УДК 69.05 DOI: 10.31650/2415-377X-2020-80-140-149

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОСТОВ

[1]**Менейлюк А.И.,** д.т.н., профессор,
meneilyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1007-309X
[1]**Путилин С.В.,** аспирант,
putilinstanislavsv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7104-2599
[1]*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*
ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65029, Украина

Аннотация. Статья посвящена разработке методики оптимизации организационно-технологических решений восстановления железобетонных мостов и путепроводов с использованием математического моделирования. В статье сформулирована рабочая гипотеза оптимизации. Разработана общая методика исследования. Определены основные конструктивные элементы и методы их усиления. Приведен алгоритм их сравнения с помощью многокритериального анализа. Проанализированы показатели эффективности организационно-технологических решений, определены наиболее значимые из них. Проанализированы факторы, влияющие на эти показатели, определены уровни их варьирования для проведения эксперимента. Выбран план эксперимента с указанием значений факторов в кодированном и натуральном виде. Разработанная методика позволяет выбрать эффективные организационно-технологические решения в результате математического моделирования производственных процессов восстановления мостов и путепроводов.

Ключевые слова: мост, путепровод, организационно-технологические решения, математическое моделирование, планирование эксперимента.

Введение. В Украине в настоящее время из обследованных мостов 27% требуют немедленного восстановления, а 63% не удовлетворяют требованиям действующих нормативных документов. При этом более половины существующих мостов и путепроводов не обследованы в нормативные сроки, и сведения об их техническом состоянии устарели или отсутствуют. При этом в нормативных документах отсутствуют рекомендации по выбору эффективных способов восстановления мостов, что определяет необходимость разработать методику оптимизации восстановления мостов. Данная методика необходима для выбора эффективных организационно-технологических решений.

Анализ последних исследований. В статье [1] выполнен анализ и составлена классификация дефектов и повреждений, которые наиболее часто обнаруживаются при обследовании железобетонных мостов и путепроводов. Рассмотрены основные конструктивно-технологические решения восстановления конструктивных элементов рассматриваемых сооружений. Выполнен анализ основных конструктивно-технологических решений, определены их положительные и отрицательные свойства. Поэтому дальнейшим шагом является разработка методики исследования для решения задачи по оптимизации организационно-технологических решений восстановления мостов и путепроводов. В изученной литературе [2, 3, 4 и др.] отсутствуют рекомендации по выбору эффективных организационно-технологических решений реконструкции мостов и путепроводов. Разработанная методика позволяет выбрать эффективные организационно-технологические решения – это даст возможность экономии материальных и трудовых ресурсов.

Целью работы является разработка методики оптимизации организационно-технологических решений восстановления железобетонных мостов и путепроводов с использованием математического моделирования. Для достижения цели решены следующее задачи:

1. Сформулирована рабочая гипотеза.

2. Разработан алгоритм проведения исследования в виде блок-схемы.

3. Разработана методика выбора наиболее эффективных конструктивно-технологических решений восстановления основных элементов мостов и путепроводов.

4. Выбраны наиболее значимые показатели эффективности организационно-технологических решений, факторы, влияющие на них и уровни их изменения.

5. Подобран план эксперимента и статистические методы обработки результатов.

Методика исследования. В работе использованы методы системно-структурного анализа и синтеза, обобщения и классификации, абстрагирования и формализации, комбинаторно-морфологического анализа и синтеза.

Результаты исследования. *Рабочая гипотеза* заключается в том, что решение задачи оптимизации организационно-технологических решений восстановления поврежденных железобетонных мостов и путепроводов возможно путем математического моделирования процессов восстановления, построения и обработки экспериментально-статистических закономерностей, а также последующего выбора наиболее эффективных решений с учетом имеющихся ограничений.

Методика научных исследований представляет собой совокупность эмпирических и теоретических методов проведения исследований. Сочетание методов позволяет проводить научные исследования с наибольшей достоверностью.

Результаты разработки общей методики исследования показаны в виде блок-схемы на рис. 1.

Для сравнения различных технологий восстановления поврежденных мостов и путепроводов необходим многокритериальный анализ. На основании данного анализа выбираются технологии, которые будут использованы в эксперименте.

