

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС АЕСУМ. СУЧАСНИЙ СТАН ТА КОНЦЕПЦІЯ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ

Боднар Л.П.

Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

1. Проблема

Незадовільний технічний стан автодорожніх мостів України спричиняє значні соціальні і матеріальні збитки в економіці України, потребує збільшення асигнувань на їх ремонт і реконструкцію. Привертає увагу факт накопичення обсягів ремонтних робіт, які не були виконані в минулі роки. Кількість мостів, які потребують капітального ремонту або реконструкції, останні роки постійно збільшується. Так, якщо в 2004 р. їх кількість складала 428 мостів (2,7 % від загальної) то в 2010 р. їх вже майже вдвічі більше – 710 од. (4,4 % від загальної кількості), загальною довжиною 26602 м. Орієнтовна вартість ремонту і реконструкції цих мостів становить 8779 млн. грн. Очевидно, що таких асигнувань у найближчі роки не буде виділено, і кількість мостів, що потребують капітального ремонту буде далі збільшуватись.

Для належного функціонування дорожньої мережі необхідно мати сучасний інструментарій управління мостами. Таким інструментарієм є Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ), яка була створена за завданням Державної дорожньої служби України.

Нині програмний комплекс АЕСУМ Укравтодору став класичним зразком застосування сучасних інформаційних технологій для моніторингу технічного стану мостів, прогнозу ресурсу та безпеки експлуатації, обґрунтування стратегій ремонтів і реконструкції в умовах обмеженого фінансування. В умовах сьогодення АЕСУМ розглядається як універсальний інструмент системи експлуатації мостів, їх моніторингу і підтримання в безпечному для експлуатації стані.

Від широкого впровадження АЕСУМ очікується значний соціально-економічний ефект за рахунок оптимального використання коштів на ремонт та реконструкцію, контролю безпечної експлуатації споруд, подовженню їх залишкового ресурсу і, тим самим, збільшення пропускної спроможності транспортної мережі України. Відкрита структура даних дозволяє по мірі необхідності доповнювати її новими даними та розвивати і нарощувати розрахункові та аналітичні модулі.

АЕСУМ функціонує, починаючи з 2006 року. Завдяки науковому супроводу, який ведуть ДерждорНДІ та Національний транспортний університет, система динамічно розвивається, поповнюється новими аналітичними експертними функціями, наповнюється і розширяється її банк даних. Сьогодні є потреба в ретроспективному аналізі концепції розвитку АЕСУМ і окреслення напрямку подальшого вдосконалення. Саме це науково-технічне завдання складає центральну мету статті.

2. Загальна характеристика АЕСУМ

Глобальною метою АЕСУМ є автоматизація процесу *управління мостами*, як комп'ютерної реалізації сучасної інформаційної методології планування, керівництва, координації людських і матеріальних ресурсів, пошуку оптимальної стратегії фінансування експлуатаційних заходів

протягом життєвого циклу моста, спрямовану на ефективне підтримання мостів у безпечному для експлуатації стані.

АЕСУМ є одним із перших заходів із створення національної системи експлуатації автодорожніх мостів і має розглядатися як універсальний інструмент системи експлуатації мостів, їх моніторингу і підтримання в безпечному для експлуатації стані.

З іншого боку, слідуючи тезі, що міст має бути органічним елементом дорожньої мережі, програмний комплекс АЕСУМ проектувався як система рівня мережі. Комплекс містить окрім повних даних рівня елементів споруди необхідну інформацію відносно доріг. В програмному комплексі реалізовано все нормативне забезпечення, розроблене за останні 5-6 років. Функціонально це – експертна програма, яка генерує інформацію для прийняття рішень в системі експлуатації мостів.

Передбачається, що програмний комплекс використовується на всіх рівнях управлінської вертикалі експлуатації мостів Укравтодору. Це означає, що система буде використовуватись в апараті Укравтодору, в обласних та районних дорожніх організаціях. Структура банку, формати даних, набір функцій користувача є незмінним і не залежить від рівня користувача. Структурну схему програмного комплексу показано на рис. 1.

