

© Л. П. Боднар, зав. відділу управління станом мостів;
 © П. М. Коваль, канд. техн. наук, провід. наук. співробітник;
 © С. М. Степанов, провід. інженер;
 © Л. Г. Панібратець, наук. співробітник (ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна»)

© Larysa Bodnar, Head of Bridge Management State Department;
 © Petro Koval, PhD, Lead Researcher;
 © Sergii Stepanov, Lead Engineer;
 © Panibratets Ludmyla, Researcher
 (the State Enterprise "M. P. Shulgin State Road Research Institute")

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ СТАН МОСТІВ УКРАЇНИ

OPERATIONAL STATE OF BRIDGES OF UKRAINE

Анотація. Запропоновано процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану елементів та моста загалом, яка має наукову новизну. В програмному комплексі "Аналітична експертна система управління мостами" (АЕСУМ) є функція, яка дозволяє відстежувати зміни експлуатаційного стану мостів як по Україні, так і по кожній області окремо. Приведено алгоритм процедури визначення прогнозованого стану моста з використанням моделі деградації, який описано з використанням діаграми Нассі-Шнейдермана.

Представлено модель деградації моста, яка прийнята в Україні як нормативна та алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ з функцією визначати ймовірнісний прогнозований експлуатаційний стан мостів в автоматичному режимі.

Ключові слова: системи управління мостами, експлуатаційний стан, прогнозований експлуатаційний стан, модель деградації, план обстежень мостів, автодорожній міст.

Аннотация. Предложена процедура определения прогнозируемого эксплуатационного состояния элементов и моста в целом, которая имеет научную новизну. В программном комплексе "Аналитическая экспертная система управления мостами" (АЕСУМ) есть функция, которая позволяет отслеживать изменения эксплуатационного состояния мостов как по Украине, так и по каждой области отдельно. Приведены алгоритм процедуры определения прогнозируемого состояния моста с использованием модели деградации, который описан с использованием диаграммы Насси-Шнейдермана.

Представлена модель деградации моста, которая принята в Украине как нормативная и алгоритм адаптации ее в программный комплекс АЕСУМ с функцией определять вероятностный прогнозируемый эксплуатационный состояние мостов в автоматическом режиме.

Ключевые слова: системы управления мостами, эксплуатационное состояние, прогнозируемое эксплуатационное состояние, модель деградации, план обследования мостов, автодорожный мост.

Abstract. A significant part of Ukrainian bridges on public roads is operated for more than 30 years (94 %). At the same time, the traffic volume and the weight of vehicles has increased significantly. Insufficient level of bridges maintenance funding leads to the deterioration of their technical state. The ways to ensure reliable and safe operation of bridges are considered.

The procedure for determining the predicted operational status of the elements and the bridge in general, which has a scientific novelty, is proposed. In the software complex, Analytical Expert Bridges Management System (AESUM), is a function that allows tracking the changes in the operational status of bridges both in Ukraine and in each region separately. The given algorithm of the procedure for determining the predicted state of the bridge using a degradation model is described using the Nassie-Schneidermann diagram.

The model of the degradation of the bridge performance which is adopted in Ukraine as a normative one, and the algorithm for its adaptation to the AESUM program complex with the function to ensure the probabilistic predicted operating condition of the bridges in the automatic mode is presented. This makes it possible, even in case of unsatisfactory performance of surveys, to have the predicted lifetime of bridges at the required time. For each bridge element it is possible to determine the residual time of operation that will allow predict the state of the elements of the structure for a certain period of time in the future. Significant interest for specialists calls for the approaches to the development of orientated perspective plans for bridge inspection and monitoring of changes in the operational status of bridges for 2009-2018 in Ukraine. For the analysis of the state of the bridge economy, the information is available on the distribution of bridges by operating state related to the administrative significance of roads, by road categories and by materials of the structures.

Determining the operating state of the bridge is an important condition for making the qualified decisions as regards its maintenance. The Analytical Expert Bridges Management System (AESUM) which is implemented in Ukraine, stores the data on the monitoring the status of bridges and performs the necessary procedures to maintain them in a reliable and safe operating condition.

An important result of the work is the ability to determine the distribution of bridges on the public roads of Ukraine, according to operating conditions established in the program complex of AESUM, which is presented in accordance with the data of the current year. In conditions of limited funding and in case of unsatisfactory performance of surveys, it is possible to make the reasonable management decisions regarding the repair and the reconstruction of bridges.

Keywords: bridge management system, operating condition, predicted operating condition, model of degradation, bridge survey plan, highway bridge.

Вступ

Останніми роками на автомобільних дорогах України суттєво зросли інтенсивність руху та вага транспортних засобів. Водночас зростає вік мостів, які в умовах обмеженого фінансування не мають належного утримання та відновлення їх експлуатаційних якостей. Гостро постає проблема забезпечення безаварійної роботи мостів. Тому дуже важливим завданням є отримання достовірної інформації щодо фактичного поточного стану

мостів, виявлення серед них тих, які вимагають проведення невідкладних відновлювальних заходів та виконання цих робіт. Науково обґрунтоване визначення та прогнозування зміни в часі експлуатаційного стану мостів є актуальним.

Згідно з чинними нормами України [1] строк служби мостів має бути 70-100 років залежно від типу конструкції. Середній вік мостів на дорогах загального користування зараз складає 53 роки. Враховуючи низький рівень утримання, це свід-

чить про те, що значна кількість мостів у процесі експлуатації мають дефекти. Мостів, вік яких більше 80 років, близько 12 %, ресурс конструкцій цих споруд близький до вичерпання.

Варто звернути увагу, що 94 % мостів на автомобільних дорогах загального користування збудовано до 1989 року, тобто 30 років тому. Тож значна частина з них, 63,5 %, не відповідає вимогам чинних норм (табл. 1).