Применение методики многокритериального анализа встречается в работах [5, 6]. Для решения поставленной задачи подходит программа Excel, так как данная программа позволяет обрабатывать большое количество информации с помощью таблиц и визуализировать полученные результаты в виде графиков и диаграмм для дальнейшего анализа.

В данном исследовании методика многокритериального анализа использована для выбора наиболее эффективных конструктивно-технологических решений восстановления основных элементов рассматриваемых сооружений. Они будут использованы для дальнейших исследований по оптимизации организационно-технологических решений. Применительно к основной задаче исследований методика такого анализа состоит из следующих этапов:

1. Выбор конструктивных элементов, которые необходимо восстановить.
2. Выбор конструктивно-технологических решений для восстановления конструктивных элементов, которые необходимо сравнить.
3. Выбор показателей эффективности (количественных и качественных) для сравнения конструктивно-технологических решений.
4. Определение значений количественных показателей.
5. Приведение значений показателей к единой бальной шкале.
6. Присвоение весовых коэффициентов показателям.
7. Анализ конструктивно-технологических решений восстановления по выбранным показателям.
8. Выбор наиболее эффективного конструктивно-технологического решения.

Конструктивные элементы, для которых необходимо провести многокритериальный анализ решений восстановления, следующие:

1. Мостовое полотно (дорожное покрытие, гидроизоляция, элементы водоотвода, деформационные швы, перильное и барьерное ограждения).
2. Пролетное строение.
3. Опоры и опорные части.
4. Фундаменты.
5. Подходы.

