms (DBN V.2.3-6: 2009) Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia i vyprovuvannia (Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing). Kyiv, 2010. 48 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. State Standard of Ukraine (DSTU-N B.V.2.3-23: 2012) Nastanova z otsiniuvannia i prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv (Guidelines for the assessment and forecasting of the technical condition of road bridges). Kyiv, 2012. 38 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Larusa Bodnar, <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Liuda Panibratets, <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Serhii Zavorodnyi, <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Maksym Borysenko, <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise - DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

**THE EXPERIENCE OF IMPLEMENTATION OF THE ANALYTICAL
EXPERT BRIDGES MANAGEMENT SYSTEM*****Abstract***

Introduction. Since 2004, an Analytical Expert Bridge Management System (AESUM) which accumulates information on bridges on public roads of Ukraine has been developed and implemented by the State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor). Analytical information from the database of the AESUM software is used at all levels of the road sector system, filling of the AESUM database with the information on inspections and certification is carried out regularly, all changes in the classification of roads and bridges are taken into account, etc.

Problem statement. It is established that the general management system includes three most important parameters: information acquisition and its analysis; definition of an optimal strategy; rational allocation of funds. The analysis of publications shows that the created and implemented systems in different countries have much in common: there is a database on the bridges; planning of

works is carried out; ranking of the facilities for the priority work performance is carried out. But there are also significant differences in the systems of different countries.

Purpose. A detailed consideration of the functional of AESUM and its comparison with the well-known world bridge management systems to determine the future directions of the development of the software package.

Materials and methods. The AESUM database contains about 150 technical parameters for each bridge. It stores the detailed information on individual elements of the bridges such as bridge span, bearings, and foundations, as well as photos and drawings. From the results of the surveys, the defects are recorded in a defects record for each group of elements with a detailed description, specification of a distribution area and the evaluation of their impact on the element's state. Operational state of the facility is calculated in the automatic mode. For each bridge element it is possible to determine the residual lifetime with the construction of the degradation curve which allows predicting the state of the facilities elements for a certain period of time in the future. Ranking of the bridges by the repairs need is completed by two indicators - the operational state and the road category. Module for strategic management of repairs and operational maintenance of bridges has been developed within the AESUM software. During planning, two functions of the target were proposed by which the optimal solution is adopted: minimizing the average annual level of degradation and minimizing the cost of repairs and operational maintenance. Options for developing the strategies with a limited budget are predicted.

Results. To date, the functional of the AESUM software is comparable to the major foreign Bridge Management Systems.

Conclusion. It is concluded that the AESUM software complex contains basic parameters of the Bridge Management System and the priority areas for its improvement are identified.

Key words: highway bridge, bridge certificate, bridge management system, bridges operation strategies.

Боднар Л.П., <https://orcid.org/0000-0002-4754-721X>

Панибратец Л.Г., <https://orcid.org/0000-0003-0683-9299>

Завгородний С.С., <https://orcid.org/0000-0003-1928-4544>

Борисенко М.А., <https://orcid.org/0000-0001-9772-3536>

Государственное предприятие «Государственный дорожный научно-исследовательский институт имени Н.П. Шульгина» (ГП «ГосдорНИИ»), г. Киев, Украина

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОСТАМИ

Введение. С 2004 года Государственным агентством автомобильных дорог Украины (Укравтодор) разрабатывается и внедряется Аналитическая экспертная система управления мостами (АЭСУМ), которая аккумулирует информацию по мостам на дорогах общего пользования Украины. Аналитическую информацию с базы данных программного комплекса АЭСУМ используют на всех уровнях дорожной отрасли, регулярно проводятся работы по наполнению АЭСУМ информацией по результатам обследований, паспортизации, учитываются все изменения в классификации дорог, мостов.

Проблематика. Установлено, что общая система управления включает три наиважнейшие функциональности: сбор информации и ее анализ; определение оптимальной стратегии; рациональное распределение финансов. Анализ публикаций свидетельствует, что созданные и реализованные системы в разных странах имеют много общего: есть база данных по мостам; осуществляется планирование работ; осуществляется ранжирование объектов для назначения

приоритетного выполнения работ. Однако в системах разных стран есть и существенные отличия.

Цель. Детальное рассмотрение функционала ПК АЭСУМ и сравнение его с известными мировыми системами управления мостами для определения последующих направлений развития программного комплекса.

Материалы и методы. В базе данных АЭСУМ содержится около 150 параметров по каждому мосту. В ней также хранятся детальная информация по отдельным элементам моста, таким как пролетное строение, опоры, фундаменты, а также фотографии и чертежи. В ведомость дефектов внесены по результатам обследований дефекты с детальным описанием, объемом распространения и оценкой их влияния на состояние элемента. В автоматическом режиме рассчитывается эксплуатационное состояние по сооружению. Для каждого элемента моста есть возможность определять остаточный ресурс с построением кривой деградации, что позволяет прогнозировать состояние элементов моста на определенный период времени в будущем. Ранжирование мостов по потребности ремонтов проводится по двум показателям – эксплуатационным состоянием и категорией дороги. В составе АЭСУМ разработан модуль стратегического управления ремонтами и эксплуатационным содержанием мостов. При планировании предложено две функции цели, по которым принимается оптимальное решение: минимизация среднегодового уровня деградации и минимизация стоимости ремонтных работ и эксплуатационного содержания. Предусмотрены варианты построения стратегии при ограниченном бюджете.

Результаты. На сегодняшний день функционал программного комплекса АЭСУМ сопоставим с основными зарубежными системами управления мостами.

Выводы. Сделано выводы о том, что программный комплекс АЭСУМ содержит основные параметры системы управления мостами и определены основные направления работ по его усовершенствованию.

Ключевые слова: автодорожный мост, паспорт моста, система управления состоянием мостов, стратегии эксплуатации мостов.