У 2004 році Державне підприємство "ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна" [2] разом із Національним транспортним університетом розробив Аналітичну експертну систему управління мостами (далі – АЕСУМ). Цей програмний комплекс є головним інструментом системи експлуатації мостів України на автомобільних дорогах загального користування. В ньому зберігаються інформаційні відомості (база даних) з обстежень стану мостів. Основне завдання програмного комплексу – це підтримка мостів у безпечному для експлуатації стані [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Тому водночас зі створенням бази поточного стану мостів вкрай важливо передбачити прогнозування експлуатаційного стану елементів та моста загалом.

Основним показником для кожного моста є його експлуатаційний стан. Згідно з державним стандартом [9] встановлено 5 експлуатаційних станів мостів залежно від рейтингу та надійності за першою групою граничних станів [9] (табл. 2).

Кількісним показником інтегральної оцінки технічного стану моста загалом є формалізована експертна оцінка – рейтинг, яка дає змогу зарахувати споруду до певного експлуатаційного стану та вжити відповідних заходів [9]. Він визначається за шкалою у 100 балів та є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності за станом всіх його елементів. Обчислюється за формулою (1) [9, п. 7.8].

Кількісним показником інтегральної оцінки технічного стану моста загалом є формалізована експертна оцінка – рейтинг, яка дає змогу зарахувати споруду до певного експлуатаційного стану та вжити відповідних заходів [9]. Він визначається за шкалою у 100 балів та є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності за станом всіх його елементів. Обчислюється за формулою (1) [9, п. 7.8].

Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України, які не відповідають сучасним нормам

Таблиця 1

Показники державного		Значення доріг		Разом
		місцевого		
ВСЬОГО МОСТІВ		5888	10263	16151
Не відповідають нормам	за габаритом	1003	2736	3739
	за вантажопідйомністю	1515	1368	2883
	за габаритом та вантажопідйомністю	1714	1920	3634
	ВСЬОГО	4232	6024	10256

Класифікація експлуатаційного стану споруди та експлуатаційних заходів залежно від рейтингу [9]

Таблиця 2

Експлуатаційний стан	Рейтинг, від-до	Експлуатаційні заходи	Надійність за першою групою граничних станів, $P_{i,v} \leq P < P_{i,n}$
Стан 1 Справний	100-95	Ведуться планові обстеження та догляд	$0,999844 \leq P < 0,998363$
Стан 2 Обмежено справний	94-80	Ведуться планові обстеження, догляд та поточні ремонти без обмеження руху	$0,998363 \leq P < 0,992461$
Стан 3 Працездатний	79-60	Ведуться планові обстеження, скорочуються терміни між періодичними оглядами, виконуються поточні ремонти. За необхідності обмежується швидкість руху	$0,992461 \leq P < 0,979771$
Стан 4 Обмежено працездатний	59-40	Ведуться обстеження за спеціальним графіком, виконується капітальний ремонт. Відповідно до дефектів конструкцій обмежується рух транспортних засобів за вагою, швидкістю та габаритними параметрами. За необхідності розробляються спеціальні заходи із забезпечення безаварійної експлуатації моста	$0,979771 \leq P < 0,958351$
Стан 5 Непрацездатний	≤ 39	Ведеться постійний нагляд та контроль за виконанням обмежень руху з залученням спеціалізованої організації. Терміново вирішується питання про реконструкцію споруди або про її закриття. Вживаються тимчасові заходи до запобігання аварії	$0,958351 \leq P$

Саме рейтинг є визначальним параметром для оцінки мостів за пріоритетом ремонтів. На основі рейтингу мости оцінюються за п'ятьма експлуатаційними станами (табл. 2). Визначений стан споруди дає змогу вжити необхідних заходів.

Елементи моста поєднуються у сім груп: мостове полотно, прогонові будови, опори, фундаменти, регуляційні споруди, підходи до моста, русла. Стан і вага елементів кожної групи різні і це враховано у формулі за допомогою вагових коефіцієнтів α_i :

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

де D_i – номер експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди згідно з методологією [9];

α_i – коефіцієнти впливу стану i -го елемента на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги), $i = 1, 2, \dots, 7$ [9, табл. 7.1].

У табл. 3 надано інформацію щодо експлуатаційного стану мостів на дорогах державного значення, які обстежено й інформацію про які внесено в базу даних АЕСУМ. Викликає занепокоєння кількість мостів, які перебувають у найгірших станах (у 4 та 5).

Для отримання актуальної інформації щодо експлуатаційного стану моста в необхідний проміжок часу поряд зі створенням бази поточного стану мостів необхідно передбачити прогноз експлуатаційного стану елементів моста загалом.

Із цією метою були проаналізовані існуючі системи управління мостами в інших країнах (табл. 4).

Таблиця 3

Розподіл мостів щодо експлуатаційного стану за результатами обстежень

Стан	Кількість мостів, шт.	%
стан 1 (справний)	109	2
стан 2 (обмежено справний)	620	11
стан 3 (працездатний)	3314	59
стан 4 (обмежено працездатний)	1484	26
стан 5 (непрацездатний)	93	2
Разом:	5620	100

Таблиця 4

Стисла характеристика закордонних систем управління мостами [10]

Параметри систем управління мостами	Країни - системи								
	США		Фінляндія - SINA	Канада - OBMS	Великобританія - NATS	Франція - OA-MeGA	Данія - Danbro	Швеція - Safebrow	Німеччина - SIB-Bauerwerke
	Pontis	Bridgit							
Зберігання даних паспорту мостів	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Вихідна інформація про стан споруд:									
- дані обстежень	+	+	-	+	+	-	-	-	+
- дані розрахунків	+	-	+	+	+	+	-	+	+
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	+	-	-	-	-	-	+	-	-

Виконаний аналіз показав, що для прогнозу ймовірностей відмов найчастіше використовують марковську стохастичну теорію [11, 12, 13, 14]. Наприклад, сучасні BMS, зокрема PONTIS.