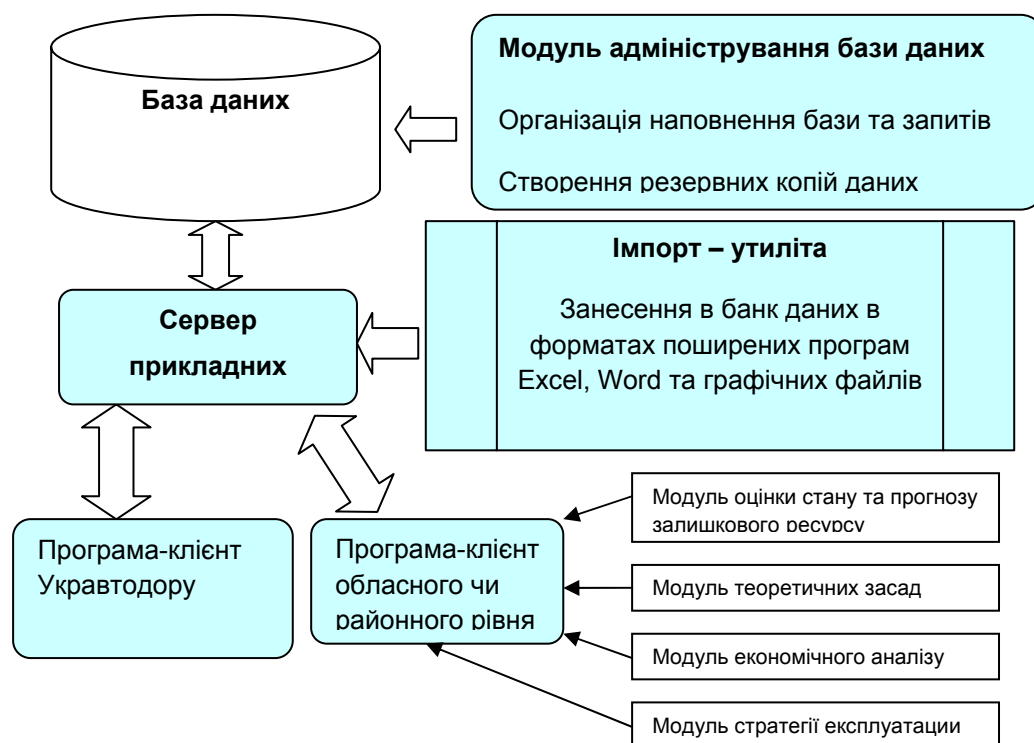


Рис. 1. Структурна схема програмного комплексу

АЕСУМ має сучасну базу даних, яка складається з великої кількості графічної, текстової, чисельної інформації таких типів:

- технічні дані про споруди і їх елементи, розрахунки, креслення;
- дані випробовувань, обстежень, опис дефектів, креслення конструкцій, фото, дані обчислень надійності, прогнозу довговічності;
- схеми дорожньої мережі, розташування споруд, технічні характеристики доріг;
- дані пошуку оптимальної стратегії експлуатації;

- нормативні вимоги з експлуатації, обстежень і випробовувань;
- дані ціноутворення;
- довідково-аналітична система розрахунку потреби ресурсів;
- дані про інвесторів, наукові, юридичні особи, проєктантів, будівельників та субпідрядників галузі.

Програмний комплекс сьогодні містить близько 40 функцій [6] двох груп: інформаційні та аналітичні експертні, якими генеруються рекомендації з управління мостами.

Повний набір інформаційних функцій АЕСУМ є досить типовим для ПК управління мостами. Назвемо головні з них:

- зберігання та обробка інформації про споруду в цілому і конструкції елементів споруди (проектна та виконавча документація);
- зберігання та обробка систематизованої інформації про реконструкції та посилення елементів споруди;
- зберігання та обробка інформації стосовно нагляду, ремонтів, випробовувань та обстежень, дефектів споруди;
- формування паспортів споруди;
- статистичні та інформаційні функції;
- підготовка форм статистичних звітів;
- підготовка довідок, які містять будь-які показники, що передбачено базою даних.