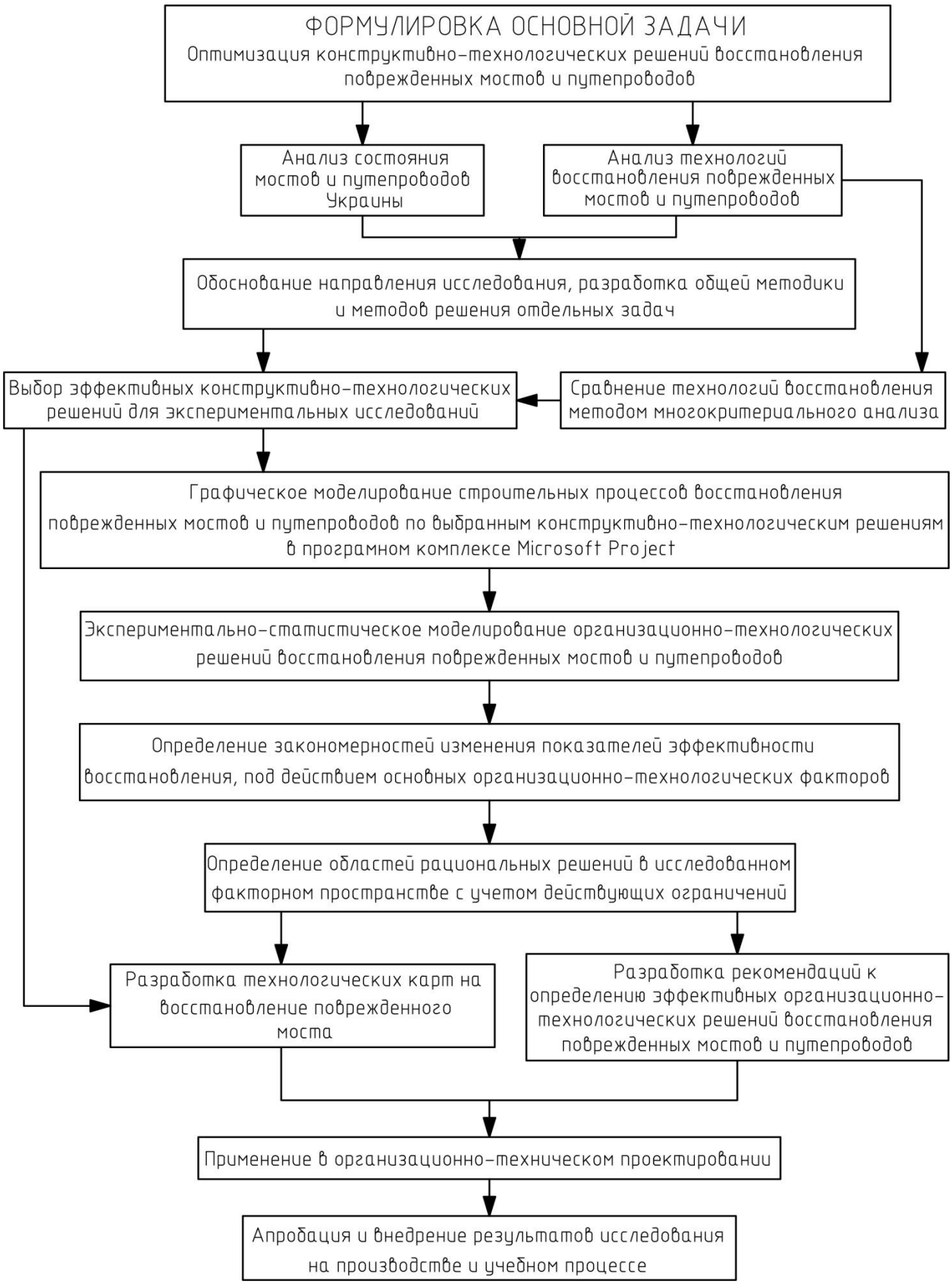

Рис. 1. Разработка общей методики исследований

Особенностью многокритериального анализа в данном исследовании, является то, что различные конструктивные элементы мостов имеют различные технологии их восстановления. Поэтому для каждого типа элементов необходимо выбрать различные показатели для сравнения.

В ходе анализа были определены, такие возможные для исследования показатели эффективности:

– продолжительность восстановления моста;
– продолжительность использования механического оборудования при проведении работ;
– продолжительность работ, выполняемых вручную;
– стоимость восстановления м^2 моста;
– общая трудоемкость восстановления моста;
– трудозатраты на 1 м^2;
– долговечность готовой продукции;
– пропускная способность сооружения;
– грузоподъемность восстановленного моста или путепровода.

Анализируя основные показатели эффективности восстановления мостов и путепроводов можно сделать выводы, что наиболее значимыми являются:

– продолжительность восстановления моста;
– стоимость восстановления м^2 моста.

В ходе анализа определены следующие факторы, влияющие на выбранные показатели эффективности:

– количество рабочих дней в неделю;
– количество смен в сутки;
– количество рабочих часов в смене;
– совмещенность работ;
– количество рабочих, задействованных при восстановлении;
– количество задействованной техники;
– количество рабочих бригад;
– габарит моста;
– эксплуатационное состояние моста.

Интенсивность использования рабочего времени [6] определяется по формуле (1):

$$K = \frac{T_{ф}}{T_{м.в.ф.}} = \frac{n_{сут} \cdot t_{см} \cdot R_{нед}}{n_{max} \cdot t_{см} \cdot R_{max}}, \quad (1)$$

где $T_{ф}$ – фактически отработанные часы в неделю при принятом режиме работы, ч;

$n_{сут}$ – принятое количество рабочих смен в день,

$t_{см}$ – принятое количество рабочих часов в смене,

$R_{нед}$ – принятое количество рабочих дней в неделю;

$T_{м.в.ф.}$ – максимально возможный фонд рабочего времени в неделю, ч;

n_{max} – максимально возможное количество смен в день,

$t_{см}$ – принятое количество рабочих часов в смене,

R_{max} – максимально возможное количество рабочих дней в неделю.

Расчёт, выполненный по формуле (1) показал, что интенсивность использования рабочего времени при выбранном режиме работ в 1-ну смену по 8 рабочих часов при 5-ти дневной рабочей неделе будет равна К=0,24; при выбранном режиме работ в 1-ну смену по 12 рабочих часов при 7-ми дневной рабочей неделе будет равна К=0,5; при выбранном режиме работ в 2 смены по 9 рабочих часов при 7-ми дневной рабочей неделе будет равна К=0,75.

Совмещенность строительных процессов Кс определяется по формуле (2):

$$K_c = \frac{\sum t}{T_{план}}, \quad (2)$$

где $\sum t$ – продолжительность всех работ, если бы они выполнялись последовательно одна за другой;

$T_{план}$ – продолжительность работ в соответствии с календарным планом.

Конкретные величины $К_с$ приведенные в таблице 1 взяты на основе реальных проектов.