Враховуючи наведене вище, було визначено, що для прогнозу експлуатаційного стану елементів та моста загалом в програмному комплексі АЕСУМ необхідно удосконалити стратегію ремонтів, яка включала б процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану, базувалася на достовірній методиці визначення експлуатаційного стану та враховувала життєвий цикл моста.

Мета дослідження – розробити процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану елементів та моста загалом.

Основна частина

Для визначення технічного стану мостів, необхідно виконувати обстеження, під час яких виявляються дефекти, фіксуються їх обсяги, оцінюється їх вплив на експлуатаційні якості споруди. За результатами обстежень приймаються рішення про виконання ремонтних робіт.

В Україні станом на початок 2019 року налічується 16 152 моста на дорогах загального користування, з них обстежено близько 35 % (5 620 мостів).

Стосовно необстежених мостів у базі даних АЕСУМ внесено обмежену інформацію, таку як: кілометр розташування, рік побудови, довжина, ширина, схема моста. Детальна інформація про основні елементи та дефекти відсутня, відповідно не визначено експлуатаційний стан моста.

Ретроспективний аналіз проведення обстежень мостів (рис. 1) та аналіз плану обстежень, який згенеровано в АЕСУМ на основі термінів із нормативів (табл. 5), показали, що кількість фактичних обстежень значно менша кількості обстежень, передбачених нормами [15].

Необхідно зауважити, що в перспективному плані обстежень (рис. 2), прийнято дообстежити ті мости, які не було обстежено вчасно, саме тому

в перший рік програми передбачається найбільша кількість мостів (15 432). Окрім довгострокового плану обстежень на 10 років, щорічно генерується план обстежень мостів для кожної області України з урахуванням пріоритетності (важливості) кожного моста [16], а вже Служби автомобільних доріг області та Обласні державні адміністрації на місцях формують остаточне замовлення спеціалізованим організаціям, виходячи з фінансових ресурсів.

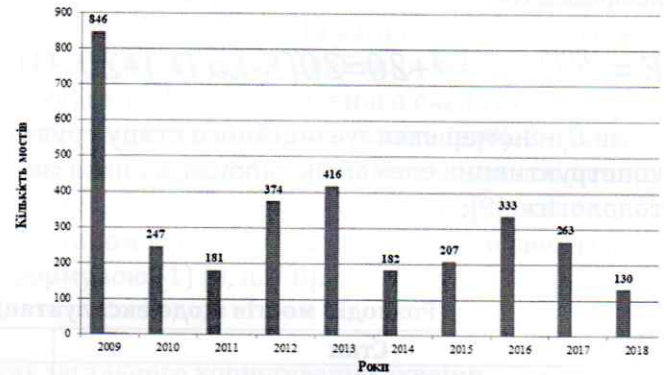


Рис. 1. Ретроспективний аналіз фактичних обстежень мостів

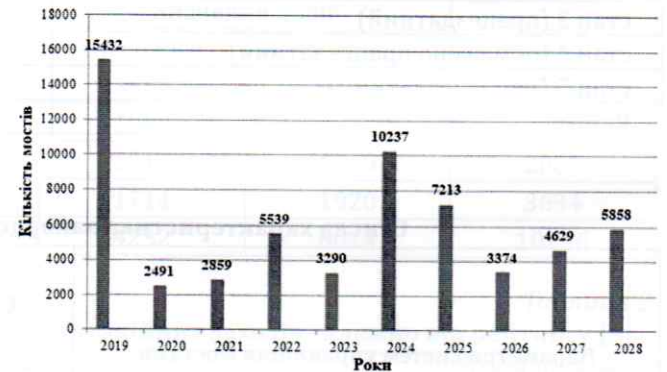


Рис. 2. Орієнтовний перспективний план обстежень мостів

Програмний комплекс АЕСУМ перебуває у стані постійного розвитку та вдосконалення. На сьогодні функціонал програми співрозмірний з основними закордонними аналогами. База даних АЕСУМ містить близько 150 технічних параметрів стосовно кожного моста, в ній також зберігається детальна інформація про окремі елементи мостів, таких як прогони будови, опори, фундаменти.

Таблиця 5

Періодичність обстеження мостів згідно з нормативами

Міст	Вік моста, роки				
	1-20	21-40	41-60	61-80	80, більше
Періодичність обстеження, в роках					
Металевий, сталезалізобетонний	5	4	3	2	1
Залізобетонний	7	6	5	3	1

Паспорт кожного моста містить фотографії загального його вигляду, проїзної частини, основних елементів і дефектів. У паспорті наводяться креслення (або схеми) загального вигляду і поперечних розрізів споруди з основними розмірами [7].

Із результатів обстежень у відомість дефектів вносяться дефекти стосовно кожної групи елементів з детальним описом, обсягом розповсюдження та фотографіями. В результаті внесеної інформації робиться оцінка впливу дефектів на стан елемента та визначається експлуатаційний стан стосовно кожної групи елементів на основі найгіршого стану елемента цієї групи.

Для визначення стану за елементами передбачена можливість втручання експерта, який може скоригувати оцінку експлуатаційного стану на основі додаткових обчислень вантажопідйомності, на основі розрахунків характеристики безпеки та власного досвіду [8]. Після чого в автоматичному режимі розраховується експлуатаційний стан споруди загалом.

Аналіз результатів обстежень за станами (за матеріалом, адміністративним значенням доріг,

категоріями доріг) виконується як по всій Україні, так і по кожній області окремо.

