

УДК 624.21/8

Нурмухаметов Карим Альфредович

инженер

E-mail: msn1996@mail.ru

ООО «Регион»

Адрес организации: 423600, Россия, г. Елабуга, пр. Мира, д. 14А

Зиннуров Тагир Альмирович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: leongar@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Садыков Денис Мадисович

инженер

E-mail: saddentroy@gmail.com

ООО ИЦ «ЭнергоРазвитие»

Адрес организации: 420126, Россия, г. Казань, пр. Хусаина Ямашева, д. 57А

Алгоритм принятий решений в системе управления региональными мостами

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – проанализировать зарубежные и отечественные системы управления мостами и разработать алгоритм принятия решений в составе системы управления региональными мостами.

Результаты. По результатам исследования были выявлены преимущества и недостатки рассмотренных систем управления мостами, а также разработан алгоритм принятия решений, позволяющий формировать эффективную стратегию ремонта, определяющую приоритетность работ. Данный алгоритм даёт возможность учитывать, техническое состояние, стоимости ремонтных работ и значимость сооружения в сети автомобильных дорог регионального значения.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в возможности разработки регионально-ориентированных систем управления мостами на основе разработанного алгоритма, которые будут учитывать особенности подхода к финансовому управлению в регионе.

Ключевые слова: мостовые сооружения, система управления мостами, приоритетность ремонта, база данных по мостам, алгоритм принятия решений.

Введение

Мостовые сооружения являются важной составляющей любой развитой транспортной инфраструктуры, причем их строительство, ремонт и содержание требуют значительных объемов финансирования. От технического состояния мостовых сооружений зависят бесперебойность, комфорт и безопасность движения транспорта. Исходя из этих причин, задача по обеспечению сохранности мостовых сооружений всегда актуальна.

Согласно Государственной программе «Развитие транспортной системы Республики Татарстан на 2014-2022 годы» (далее – Программа), утвержденной Постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 20 декабря 2013 года № 1012, в Республике на автомобильных дорогах общего пользования регионального значения эксплуатируются 1105 мостов. На их ремонт ежегодно выделяется порядка 115 млн руб., которые распределяются в среднем на 10 мостов, что составляет около 1 % от их общего количества. Также из программы следует, что в настоящее время на 70-ти % металлических мостов практически отсутствует защитное покрытие, в связи с чем наблюдаются все виды коррозии металла, на 70-80-ти % железобетонных мостов оголена и прокорродированна рабочая арматура главных балок и плит пролетных строений, на около 85-ти % тротуаров мостов имеются сквозные отверстия в виду разрушения бетона, в связи с этим их состояние не удовлетворяет требованиям безопасности, а на 60-65-ти % мостов либо отсутствуют, либо находятся в неудовлетворительном состоянии барьерные и перильные ограждения.

Исходя из вышеизложенного, в условиях большого количества эксплуатируемых сооружений и ограниченного объема финансирования, приходится принимать непростые управленческие решения, которые позволяют правильно определять приоритетность работ по ремонту мостов. На сегодняшний день для сети региональных автомобильных дорог РТ отсутствуют руководства по принятию таких решений. На сети федеральных автомобильных дорог России и в зарубежной практике данную задачу решают системы управления мостами, включающие в себя алгоритмы, позволяющие определять приоритетность работ. В связи с этим, при разработке системы управления региональными мостами, задачи по рассмотрению полезного опыта использования существующих систем, и разработке адаптированных для целей региона алгоритмов, становятся актуальными.

Особенности зарубежных и отечественных систем управления мостами

Многие работы [1-9] как отечественные, так и зарубежные, посвящены обзору систем управления мостами. Некоторые из них обобщают мировой опыт использования таких систем [1-3], а некоторые дают рекомендации по их внедрению на территории различных стран мира [4-6]. Авторами же рассмотрен зарубежный и отечественный опыт в рамках реализации систем управления мостами, который может быть использован в разработке региональных систем.

История развития систем управления мостами начинается в начале 70-х годов прошлого столетия в США. Первая система включала в себя стандарты, содержащие технические условия на инспектирование и инвентаризацию мостов. Эти нормативные документы являлись основой для принятия решений, расстановки приоритетов. Конечно, на тот момент эта система была удобна, однако она не позволяла анализировать и прогнозировать потребность в финансировании.