Габарит моста, согласно [7], должен соответствовать категории дороги. Протяженность автодорожных дорог Украины 169,6 тыс. км. Дороги с твердым покрытием составляют 165,8 тыс. км, а грунтовые 3,8 тыс. км. Дорог I категории 2,6 тыс. км., II категории 12,7 тыс. км, III категории 29,5 тыс. км, IV категории 105,9 тыс. км, V категории 15,1 тыс. км [8]. Двуполостных дорог в Украине 89,3%, многополосных дорог 1,6 % и однополосных дорог 9,1%. На основании того, что наиболее распространены двухполосные дороги II-IV категории в исследовании принят фактор габарита проезжей части моста для данных категорий дорог. Согласно пункту 5.1.3 [7] ширина полос безопасности на мостах (длиной до 100 м включительно) со стороны обочины принимается равной остановочной полосе при ее наличии, при отсутствии – 1м или в соответствии с ТЭО.

Габарит проезжей части моста Г определяется по формуле:

$$Г = nm + C \tag{3}$$

где n – количество полос движения;

m – ширина полосы движения;

C – ширина остановочной полосы.

Расчёт, выполненный по формуле (3) показал, что габарит проезжей части моста для IV категории дороги будет равен 8,5 м, для III категории – 9 м, а для II категории – 9,5 м.

Согласно ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2012 [3] существует пять эксплуатационных состояний моста (1 – исправный, 2 – ограниченно исправный, 3 – работоспособный, 4 – ограниченно работоспособный и 5 – неработоспособный).

Для интегральной оценки технического состояния мостов введена формализованная оценка сооружения в целом. Экспертная оценка E [3] вычисляется по формуле (4):

$$E = \frac{80\left(5 - \sum_{i=1}^{i=7} a_i D_i\right)}{4}, \tag{4}$$

где D_i – номер эксплуатационного состояния конструктивных элементов;

a_i – коэффициент влияния состояния i-той группы элементов на общее состояние сооружения.

В работе исследуется три вида эксплуатационного состояния мостов: неработоспособное; ограниченно работоспособное; работоспособное.

Значимые факторы, влияющие на показатели эффективности восстановительных работ, а также заданные уровни их варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы, влияющие на показатели эффективности, принятые в исследовании

Нормализованные (условные) уровни варьирования факторов	Натуральные значения факторов			
	X_1 Интенсивность использования рабочего времени, коэф.	X_2 Совмещенность строительных процессов, коэф.	X_3 Габарит проезжей части моста, м	X_4 Эксплуатационное состояние моста
-1	0,24	1	8,5	3
0	0,50	2,2	9	4
1	0,75	3,4	9,5	5

Натуральные значения уровней варьирования фактора X_2 (совмещенность строительных процессов), могут быть определены после построения базовой модели восстановления поврежденного моста.

Уровни фактора X_4 условно обозначены цифрами 3, 4, 5 по [3], каждому из этих состояний соответствуют определенные повреждения. Поэтому в процессе численного эксперимента для каждого состояния мостов будет использован свой набор работ для восстановления моста.

Планирование эксперимента осуществлено на основе стандартной методики планирования эксперимента [9]. В соответствии с теорией планирования эксперимента выбран 25-ти точечный D-оптимальный план, который обеспечит адекватные результаты при значительно меньшем, чем при полнофакторном эксперименте, количестве опытов. Для решения этой задачи используется программа COMPEX, которая разработана в Одесской государственной академии строительства и архитектуры под руководством профессора В.А. Вознесенского. План эксперимента приведен в таблице 2.

На этапе проведения эксперимента разрабатываются модели строительных процессов восстановления поврежденных мостов на основании перечня и объемов работ согласно с разработанным планом эксперимента. Моделирование процессов восстановления проводится в два этапа. На первом разрабатываются экономические модели (сметная документация). На втором строятся графики производства работ на основании полученных трудозатрат из сметной документации и плана проведения численного эксперимента. Компьютерные модели производства работ показывают величину затрат на производство восстановительных работ и продолжительность восстановительного периода для различных сочетаний исследуемых факторов.