Для відстеження зміни експлуатаційного стану мостів за певний період в АЕСУМ автоматизована спеціальна відомість (табл. 6), яка дає змогу оцінити зміни за кожним експлуатаційним станом по області або по всій Україні.

Для більш детального аналізу розподілу мостів за станами автоматизовано спеціальні відомості (табл. 7, 8, 9) які дають змогу аналізувати стан мостів з урахуванням таких параметрів, як адміністративне значення дороги, матеріал моста, категорія дороги тощо.

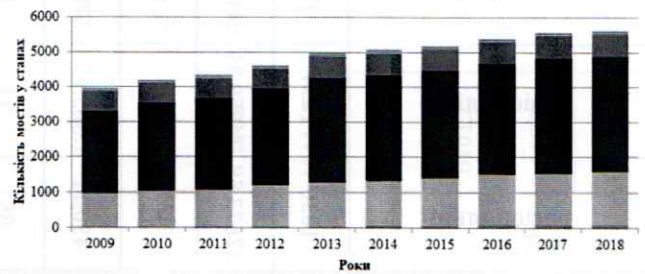


Рис. 3. Зміна експлуатаційних станів мостів за 2009–2018 роки по всій Україні

Таблиця 6

Відстеження зміни експлуатаційного стану мостів за 2009–2018 роки по всій Україні

Стан	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
1	86	7120,91	87	7184,31	89	7307,28	89	6999,48	108	8057,07	110	8181,11	108	8043,51	109	8189,73	107	8117,58	113	8051,59
2	560	27626,76	571	27910,46	573	27979,68	582	28668,68	614	28932,38	614	28570,85	607	28087,47	606	28472,77	623	29616,48	624	29381,38
3	2362	78906,56	2507	82169,79	2610	84476,03	2762	90253,88	2983	98936,26	3028	100540,28	3083	102143,03	3194	105200,22	3304	108582,44	3309	107955,86
4	934	24562,20	1013	25950,63	1035	26606,40	1145	29957,82	1233	32523,67	1266	33032,19	1325	34970,38	1414	37478,60	1454	39029,34	1487	40306,58
5	25	1039,35	28	1161,25	35	1344,85	48	2218,38	52	2462,10	63	3497,92	76	3954,73	83	4518,89	86	4505,91	96	5529,82
не визн.	12169	242916,36	11949	238781,62	11864	238007,70	11562	226953,09	11194	214192,17	11102	211235,90	10982	207821,53	10784	201560,46	10624	196007,67	10574	195183,18
разом	16136	382172,14	16155	383158,06	16206	385721,94	16188	385051,33	16184	385103,65	16183	385058,25	16181	385020,65	16190	385420,67	16198	385859,42	16203	386408,41

Таблиця 7

Розподіл мостів і шляхопроводів за експлуатаційним станом та адміністративним значенням на дорогах загального користування по всій Україні (2019 р.)

Адміністративне значення дорог	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
		шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	
ДЕРЖАВНОГО ЗНАЧЕННЯ	5838	191584,31	98	7279,07	470	24952,45	2392	84052,37	1002	30314,11	90	5353,82	1786	39632,49
у тому числі:														
міжнародні	1290	64137,52	74	5789,90	195	10415,78	528	27835,59	192	8389,87	18	1236,49	283	10469,89
національні	1054	34859,84	9	503,95	91	4427,25	606	18493,10	209	7026,68	19	1437,36	120	2971,50
регіональні	1030	32673,58	6	450,11	85	4947,48	538	18169,45	200	5416,11	22	1077,63	179	2612,80
територіальні	2464	59913,37	9	535,11	99	5161,94	720	19554,23	401	9481,45	31	1602,34	1204	23578,30
МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ	10314	192998,48	10	451,31	145	4026,94	874	22249,81	484	10100,87	20	747,45	8781	155422,10
у тому числі:														
обласні	4760	93513,45	8	374,44	111	3358,41	608	16397,09	348	7144,43	13	465,55	3672	65773,53
районні	5554	99485,03	2	76,87	34	668,53	266	5852,72	136	2956,44	7	281,90	5109	89648,57
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

Таблиця 8

Розподіл мостів та шляхопроводів на дорогах загального користування по всій Україні за експлуатаційним станом по категоріях доріг (2019 р.)

Категорія дороги	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
		шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	шт.	п.м.	
Ia категорія	98	8316,12	3	154,36	23	1311,43	65	6337,78	6	445,55			1	67,00
Iб категорія	265	15692,78	24	1913,47	64	3379,68	124	7339,50	16	1288,25	1	118,10	36	1653,78

II категорія	1722	69087,28	44	3267,71	179	9368,65	758	30669,99	348	11469,73	30	1834,13	363	12477,07
III категорія	2852	81811,69	22	1530,62	169	9744,23	1132	33329,24	490	14055,08	47	3207,05	992	19945,47
IV категорія	9490	185093,39	13	737,12	170	4961,40	1148	27700,81	595	12321,96	29	873,79	7535	138498,31
V категорія	1725	24581,53	2	127,10	10	214,00	39	924,86	31	834,41	3	68,20	1640	22412,96
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

Таблиця 9

Розподіл мостів та шляхопроводів за експлуатаційним станом за матеріалом на дорогах загального користування по Україні (2019 р.)

Тип споруди (матеріал)	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
		шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	
залізобетон	15174	350448,23	102	7348,63	591	27711,91	3085	96438,34	1309	33389,21	84	3808,18	10003	181751,96
сталезалізобетон	307	12198,77	3	271,64	12	728,37	89	3944,57	110	4061,92	17	1083,36	76	2108,91
метал	347	18153,18	3	110,11	7	493,96	39	5053,31	24	2519,57	5	1108,33	269	8867,90
кам'яна кладка	270	3105,91			5	45,15	51	764,86	43	444,28	1	12,00	170	1839,62
деревина	54	676,70					2	101,10			3	89,40	49	486,20
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

У зв'язку з наведеним збільшується потреба у використанні моделі деградації з метою прогнозу зміни стану мостів із часом.