Переважальними в ПК АЕСУМ є аналітичні експертні функції. Головні з них:

- формалізована оцінка експлуатаційного стану автодорожніх мостів;
- прогноз залишкового ресурсу споруди;
- формалізована експертна оцінка (рейтинг), що слугує для ранжирування мостів у рамках дорожньої мережі за потребою ремонту або реконструкції;
- оцінка безпеки руху по споруді;
- аналіз вантажопідйомності мостів та можливості пропуску понаднормативних вантажів;
- формування рекомендацій зі стратегії експлуатації та оптимізація витрат на ремонт і реконструкцію;
- економічний прогноз, моделювання соціальних наслідків закриття мосту на ремонт.

3. Теоретичний базис експертних функцій. Оцінка експлуатаційного стану

Теоретичною базою модулів оцінки експлуатаційного і прогнозу залишкового ресурсу споруди є новітня модель деградації елементів мостів, сформульована в роботах [7, 8]. Моделлю встановлюється зв'язок між надійністю та часом експлуатації елемента. Перехід із одного дискретного стану в інший описується як процес Пуассона з дискретними станами та неперервним часом. Модель деградації елемента має вигляд

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

де λ – параметр процесу – інтенсивність відмов;

P_t – ймовірність того, що елемент перейде в стан k протягом часу $t < T_k$.

Залежністю (1), при заданій інтенсивності відмов λ , встановлюється зв'язок між надійністю елемента P_t в i -му стані та часом t , що пройшов від початку експлуатації до стану $i=2, \dots, 5$.

Розв'язок рівняння (1), відносно невідомої t – часу експлуатації, може бути отриманий при відомому параметрі λ (надійність елемента P_t в i -му стані є відомою з класифікаційної таблиці стану).

Інтенсивність відмов λ_i знаходиться для елемента з рівняння (1) як його розв'язок при відомих початкових умовах [8]:

- надійність елемента в i -му дискретному стані $P_{t,i}$, отримано з класифікаційної таблиці дискретних станів;
- час t_i , що пройшов від початку експлуатації елемента до моменту класифікації його дискретного стану.

Прогноз залишкового ресурсу споруди

Залишковий ресурс елемента визначається із рівняння деградації елемента (1), за відомою надійністю елемента в стані $i - P_{t,i}$ та параметром інтенсивності відмов елемента λ_i , знаходиться прогнозований час T_n , що пройде від початку експлуатації елемента до стану n . У випадку $n = 5$ час T_n буде прогнозом залишкового ресурсу.

Вихідними даними для визначення залишкового ресурсу є надійність елемента $P_{t,i}$ та час, що пройшов від початку експлуатації до стану $i - t_i$. Ці дані отримуються інженером на підставі оглядів і обстежень, класифікації дискретного стану, перевірочних розрахунків вантажопідйомності та характеристики безпеки β [3].

Наведено алгоритм оцінки і прогнозу експлуатаційного стану є нормативним і згідно чинного документу ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів» [5].

Для прикладу реалізації цього алгоритму в АЕСУМ на рис. 2 показано вікно обчислення залишкового ресурсу прогнаної будови моста.