Таблица 2 – План эксперимента с факторами и уровнями их варьирования в кодированных и натуральных значениях

№ Точки	Факторы в кодированном виде				Натуральные значения факторов			
	X_1 Использо-вание рабочего времени	X_2 Совмеще-нность строитель-ных процессов	X_3 Габарит проезжей части моста	X_4 Эксплуата-ционное состояние моста	X_1 Использо-вание рабочего времени	X_2 Совмеще-нность строитель-ных процессов	X_3 Габарит проезжей части моста	X_4 Эксплуата-ционное состояние моста
1	1	1	1	1	0,75	3,4	9,5	5
2	1	1	1	-1	0,75	3,4	9,5	3
3	1	1	-1	1	0,75	3,4	8,5	5
4	1	1	-1	-1	0,75	3,4	8,5	3
5	1	-1	1	1	0,75	1	9,5	5
6	1	-1	1	-1	0,75	1	9,5	3
7	1	-1	-1	1	0,75	1	8,5	5
8	1	-1	-1	-1	0,75	1	8,5	3
9	-1	1	1	1	0,24	3,4	9,5	5
10	-1	1	1	-1	0,24	3,4	9,5	3
11	-1	1	-1	1	0,24	3,4	8,5	5
12	-1	1	-1	-1	0,24	3,4	8,5	3
13	-1	-1	1	1	0,24	1	9,5	5
14	-1	-1	1	-1	0,24	1	9,5	3
15	-1	-1	-1	1	0,24	1	8,5	5
16	-1	-1	-1	-1	0,24	1	8,5	3
17	1	0	0	0	0,75	2,2	9	4
18	-1	0	0	0	0,24	2,2	9	4
19	0,02	1	0	0	0,5	3,4	9	4
20	0,02	-1	0	0	0,5	1	9	4
21	0,02	0	1	0	0,5	2,2	8,5	4
22	0,02	0	0	1	0,5	2,2	9	5
23	0,02	0	-1	0	0,5	2,2	8,5	4
24	0,02	0	0	-1	0,5	2,2	9	3
25	0,02	0	0	0	0,5	2,2	9	4

Далее выполняется расчет и построение экспериментально-статистических моделей процессов восстановления, которые отображают зависимость показателей эффективности (продолжительность восстановления моста, стоимость восстановления м^2 моста) от исследуемых организационно-технологических факторов (интенсивность использования рабочего времени, совмещенность строительных процессов, габарит проезжей части моста, эксплуатационное состояние моста).

Затем проводится обработка многомерных графиков зависимостей показателей от всех исследуемых организационно-технологических факторов. Анализ полученных результатов численного эксперимента заключается в: определении принципов изменения и оценки влияния организационно-технологических факторов на показатели эффективности технологий восстановления; поиске областей факторного пространства, которые содержат области оптимизации организационно-технологических решений восстановления поврежденных мостов.

На последнем этапе исследований в графические модели вводятся ограничения (по стоимости, продолжительности, совмещенности, использованию времени работ или др.). Затем определяется оптимальное организационно-технологическое решение с учетом введенных ограничений.

Выводы:

1. Разработанная методика позволяет выбрать эффективные организационно-технологические решения в результате математического моделирования производственных процессов восстановления мостов и путепроводов.
2. Наиболее важные показатели эффективности – это стоимость восстановления м^2 моста, продолжительность восстановления моста.
3. Наиболее значимые факторы, влияющие на показатели эффективности – это интенсивность использования рабочего времени, совмещенность работ, габарит моста, эксплуатационное состояние моста.
4. Выбранный, в соответствии с теорией планирования эксперимента, 25-ти точечный D-оптимальный план обеспечит адекватные результаты при значительно меньшем, чем при полнофакторном эксперименте, количестве опытов.
5. Далее предполагается применение разработанной методики оптимизации восстановления мостов для определения принципов изменения и оценки влияния организационно-технологических факторов на показатели эффективности технологий восстановления, а также поиска областей факторного пространства, которые содержат области оптимизации организационно-технологических решений восстановления поврежденных мостов.

Литература

1. Meneylyuk A.I., Putilin S.V. Analysis of modern rehabilitation methods for bridges and overpasses. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. Вип. № 76. С. 143-152. https://doi.org/10.31650/2415-377X-2019-76-143-152.

2. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2017-01-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 49 с. (Державні будівельні норми України).

3. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. Споруди транспорту. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. [Чинний від 2013-12-01]. К.: Мінрегіон України, 2012. 116 с. (Національний стандарт України).

4. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування. [Чинний від 2010-03-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2009. 42 с.

5. Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений / Менейлюк А. И., Ершов М. Н., Никифоров А. Л., Менейлюк И. А. Київ : ТОВ НВП "Інтерсервіс", 2016. 332 с.

6. Черепащук Л.А. Зведення малоповерхових будівель з енергоефективними огороджувальними конструкціями : дис. … канд. техн. наук : 05.23.08 / Одеська державна академія будівництва та архітектури. Одеса, 2018. 790 с.

7. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. [Чинний від 2016-04-01]. К. : Мінрегіон України, 2015. 116 с. (Державні будівельні норми України).

8. Смирнова Н. В. Методология целевого поиска проектных решений двухполосных автомобильных дорог общего пользования: дис. … док. техн. наук : 05.22.11 / Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Харьков, 2016. 350 с.

9. Таблицы планов эксперимента. Для факторных и полиномиальных моделей. Справочное издание / [В. З. Бродский, Л. И. Бродский, Т. И. Голикова и др. под ред. В. В. Налимова]. М.: Металлургия, 1982. 753 с.

References

[1] A.I. Meneylyuk, S.V. Putilin, "Analysis of modern rehabilitation methods for bridges and overpasses", *Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury*, vol. 76, pp. 143-152, 2019.

[2] DBN A.3.1-5:2016. Orhanizatsiya budivel′noho vyrobnytstva. K.: Ministerstvo rehional′noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal′noho hospodarstva Ukrayiny, 2016.

[3] DSTU-N B.V.2.3-23:2012. Sporudy transportu. Nastanova z otsinyuvannya i prohnozuvannya tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv. K.: Minrehion Ukrayiny, 2012.

[4] DBN V.2.3-22:2009. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya. K.: Minrehionbud Ukrayiny, 2009.

[5] A.I. Meneylyuk, M.N. Yershov, A.L. Nikiforov, I.A. Meneylyuk, *Optimizatsiya organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy rekonstruktsii vysotnykh inzhenernykh sooruzheniy*. Kiiv : TOV NVP "Ínterservís", 2016.

[6] L.A. Cherepashchuk, "Zvedennya malopoverkhovykh budivel′ z enerhoefektyvnymy ohorodzhuval′nymy konstruktsiyamy", dis. … k-ta tekhn. nauk: 05.23.08. Odes'ka derzhavna akademiya budivnictva ta arhitekturi. Odesa, 2018.

[7] DBN V.2.3-4:2015. Avtomobil′ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo: K.: Minrehion Ukrayiny, 2015.

[8] N.V. Smirnova, "Metodologiya tselevogo poiska proyektnykh resheniy dvukhpolosnykh avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya", dis. … d-ra tekhn. nauk: 05.22.11. Kharkivs′kyy natsional′nyy avtomobil′no-dorozhniy universytet. Khar'kov, 2016.

[9] V.Z. Brodskiy, L.I. Brodskiy, T.I. Golikova i dr. pod red. V.V. Nalimova, Tablitsy planov eksperimenta. Dlya faktornykh i polinomial'nykh modeley. Spravochnoye izdaniye. M.: Metallurgiya, 1982.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МОСТІВ

Менейлюк О. І., д.т.н., професор,
meneilyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1007-309X
Путілін С. В., аспірант,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
putilinstanislavsv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7104-2599
вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Значна частина мостів в Україні вимагає серйозного ремонту. Однак, у вивченій літературі відсутні рекомендації щодо вибору ефективних організаційно-технологічних рішень реконструкції мостів і шляхопроводів. Тому розробка методики оптимізації відновлення мостів є актуальним завданням. У статті сформульована робоча гіпотеза оптимізації. Розроблено загальну методику дослідження. Наведено алгоритм багатокритеріального аналізу для вибору найбільш ефективних конструктивно-технологічних рішень відновлення основних конструктивних елементів досліджуваних споруд.

У ході аналізу визначено найбільш значущі показники ефективності відновлення – це вартість відновлення м^2 моста і тривалість відновлення моста. Як фактори, що впливають на показники ефективності, обрані: інтенсивність використання робочого часу та суміщення будівельних процесів, габарит проїжджої частини і експлуатаційний стан мосту.