Адаптація моделі деградації в програмний комплекс АЕСУМ здійснена за допомогою про-

грамних засобів, написаних на мові програмування ObjectPascal. Алгоритм процедури визначення прогнозованого стану елемента моста для зручності було описано (табл.10) з використанням діаграми Нассі-Шнейдермана [17].

Діаграма процедури визначення прогнозованого стану елементу моста

Крок	Оператори алгоритму										
1	Задати верхні та нижні значення надійності за експлуатаційними станами: $P[1] = 0.999844$; $P[2] = 0.998363$; $P[3] = 0.992461$; $P[4] = 0.979771$; $P[5] = 0.958351$ $P_{low}[1] = 0.998364$; $P_{low}[2] = 0.992462$; $P_{low}[3] = 0.979772$; $P_{low}[4] = 0.958352$; $P_{low}[5] = 0.950000$										
2	Задати верхні та нижні значення рейтингу за експлуатаційними станами: $E[1] = 100$; $E[2] = 94$; $E[3] = 79$; $E[4] = 59$; $E[5] = 39$ $E_{low}[1] = 95$; $E_{low}[2] = 80$; $E_{low}[3] = 60$; $E_{low}[4] = 40$; $E_{low}[5] = 0$										
3	Знайти запис останнього експертного визначення стану моста за матеріалами проведених обстежень										
4	Визначити рік останнього обстеження моста T_o										
5	Визначити рік будівництва (реконструкції) моста T_b для розрахунку віку на час обстеження та період визначення прогнозованого стану <div style="text-align: center;">була реконструкція?</div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">так</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">ні</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$T_b = \text{рік реконструкції}$</td> <td style="text-align: center;">$T_b = \text{рік будівництва}$</td> </tr> </table>	так	ні	$T_b = \text{рік реконструкції}$	$T_b = \text{рік будівництва}$						
так	ні										
$T_b = \text{рік реконструкції}$	$T_b = \text{рік будівництва}$										
6	Визначити розрахунковий вік моста на час обстеження: $t_o = T_o - T_b$										
7	Вибрати дані з рейтингу моста R_o – розрахований та затверджений експертами за даними останнього обстеження.										
8	За рейтингом моста на момент обстеження розрахувати надійність елемента P_o <div style="text-align: center;">Визначити стан моста st_o на час обстеження.</div> <div style="text-align: center;">якщо рейтинг R_o</div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">≥ 95</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">≥ 80</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">≥ 60</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">≥ 40</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Інакше</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$st_o = 1$</td> <td style="text-align: center;">$st_o = 2$</td> <td style="text-align: center;">$st_o = 3$</td> <td style="text-align: center;">$st_o = 4$</td> <td style="text-align: center;">$st_o = 5$</td> </tr> </table> <div style="text-align: center;">Розраховувати надійність за формулою:</div> $P_o = \frac{P(st_o) - P_{low}(st_o)}{E(st_o) - E_{low}(st_o)} \cdot [E_o - E_{low}(st_o)] + P_{low}(st_o)$	≥ 95	≥ 80	≥ 60	≥ 40	Інакше	$st_o = 1$	$st_o = 2$	$st_o = 3$	$st_o = 4$	$st_o = 5$
≥ 95	≥ 80	≥ 60	≥ 40	Інакше							
$st_o = 1$	$st_o = 2$	$st_o = 3$	$st_o = 4$	$st_o = 5$							
9	Визначити інтенсивність відмов λ <div style="text-align: center;">$t_o \geq 10$</div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">так</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">ні</td> </tr> </table> <div style="text-align: center;">Задати робочу змінну X ($X = \lambda \cdot t_o$) Задати значення $X = 0.0$</div> <div style="text-align: center;">$X = X + 0.0001$</div> <div style="text-align: center;">Розрахувати розрахункову надійність $P_{calc} = 0.008333 \cdot X^5 \cdot e^{-X}$</div> <div style="text-align: center;">Повторити поки $P_{calc} > P_o$</div> <div style="text-align: center;">$\lambda = X / t_o$</div> <div style="text-align: center;">Для нових мостів задати термін служби 100 років $\lambda = 0.022$</div>	так	ні								
так	ні										
10	Задати рік прогнозування стану моста T_n										
11	Розрахувати вік моста на рік прогнозування: $t_n = T_n - T_b$										
12	Розрахувати прогнозовану надійність: $P_n = 0.008333 \cdot (t_n)^5 \cdot e^{-\lambda t_n}$										
13	За надійністю визначити прогнозований стан елемента моста st_n <div style="text-align: center;">якщо надійність P_n</div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%; text-align: center;">$> P[2]$</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">$> P[3]$</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">$> P[4]$</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">$> P[5]$</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Інакше</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">$st_n = 1$</td> <td style="text-align: center;">$st_n = 1$</td> <td style="text-align: center;">$st_n = 1$</td> <td style="text-align: center;">$st_n = 1$</td> <td style="text-align: center;">$st_n = 1$</td> </tr> </table>	$> P[2]$	$> P[3]$	$> P[4]$	$> P[5]$	Інакше	$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$
$> P[2]$	$> P[3]$	$> P[4]$	$> P[5]$	Інакше							
$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$	$st_n = 1$							
14	Розраховувати прогнозований рейтинг елемента моста за формулою: $E_n = \frac{E(st_n) - E_{low}(st_n)}{P(st_n) - P_{low}(st_n)} \cdot [P_n - P_{low}(st_n)] + E_{low}(st_n)$										

Обстеження – важлива складова системи експлуатації автодорожніх мостів.