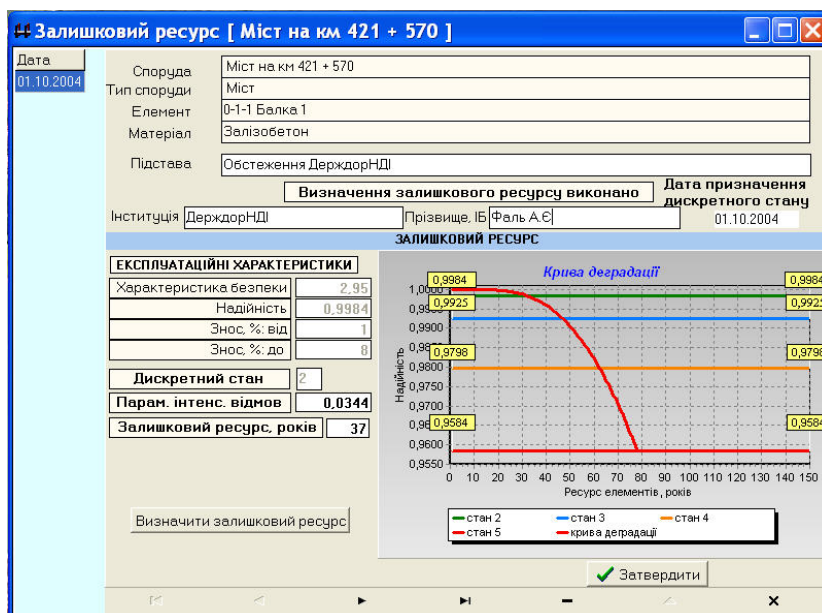


Рис. 2. Обчислення залишкового ресурсу прогнаної будови моста

Формалізована експертна оцінка (рейтинг) споруди

Для ранжирування споруд за потребою ремонтів запропоновано експертну експлуатаційну оцінку експлуатаційного стану. Ця оцінка визначається за шкалою безрозмірних коефіцієнтів в 100 балів і обчислюється за формулою:

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

де D_i – номер експлуатаційного стану конструктивних елементів споруди;

α_i – коефіцієнти впливу стану i -го елемента на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги); $i = 1, 2, \dots, 7$ – елементи споруди згідно [5].

Експертна експлуатаційна оцінка експлуатаційного стану поряд з залишковим ресурсом прогнозованої будови моста є базовими параметрами для генерації рекомендацій з стратегії експлуатації та оптимізації витрат на ремонт і реконструкцію.

Визначення і прогнозування витрат на утримання і ремонт мостів

Для використання в АЕСУМ розроблено спеціальну методику визначення і прогнозування витрат на утримання і ремонт мостів. Метою методики є експертна оцінка витрат на утримання і ремонт мостів. Оцінка виконується відносно експлуатаційного стану елементів моста в цінах, що прогнозуються на певний період в майбутньому.

Методика базується на загальних принципах ціноутворення в будівництві, викладених в нормативному документі ДБН.1.1-1-2000. В основу покладено базисні кошторисні ціни, що розроблено в рамках методики [10]. Прийнята дворівнева система визначення вартості утримання і ремонтів мостів:

- базисної кошторисної вартості робіт з експлуатації;
- розрахункової вартості експлуатаційних робіт, яка містить в собі базисну кошторисну вартість та кошти на компенсацію витрат, що змінюються в залежності від інфляційних процесів та кон'юнктури ринку.

Розроблений на основі цієї методики алгоритм тестовано і підключено до АЕСУМ.

Аналіз можливостей перепуску понаднормативних вантажів

В рамках ПК АЕСУМ розроблено алгоритм перевірки несної здатності прогонових будов по маршруту перевезення понаднормативного вантажу. У випадку проблемних прогонових будов автоматично ведеться пошук об'їздів. Задача оптимізується пошуком мінімуму довжини маршруту.

Оцінка соціальних наслідків закриття мосту на ремонт

Спеціально для АЕСУМ розроблено алгоритм оцінки соціальних наслідків закриття мосту на ремонт. Алгоритм побудовано як проблему оптимізації на таких засадах.

Закриття моста, тобто повне припинення руху призводить до проблеми на шляхах сполучення, яка може розв'язуватися трьома способами:

- спорудженням поруч тимчасового моста, перепускна спроможність якого повністю відповідає спроможності моста, закритого на ремонт;

- об'їздами, тобто спрямуванням транспортних потоків альтернативними шляхами;
- спорудженням тимчасового моста для пропуску лише частини транспорту (наприклад, легковиків), а для решти потоку (вантажівки, надгабаритні або надважкі транспортні засоби) – передбаченням об'їздів.