Планування експерименту здійснено на основі відомої теорії планування експерименту. Обрано 25-ти точковий D-оптимальний план, який забезпечить адекватні результати при значно меншій, ніж при повнофакторному експерименті, кількості дослідів. Для вирішення використовується програма COMPEX, яка розроблена в Одеській державній академії будівництва та архітектури під керівництвом професора Вознесенського В. А. Моделювання дозволить знайти залежності між вхідними (інтенсивність використання робочого часу, сумісність будівельних процесів, габарит проїжджої частини моста, експлуатаційний стан мосту) і вихідними (вартість відновлення м^2 мосту, тривалість відновлення мосту) параметрами. Дані залежності описуються за допомогою поліномів другого ступеня, одержуваних при обробці результатів чисельного експерименту. Ці залежності дозволять визначити вартість і тривалість відновлення мосту для різного ступеня пошкодження і габариту мосту. Крім цього дозволять змінювати показники вибираючи оптимальні режими виробництва (сумісність будівельних процесів, інтенсивність використання робочого часу). Аналіз результатів чисельного експерименту дозволить оцінити вплив організаційно-технологічних факторів на показники ефективності технологій відновлення і знайти області факторного простору, що забезпечують оптимізацію організаційно-технологічних рішень відновлення пошкоджених мостів.

На останньому етапі чисельного експерименту в графічні моделі вводяться обмеження (за вартістю, тривалістю, суміщенню будівельних процесів або ін.) і визначається оптимальне організаційно-технологічне рішення з урахуванням введених обмежень.

Ключові слова: міст, шляхопровід, організаційно-технологічні рішення, математичне моделювання, планування експерименту.

DESIGNING OF METHODS FOR OPTIMIZING THE RESTORATION OF BRIDGES

[1]**Meneylyuk A. I.,** Doctor of Engineering Science, Professor,
meneilyk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1007-309X
[1]**Putilin S. V.,** post-graduate student,
putilinstanislavsv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7104-2599
[1]*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*
4, Didrikhson str., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. The biggest part of the bridges in Ukraine requires serious restoration works. However, in the literature sources there are no recommendations for choosing effective organizational and technological solutions for the reconstruction of bridges and overpasses. Therefore, the design of methods for optimizing bridge restoration is an urgent task. The working optimization hypothesis is formulated in the article. A general research technique is developed. The algorithm of multicriteria analysis is presented to determine the most effective structural and technological solutions for the restoration of the main structural elements of the studied structures.

As a result of the analysis, the most significant indicators of restoration efficiency were determined. These were the cost of restoration of m^2 of the bridge and the duration of restoration of the bridge. As factors affecting performance indicators – the intensity of the use of working time and the combination of construction processes, the size of the roadway and the operational condition of the bridge were selected.

The planning of the experiment is based on the well-known theory of experimental planning. A 25-point D-optimal plan was selected, which will provide adequate results with significantly fewer experiments than in a full-factor experiment. For calculations is used the program software COMPEX, which is developed at the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture under the direction of Professor V. Voznesensky. Modelling allows to find the dependencies between the input (intensity use of working time, combination of construction processes, size of the carriageway of the bridge, operational condition of the bridge) and output (cost of restoration of m^2 of the bridge, duration of restoration of the bridge) parameters. Dependences data is described with usage of second-degree polynomials obtained by processing the results of a numerical experiment. These dependencies will allow to determine the cost and duration of the restoration of the bridge for varying degrees of damage and the size of the bridge. In addition, to change indicators by choosing the optimal production modes (combination of processes, the intensity of the use of working time). The analysis of the results of a numerical experiment will allow us to assess the influence of organizational and technological factors on the performance indicators of restoration technologies and find areas of factor space that provide optimization of organizational and technological solutions for the restoration of damaged bridges.

At the last stage of the numerical experiment, limits are introduced into graphic models (by cost, duration, combination, etc.) and the optimal organizational and technological solutions are determined taking into account the introduced restrictions.

Keywords: bridge, overpass, organizational and technological solutions, mathematical modeling, planning of experiment.

Стаття надійшла до редакції 25.07.2020