Відомо, що витрати на обстеження окупаються за рахунок оптимізації витрат на проведення експлуатаційних заходів та вчасного їх виконання.

Однак, під час проведеного аналізу з'ясовано, що в Україні не витримується періодичність обстежень мостів, передбачена нормами, через недостатнє фінансування на цей вид робіт.

Для того, щоб не допустити аварійних ситуацій на мостах, а також для того, щоб приймати ефективні управлінські рішення щодо стратегій експлуатації мостів на мережі автомобільних доріг, необхідно мати дієві, максимально наближені до достовірних, моделі прогнозу поточного стану мостів.

Представлено модель деградації моста, яка прийнята в Україні як нормативна та алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ з функцією визначати ймовірнісний прогнозований експлуатаційний стан мостів в автоматичному режимі. Це дає змогу навіть за умови невчасного виконання обстежень мати прогнозований стан мостів у необхідний момент часу.

Для кожного елемента моста є можливість визначати залишковий ресурс з побудовою кривої деградації, що дає змогу спрогнозувати стан елементів споруди на певний період часу в майбутньому (рис. 4).

На цьому прикладі для елемента “прогін 7-8” наведено оцінку його експлуатаційного стану (стан 4) при цьому експлуатаційний стан моста загалом – 3. Залишковий ресурс цієї прогонової будови на момент обстеження – 4 роки, станом на 2018 рік – 1 рік. Розрахований загальний ресурс прогонової будови складає 46 років. Згідно з розрахунком дійсний стан прогонової будови відповідає 5 стану.

Це дало змогу отримати розподіл експлуатаційного стану за ймовірнісними оцінками. На рис. 5 наведено розподіл за експлуатаційними станами на момент обстеження мостів. Обстеження деяких мостів могли бути проведені навіть більше 10 років тому. На рис. 6 представлено розподіл за експлуатаційним станом за ймовірнісними оцінками приведений до поточного 2019 року. Як видно, зміни відбулися суттєві, загрозливим є кількість мостів у 5 непрацездатному експлуатаційному стані. Отримані дані дають змогу обґрунтовано розробляти плани ремонтів та реконструкції мостів.

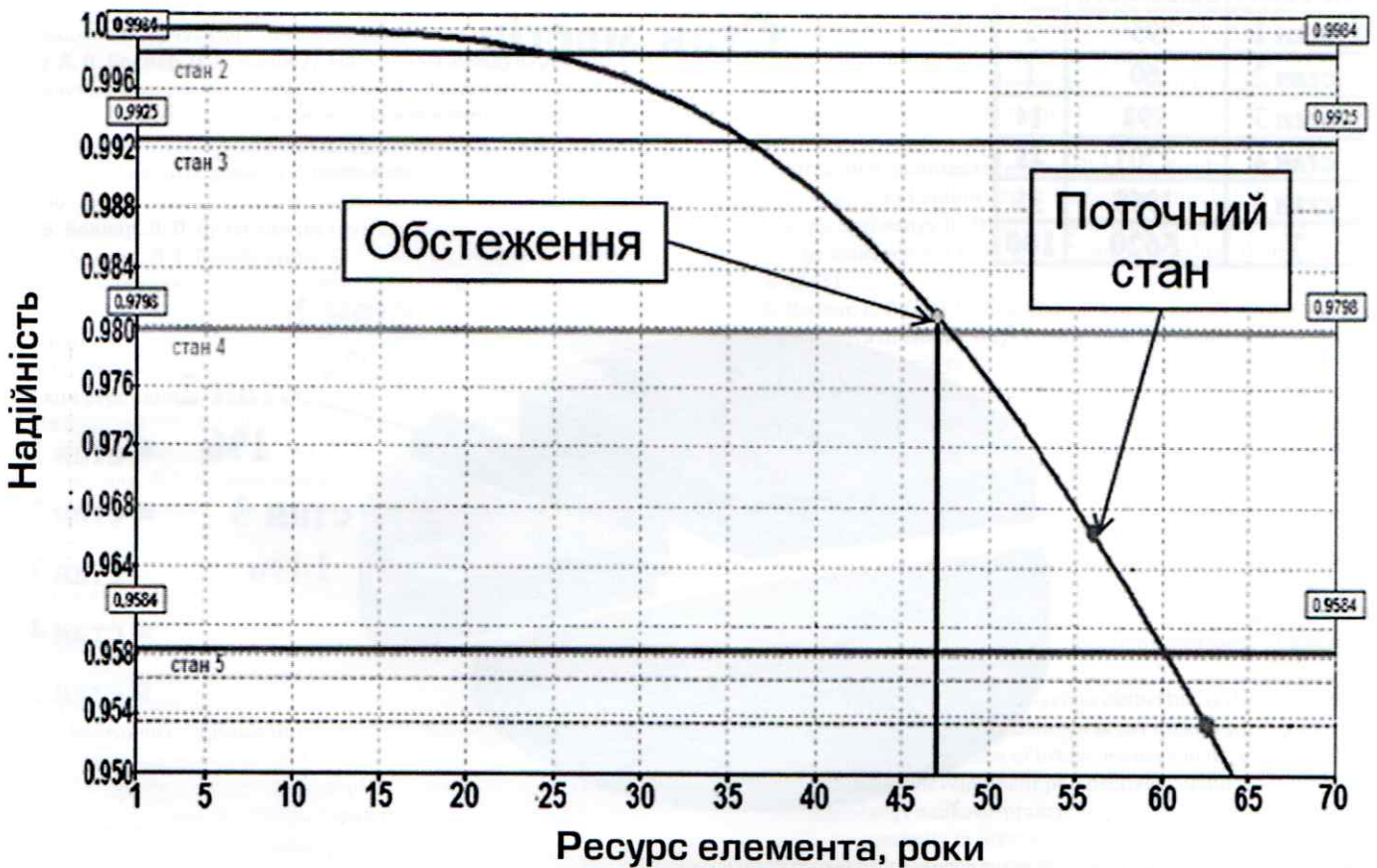


Рис. 4. Крива деградації елемента моста

№ стану	Кількість	%
стан 1	109	2
стан 2	620	11
стан 3	3311	59
стан 4	1484	26
стан 5	96	2
Σ	5620	100