За вихідною інформацією з інтенсивності руху по мосту (надається користувачем), довжині найближчого об'їзду, технічній характеристиці моста та його залишковому ресурсу, обчислюється в умовних одиницях оцінка кожного з зазначених варіантів розв'язання проблеми. Рекомендованим є варіант, оцінка якого буде близькою до одиниці.

4. Використання АЕСУМ в наукових цілях

Сьогодні ПК АЕСУМ вже є визнаним статистичним інструментом наукового пошуку з технічної політики експлуатації автодорожніх мостів, прогнозу технічного стану, подовження залишкового ресурсу, розробки новітніх моделей прогнозу ресурсу моста [11, 12].

Станом на 1.1.2011 база даних АЕСУМ містить відомості про 16 201 автодорожніх мостів на дорогах державного та місцевого значення. З них 3572 мости мають повну технічну характеристику та дані з експлуатаційного стану і історії утримання. Вибірка повністю описаних мостів на дорогах державного значення складає 69,88%, на дорогах місцевого значення – 11,19%; на всіх дорогах – 22%. Така вибірка в математичній статистиці вважається достатньо достовірною, дозволяє робити широкі узагальнення. Немає сумнівів в тому, що АЕСУМ в найближчі роки буде все ширше використовуватись в наукових цілях [1, 2].

5. Завдання подальшого розвитку

Удосконалення архітектури ПК АЕСУМ

Сьогодні програмний комплекс АЕСУМ функціонує з локальним банком даних на рівні користувачів. Система має всі без виключення функції та можливості експорту локальних даних в центральний банк даних ДерждорНДІ шляхом передачі файлів в узгоджених форматах. Цей варіант ПК розглядався як перехідний в період розробки і наповнення банку даних.

Настав час перейти до архітектури з єдиним банком даних АЕСУМ в Державній службі автомобільних доріг України. В цьому варіанті системи з єдиним централізованим банком даних всі дані про наявність та стан мостів зберігаються на сервері баз даних Укравтодору. Там же знаходиться сервер прикладних програм, які здійснюють обробку даних згідно з функціональним призначенням АЕСУМ. Така архітектура забезпечить централізоване зберігання даних, підвищить їх безпеку і понизить вимоги до технічного і системного забезпечення користувача. Клієнтські програми, орієнтовані на периферійного користувача, матимуть доступ до сервера на базі зв'язку користувача з сервером через Інтернет або Інтранет (корпоративна мережа галузі).

Автоматизація прийняття рішення стосовно технічного стану моста

Вхідна інформація для прийняття рішення про стан споруди характеризується неповнотою, недостатньою достовірністю, а її кількість і характер є настільки великими і різноманітними, що користувач АЕСУМ стає нездатним адекватно її оцінити.

Вхідна інформація стає ще більш розмитою, коли в АЕСУМ ставиться задача прогнозу залишкового ресурсу та ризику, пов'язаного з прийняттям тієї чи іншої стратегії фінансування ремонтів протягом життєвого циклу споруди.

З іншого боку, нормативна модель недостатньо пристосована для автоматизації оцінки технічного стану. Кількість і характер початкової інформації для прийняття рішення про стан споруди є настільки великими і різноманітними, що її алгоритмізація традиційними методами є неефективною.

Другою, не менш важливою, стороною моделі є те, що вона дозволяє зробити оцінку технічного стану гнучкою, ввести в оцінку поняття «наприкінці i -го стану», «на початку i -го стану», що зробить оцінку більш реалістичною, більш точно відобразатиме реальну надійність елементів в процесі експлуатації.

Головною проблемою оцінки і прогнозу технічного стану є невизначеність вихідних даних. Так, в основі нормативної оцінки [5] лежать класифікаційні таблиці визначення дискретного стану елемента споруди. Суть цього першого етапу процедури оцінки полягає в порівнянні дефектів, виявлених у елемента, з еталонними для експлуатаційного стану, $i = 1, 2, \dots, 5$.