В России в 1975 году было создано первое подобие системы управления мостами, которая состояла из базы данных мостовых сооружений – информационно-поисковой системы «МОСТ» и технических правил содержания и ремонта автомобильных дорог – ВСН 24-75. Вместе они позволяли систематизировать информацию о техническом состоянии мостов, а также установить требуемый вид работ и источник финансирования для проведения ремонтных работ. Однако эта система просуществовала недолго, поскольку не было острой необходимости в определении приоритетности работ по ремонту, в связи с высоким уровнем промышленности, по части производства сборных железобетонных конструкций, высокими темпами и большими объемами строительства мостов из этих конструкций.

На текущий момент большинство развитых стран мира, таких как США, Канада, Финляндия, Дания, Великобритания, Германия, активно используют национальные системы управления мостами. Рассмотрим особенности некоторых зарубежных систем.

Система управления мостами в Германии – SIB-Bauerwerke, на основании исходной информации, формирует целевую функцию и функции приоритета, в основу которых заложены установленные ранее правила принятия решения и критерии оптимизации [1]. Исходной информацией для работы системы являются сведения (данные обследования, диагностики) о состоянии мостовых сооружений, поэтому для эффективной работы системы мосты должны быть проверены в определенные промежутки времени. Дефекты, обнаруженные во время обследования, осмотра или диагностики, оценивают по четырехбалльной шкале. При этом, показатель технического состояния сооружения варьируется в диапазоне от очень хорошего – 1 балл до неудовлетворительного – 4 балла. После оценки технического состояния, в рамках данной системы, предусматривается определение приоритетности ремонта мостов. Эта задача решается с использованием модели Крафта. В модели Крафта взаимодействуют четыре критерия: оценка зоны повреждения; тенденция к распространению; воздействие на другие конструктивные элементы; оценка влияния грузоподъемности транспортных средств. На основании этих критериев определяется срочность проведения мероприятий по ремонту. Таким образом, Германская система определяет приоритетность, основываясь на оценке технического состояния моста, и не учитывает другие, например, экономические параметры.

Система NATS, используемая в Великобритании, включает в себя детерминированный и вероятностный подходы к оценке состояния мостовых сооружений, что делает эту систему более гибкой и позволяет принимать корректные

решения. Так, для мостов, относительно недавно введенных в эксплуатацию, используют детерминированный подход, так как они еще не требуют ремонта, а в случаях мостов, требующих ремонта и, соответственно, определения его очередности, в Британской системе NATS задействован вероятностный метод оценки состояния.

В основу системы Pontis, разработанной в США, заложен подход, схожий с методом конечных элементов, только вместо оценки напряженно-деформированного состояния, выполняется оценка технического состояния. Сооружение разбивается на несколько элементов: мостовое полотно, несущие элементы пролетного строения, опоры, фундаменты и т.д. Затем производят оценку вероятности ухудшения технического состояния этих элементов и сооружения в целом с использованием Марковской модели. Такой подход позволяет с высокой точностью определять необходимость и объемы ремонтных работ, но требует значительного количества и качества исходной информации.

В Дании используется система управления мостами под названием Danbro, которая реализует последовательность действий от получения информации о мостах, до реализации принимаемого управленческого решения. Учитывая особенности различных стратегий эксплуатации мостов, система планирует работы по их содержанию и ремонту. Однако данная система не использует математические методы прогнозирования изменения технического состояния конструкций (все строится на экспертных оценках) и не учитывает значимость сооружения [7].

У Финляндской системы SINA интересный подход к прогнозированию затрат. В первую очередь формируется предварительный перечень мостов с прогнозированием затрат на ремонт на основании их технического состояния и возраста, затем производится уточнение стоимости работ уже с учетом прогнозирования долговечности. В результате формируется окончательный перечень мостов, подлежащих ремонту, в рамках установленных бюджетных ограничений. Важным преимуществом такой системы является оценка возраста сооружения, так как возраст объекта – практически единственный объективный показатель его состояния.