Стан мостів

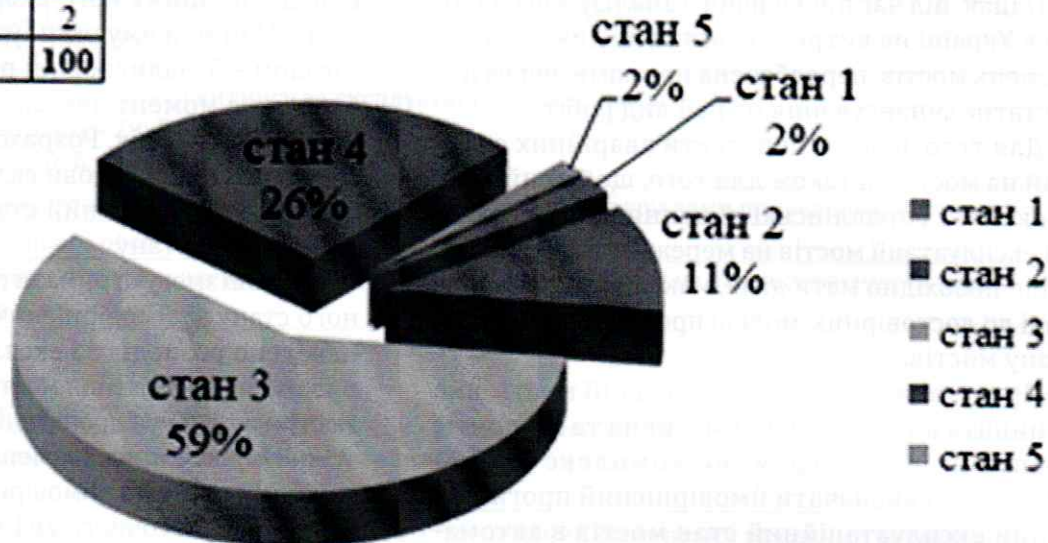


Рис. 5. Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України за експлуатаційними станами на момент обстеження мостів

№ стану	Кількість	%
стан 1	95	2
стан 2	60	1
стан 3	794	14
стан 4	2703	48
стан 5	1968	35
Σ	5620	100

Стан мостів

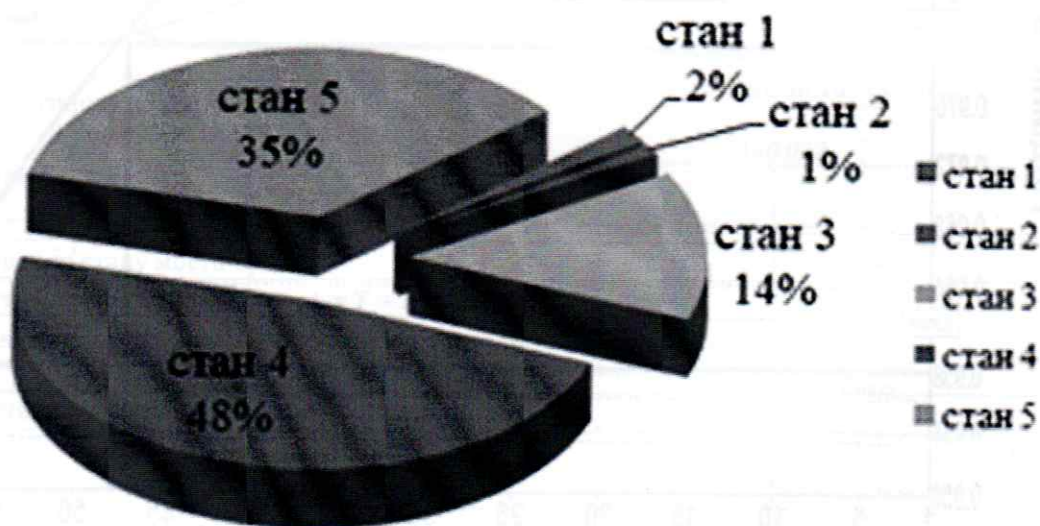


Рис. 6. Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України за ймовірнісними оцінками приведений до поточного 2019 року

Висновки

Визначення експлуатаційного стану моста є важливою умовою для прийняття кваліфікованих рішень під час його утримання. Впроваджена в Україні Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) зберігає дані моніторингу стану мостів, в ній виконуються необхідні процедури для підтримки їх в надійному і безпечному експлуатаційному стані.