Це є задача експертної оцінки в умовах неповноти і недостатньої достовірності даних. Дійсно, класифікаційні таблиці нормативу [5] містять значну кількість показників стану, які мають числове визначення в загальноприйнятих одиницях виміру, як наприклад, міцність бетону, ширина розкриття тріщин, товщина шару корозії і т.п. Визначаються вони із значними стохастичними похибками, рівень яких невизначений. Ще менш достовірною і складною для оцінки є інформація лінгвістичної невизначеності типу «сліди вилугування», «значні відшарування захисного шару бетону». Досить довільними є нормативні значення ймовірності досягнення граничних станів, тобто надійності.

Викладене спонукало нас звернутися до нових нетрадиційних в будівництві галузей знань ідей штучного інтелекту і, зокрема, до апарату нечітких множин та нечіткої логіки. Планується для автоматизації визначення технічного стану моста та прогнозу залишкового ресурсу застосувати моделі, які базуються на ідеях нечітких множин та нечіткої логіки. Запропонована модель автоматизації викладена в роботах [2, 9].

Оптимізація витрат на ремонт і реконструкцію

Проблема оптимального управління ремонтом і реконструкцією мостів завжди була актуальною. Давно відомо, що запізнення з ремонтом або передчасний ремонт ведуть до великих матеріальних втрат. Ще більш важливою повстає проблема в умовах обмежених фінансових ресурсів. Українські науковці останні роки ретельно вивчають цю проблему. Так в роботах [3, 4] запропоновано моделі задачі про оптимальну експлуатацію мостів, які є цілком прийнятними для практичних розрахунків. Ці моделі, які пропонується удосконалити використанням пошуку оптимального рішення на основі генетичних алгоритмів, планується реалізувати в АЕСУМ найближчим часом. Однак сьогодні потрібні подальші дослідження в напрямку розробки імітаційних моделей, алгоритмів та методів оптимізації стратегій експлуатації мостів на мережевому рівні на основі методології оцінки вартості життєвого циклу мостів, підвищення якості даних про стан мостів і застосування відповідних цій якості методів обробки даних.

Потрібно накопичувати інформацію про об'єми фактично виконаних робіт з ремонтів та утримання мостів та їх вплив на стан мостів, яка необхідна для оцінки параметрів сучасних та створених моделей експлуатації мостів. Така інформація – це важливий базис для розробки нових теорій та практичних рекомендацій в області експлуатації мостів.

Оцінка доцільності виконання ремонтів

В останні роки в системі експлуатації мостів, все більш вагомою стає проблема ремонту і реконструкції. Незадовільний технічний стан автодорожніх мостів України, потребує все

більших асигнувань на їх ремонт і реконструкцію. Привертає увагу факт накопичення обсягів ремонтних робіт, які не були виконані в минулі роки. Безперервно збільшується кількість мостів, які потребують капітального ремонту або реконструкції.

Природно виникає науково-технічне завдання оцінки доцільності виконання таких великих обсягів ремонтних робіт. Можливо, що в стратегічному плані є сенс не вкладати ніяких коштів в ремонт деякої частини таких мостів і фінансувати будівництво паралельних нових мостів? Відповідь на це вкрай важливе соціально-економічне запитання має дати спеціальне теоретичне дослідження в поєднанні з апаратом АЕСУМ.