Система OA-MeGA, применяемая во Франции, основана на балльной оценке состояния сооружений и приоритетности выполнения работ. Неоспоримым преимуществом системы OA-MeGA является увязка экономического планирования бюджета, выделенного на ремонт, с оценкой последовательности ремонтных работ. Балльная система в показателе приоритетности ремонта моста определяет фактический ранжированный номер для финансирования работ. Определение срочности проведения мероприятий по мосту начинается с оценки повреждения конструкций и определения приведенного показателя повреждения. После чего определяют показатель приоритетности и устанавливается общая по мостовому сооружению оценка. Сравнение данной оценки по этому мосту с другими дает понимание о приоритетности проведения работ на нем.

В Российской Федерации для сети федеральных дорог осуществляется трехуровневая модель системы управления мостами, предложенная «РосдорНИИ» Федеральному дорожному агентству «Росавтодор». Эта система реализована как взаимосвязь мостового сооружения; комплекса информационных технологий, который позволяет создавать, хранить и обрабатывать данные об этом сооружении; процесса принятия решения; а также комплекса средств, обеспечивающих организацию и контроль за реализацией принятых решений [1, 8, 9]. Таким образом, упрощенно эту систему можно представить в виде схемы (рис. 1).

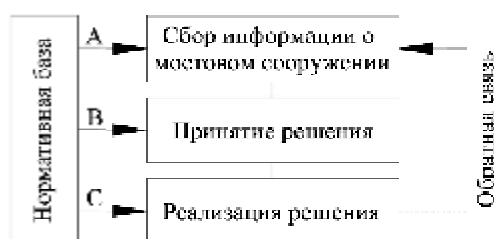


Рис. 1. Принципиальная схема управления эксплуатацией мостов на федеральных дорогах РФ [1]

На уровне «А» системы происходит сбор и повышение достоверности (объективности) информации о мостах, которая заносится в автоматизированную базу данных; а также осуществляется выбор подхода к оценке технического состояния и др. Уровень «В», в свою очередь, отвечает за принятие решений в части определения требуемого режима эксплуатации; за планирование работ по ремонту и реконструкции с обоснованным распределением средств и др. Наконец, уровень «С» осуществляет организацию и контроль за реализацией решений, принятых на уровне «В». Информация о реализованных решениях заносится в базу данных по мостам (уровень «А»).

Некоторые из положений Российской системы могут быть использованы при разработке систем управления региональными мостами. Например, повышение достоверности информации о мостовом сооружении – действительно необходимая операция, так как зачастую, из-за нехватки финансирования, данные о состоянии мостовых сооружений не являются актуальными.

Основные положения систем управления мостами

Анализ зарубежного и отечественного опыта использования и разработки систем управления мостами позволяет сформулировать общие требования к таким системам:

1. Система управления мостами должна быть четко связана с системой эксплуатации.
2. Результатом работы системы управления мостами должен стать оптимизированный план содержания мостов в конкретном городе, районе или области.
3. Алгоритмы принятия решений и инструменты контроля должны базироваться на нормативных документах и научных исследованиях.
4. Применяемая система оценки технического состояния должна быть максимально приближена к объективной оценке.
5. Система управления мостами должна проходить процессы самообучения и адаптации, с анализом последствий использования неоптимальных стратегий.

Таким образом, общая схема функционирования систем управления мостами включает три важнейших этапа:

- сбор информации о мостах и ее анализ;
- определение оптимальной стратегии реализации управленческих решений;
- рациональное распределение финансов на содержание мостов.

Разработка алгоритма принятия решений

Перед системами управления мостами на этапе определения приоритетности работ по ремонту мостов могут ставиться различные цели, аналогично системам принятия решений при реконструкции зданий [10]. Эти цели достигаются посредством реализации различных стратегий (программ) ремонта, которые, в свою очередь, формируются благодаря алгоритмам принятия решений.

Целью, актуальной для Республики Татарстан, является обеспечение безопасности и бесперебойности движения транспорта. Добиться этой цели поможет стратегия проведения работ, в первую очередь, на мостах, находящихся в аварийном, предаварийном и неудовлетворительном технических состояниях. Так как эксплуатация сооружений в аварийном состоянии может привести к их скорому разрушению, что, в свою очередь, может повлечь человеческие жертвы и разрыв «транспортной артерии» региона, а эксплуатация сооружений в неудовлетворительном или предаварийном состоянии может повлечь их дальнейший переход в аварийное техническое состояние.