Прийнята в Україні нормативна модель деградації мостів та розроблений алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ дають змогу визначити прогнозований експлуатаційний стан мостів. В умовах обмеженого фінансування і невчасного виконання обстежень у необхідний момент часу є змога отримати прогнозований експлуатаційний стан моста.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мости і труби. Основні вимоги проектування : ДБН В.1.3-22-2009. – [Чинний з 2009-11-11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. Аналітично-експертна система України. – Електронний ресурс. – Режим доступу: <http://dorndi.org.ua/ua/analitichno-ekspertna-sistema-upravlinnya-mostami>
3. Боднар, Л. П. Аналітично-експертна система управління мостами. Досвід впровадження / Л. П. Боднар, А. І. Лантух-Лященко, О. П. Канін, П. М. Коваль, А. Є. Фаль // Дорожня галузь України. – №7. – 2011. – С. 42–47.
4. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Досвід впровадження, сучасний стан та напрями подальшого розвитку / Л. П. Боднар, О. П. Канін // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю студентів і молодих учених «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов». – Х.: ХНАДУ, 2012. – С. 30–35.
5. Боднар, Л. П. Сучасний інструмент управління мостами / Л. П. Боднар, Л. Г. Панібратець, С. С. Завгородній, О. П. Чурсін // Дорожня галузь України. – №4. – 2016. – С. 46–51.
6. Боднар, Л. П. Аналитическая экспертная система управления мостами. Опыт внедрения. Современное положение. Перспективы развития / Л. П. Боднар // Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы» ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК. – Вильнюс: Техника, 2013. – с. 263–268.
7. Боднар, Л. П. Задача обоснования стратегий эксплуатации мостов на автомобильных дорогах / Л. П. Боднар, А. П. Канін // Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги: безопасность и надежность»: Сборник докладов. – Минск, 2016. – С.179–183.
8. Боднар, Л. П. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження та перспективи розвитку : Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми ремонтів та утримання мостів». – Ужгород, 2018.
9. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів : ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. – [Чинний з 2013-12-01]. – К.: ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна», 2009.
10. Шестериков, В. И. и др. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России: Обзор. информ. / В. И. Шестериков, Л. И. Горобец, И. К. Матвеев / ФГУПИнформавтодор. – № 2. – М., 2007. – 96 с. –

- Режим доступу: <http://internet-law.ru/stroyka/text/56251/>
11. Sarja, Asko & Vesikari, Erkki (Editors). Durability design of concrete structures. RILEM Report of TC 130-CSL. RILEM Report Series 14. E&FN Spon, Chapman & Hall. – 1996. 165 p.
 12. Shneiderman, Ben. A short history of structured flowcharts (Nassi-Shneiderman Diagrams) // Draft. – 2003.
 13. Thompson, P., Small, E. P., Johnson, M., Marshall, A. R. The Pontis Bridge Management System // Structural engineering international. – № 4. – Vol. 8. – 1998. – P. 303–308.
 14. Yanev, B. The Management of Bridges in New York City. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v1_C05.pdf
 15. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування : ДБН В.2.3-6:2009. – [Чинний з 2009-11-11]. – К.: ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна», 2009.
 16. Боднар, Л. П. Критерії формування планів обстежень мостів / Л. П. Боднар, П. М. Коваль, С. М. Степанов // Автошляховик України. – № 2 (254), 2018. – С. 34–42.

REFERENCES

1. Minrehionbud Ukrainy. (2009). Mosty i truby. Osnovni vymohy proektuvannya: DBN V.1.3-22-2009. [Bridges and pipes. Main design requirements: DBN V.1.3-22-2009]. Kyiv, National Standart of Ukraine.
2. SE "M. P. Shulgin State Road Research Institute". (2019). Analitichno-ekspertna sistema Ukrainy. [Analytical and expert system of Ukraine]. Retrieved from <http://dorndi.org.ua/ua/analitichno-ekspertna-sistema-upravlinnya-mostami>.
3. Bodnar, L. P., Lantukh-Lyashchenko, A. I., Kanin, O. P., Koval', P. M. & Fal', A. Ye. (2011). Analitichno-ekspertna sistema upravlinnya mostamy. Dosvid vprovadzhenya. [Analytical and expert system of bridge management. Experience of introduction]. Dorozhnya haluz' Ukrainy, 7, 42–47.
4. Bodnar, L. P., Kanin, O. P. Programniy kompleks AYESUM. Dosvid vprovadzhenya, suchasniy stan ta napryami podal'shogo rozvitku. (2012). [Program complex AESUM. The experience of implementation, the current state and directions of further development.]. Kharkiv, Proceedings of the international scientific-practical conference with the participation of students and young scientists «Modern computer-innovative technology design, construction, maintenance of roads and airfields», 30-35.
5. Bodnar, L. P., Panibratets', L. H., Zavorodniy, S. S. & Chursin, O. P. (2016). Suchasnyy instrument upravlinnya mostamy. [The modern bridge management tool]. Kyiv, Dorozhnya haluz' Ukrainy Journal, 4, 46–51.
6. Bodnar, L. P. (2013). Analiticheskaya ekspertnaya sistema upravleniya mostami. Opyt vnedreniya. Sovremennoye polozheniye. Perspektivy razvitiya. [Analytical expert control system for bridges. Experience of implementation. The current situation. Prospects of development]. Vilnius: Engineering, Sbornik statey 16-y konferentsii molodykh uchenikh «Nauka – budushcheye Litvy» INZHENERIYA TRANSPORTA I ORGANIZATSIYA PEREVOZOK. Vil'nyus: Tekhnika, 263–268.
7. Bodnar, L. P., Kanin, A. P. (2016). Zadacha obosnovaniya strategiy ekspluatatsii mostov na avtomobil'nykh dorogakh. [The task of substantiating strategies for the operation of bridges on highways «]. Minsk, Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Avtomobil'nyye dorogi: bezopasnost' i nadezhnost'»: Sbornik dokladov, 179–183.
8. Bodnar, L. P. (2018). Analitichna ekspertna sistema upravlinnya mostamy. Dosvid vprovadzhenya ta perspektyvy rozvitku. [Analytical expert system of bridge management. Implementation experience and development perspectives]. Uzhhorod, Zbirnyk tez Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Aktual'ni problemy remontiv ta utrymannya mostiv».
9. SE "M. P. Shulgin State Road Research Institute". (2013). Nastanova z otsinyuvannya i prohnouzuvannya tekhnichnoho stanu