Висновки

1. Технічний стан автодорожніх мостів України на даний момент є незадовільним, що провокує значні соціальні і матеріальні збитки та потребує збільшення асигнувань на їх ремонт і реконструкцію. У 2010 р. кількість мостів, які потребують капітального ремонту або реконструкції, вже майже вдвічі більше – 710 од. (4,4 % від загальної кількості), загальною довжиною 26602 м.
2. Для належного функціонування дорожньої мережі України необхідно мати сучасний інструментарій управління мостами. Таким універсальним інструментарієм Укравтодору є АЕСУМ, яка створена з метою автоматизації процесу управління мостами і передбачає координацію експлуатації, моніторингу і підтримання мостів в безпечному для експлуатації стані. АЕСУМ використовується на всіх рівнях управлінської вертикалі експлуатації мостів Укравтодору.
3. У програмному комплексі АЕСУМ реалізовано ряд експертних функцій: оцінка експлуатаційного стану, прогноз залишкового ресурсу споруди, формалізована експертна оцінка (рейтинг) споруди, визначення і прогнозування витрат на утримання і ремонт мостів, аналіз можливостей перепуску понаднормативних вантажів, оцінка соціальних наслідків закриття мосту на ремонт.
4. База даних АЕСУМ вже є визнаним статистичним інструментом наукового пошуку з технічної політики експлуатації автодорожніх мостів, прогнозу технічного стану, подовження залишкового ресурсу, розробки новітніх моделей прогнозу ресурсу моста. Удосконалення АЕСУМ дозволить робити аналітичні висновки, здійснювати наукові дослідження, виконувати інтелектуальний аналіз даних, виявляти закономірності в експлуатації мостів.
5. Наступним кроком у розвитку ПК АЕСУМ автор вбачає перехід до архітектури з єдиним банком даних АЕСУМ в Державній службі автомобільних доріг України. Планується (за умови належної фінансової підтримки на державному рівні), що інформація зберігатиметься в єдиній базі даних, клієнти АЕСУМ матимуть можливість взаємодіяти з базою даних через Інтернет, використовуючи загальнодоступні програмні засоби (web-браузери), що знизить витрати на експлуатацію та поновлення системи і підвищить її надійність. Така архітектура програмного комплексу дозволить значно розширити коло її користувачів і буде сприяти приверненню до її функціонування та розвитку уваги всіх зацікавлених сторін.

Література

1. Боднар Л.П. Обґрунтування рівнів утримання залізобетонних мостів в управлінні програмами їх експлуатації. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», № 662, Львів: 2010. – С.65-69.

2. Боднар Л.П. Управління утриманням елементів залізобетонних мостів на основі моделей нечіткої логіки. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. Вип. 33, Дніпр.: 2010. – С. 39-43.
3. Дехтяр А.С. Оптимальні терміни й об'єми ремонтів залізобетонних мостів. // Зб. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Вип.3., Львів: Каменярь, 2001. – С. 83-86.
4. Дехтяр А.С. Планування експлуатації залізобетонних мостів. Зб. Наукових праць V Наукового міжнародного симпозіуму «Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій», №5,» Л.: 2002. – С.162-168.
5. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». - Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
6. Коваль П., А. Лантух-Лященко, Сидун С. Внедрение аналитической экспертной системы управления мостами в Украине. Материалы юбилейной научно-технической конференции 80 лет Белорусской дорожной науке 1928-2008. - Минск, 2008. – С. 156-165.
7. Лантух-Лященко А.І. Оцінка надійності споруди за моделлю марковського випадкового процесу з дискретними станами. //Зб. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1999, вип. 57. – С. 183-188.
8. Лантух-Лященко А.І. Оцінка технічного стану транспортних споруд, що знаходяться в експлуатації. Вісник Транспортної Академії України, № 3, Київ 1999. – С. 59-63.
9. Лантух-Лященко А.І. Уточнення оцінки експлуатаційного стану мостів Зб. Дороги і мости. Вип. 9, ДерждорНДІ – К., 2008. – С.12-18.
10. Методика прогнозування витрат на утримання і ремонт мостів. Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор». К.: 2007
11. Янчук Л.Л. Обґрунтування моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів мостового переходу. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», № 664, Львів: 2010 – С. 365-371.
12. Яцко Ф.В. Прогноз довговічності залізобетонних елементів мостів. Статистичний підхід. Вісник Національного університету «Львівська політехніка», № 664, Львів: 2010. – С. 371- 378.