Формировать программу ремонта мостов будет алгоритм, где в первую очередь будет учитываться техническое состояние сооружений, затем – значимость сооружений и стоимость их ремонта. Таким образом, алгоритм принятия решения будет состоять из трех этапов:

- учет технического состояния;
- оценка значимости;
- оценка стоимости работ.

На этапе учета технического состояния мосты группируются по техническому состоянию, при этом преимущество в очередности работ по ремонту будет отдаваться мостам в аварийном состоянии. В случае, если с момента последней диагностики или обследования сооружения прошло более десяти лет, потребуется провести повторную диагностику с целью уточнения технической категории на момент принятия решения. Если сооружение находилось в неудовлетворительном или предаварийном состоянии, тогда существует риск его обрушения, например, при проезде транспортных средств, масса которых превышает ограничение по массе, установленное на мосту, поэтому перед принятием решения необходимо удостовериться в их техническом состоянии посредством проведения экспресс-диагностики. Результатом работы алгоритма на данном этапе является ранжирование мостов по их техническому состоянию, от «аварийных» к «проектным». Однако анализ причин аварий и разрушений мостовых сооружений, проведенный в работе [11], дает нам понимание, что категории технического состояния, установленные нормативными документами, не всегда отражают фактическую вероятность потери несущей способности конструкций мостового сооружения, поэтому необходимо ввести в систему оценки технического состояния категории опасности отклонений, выявленных во время строительства и эксплуатации.

На этапе оценки значимости моста характерным показателем является интенсивность движения транспортных средств по нему. Косвенным показателем, отражающим интенсивность движения, может служить категория автомобильной дороги, на которой расположено сооружение. Однако интенсивность движения транспортных средств на одной дороге, чаще всего бывает разная, так как дорога имеет ответвления и съезды. В алгоритме присутствует оценка значимости сооружения в общей сети автомобильных дорог, которая учитывает расположение мостового сооружения и протяженность автомобильной дороги. Ранжирование мостов по значимости выполняется в рамках групп мостов отобранных по техническому состоянию.

В рамках разработки системы управления региональными мостами определение фактической стоимости выполнения работ по ремонту является трудоемкой задачей, на данном этапе работы, авторами предлагается давать оценку стоимости по площади мостового полотна. В итоге наиболее приоритетными мостами окажутся те, которые имеют наименьшую стоимость ремонтных работ.

Для эффективной работы алгоритма понадобится наличие следующей исходной информации о мостовых сооружениях, находящихся на автомобильных дорогах общего пользования регионального значения:

- наименование сооружения;
- техническое состояние сооружения (аварийное, предаварийное, неудовлетворительное, удовлетворительное, хорошее, проектное);
- год последней диагностики или обследования сооружения;
- категория автомобильной дороги, на которой расположено сооружение;
- протяженность автомобильной дороги, на которой расположено сооружение;
- расположение сооружения на автомобильной дороге;
- площадь мостового полотна.

Результатом работы такого алгоритма будет являться программа ремонта мостов, устанавливающая очередность проведения работ. Учитывая вышеизложенное, было сформировано графическое представление алгоритма принятия решений (рис. 2).

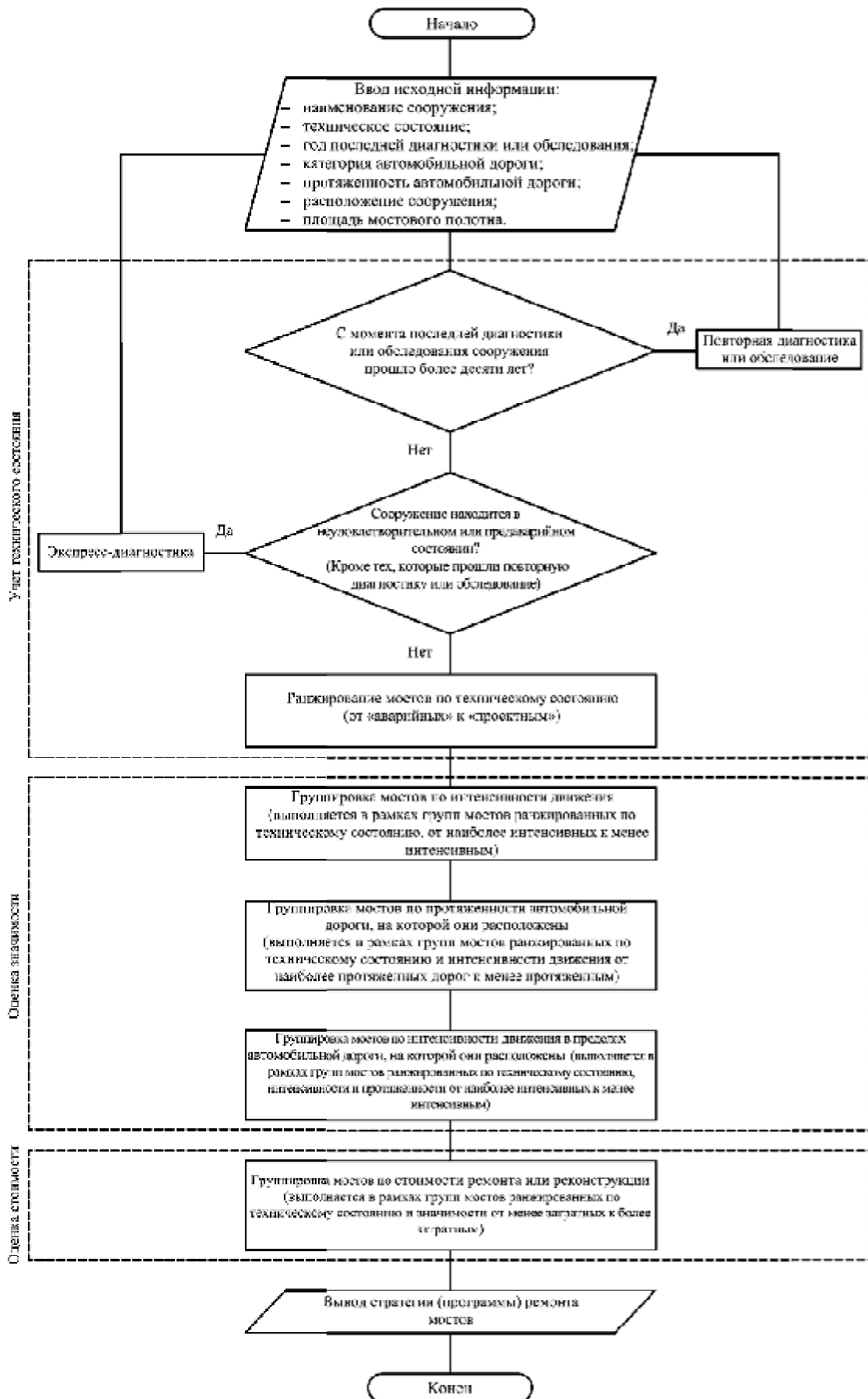


Рис. 2. Алгоритм принятия решений (иллюстрация авторов)

Заключение

Рассмотрев подходы к разработке и использованию систем управления мостами, авторы приходят к выводу о том, что в большинстве систем, при определении приоритетности ремонтных работ на стадии принятия решения, не учитывается значимость сооружения. Зарубежный опыт в рамках реализации систем управления мостами может быть использован в качестве полезной информации при разработке регионально-ориентированных систем. Например, при прогнозировании затрат на ремонтные работы можно учитывать возраст моста, как один из объективных показателей состояния, а также можно варьировать подходами содержания новых и старых мостов, что актуально и для наших реалий.

Алгоритм принятия решений, полученный в ходе работы, позволяет формировать эффективную стратегию ремонта, определяющую приоритетность работ в условиях большого количества мостов и ограниченного объема финансирования. Данный алгоритм, помимо технического состояния и стоимости работ, также даёт возможность учитывать и значимость сооружения в сети автомобильных дорог регионального значения.

В ходе работы выяснилось, что существует необходимость усовершенствования системы оценки технического состояния мостовых сооружений, с учетом вероятности их разрушения, а также требуется разработка системы оценки значимости сооружения в сети региональных автомобильных дорог.

Список библиографических ссылок

1. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России // RAGS.RU : Российский архив государственных стандартов. 2007. URL: <https://www.rags.ru/stroyka/text/56251> (дата обращения: 12.05.2019).
2. Нигаматова О. И., Овчинников И. Г. Системы управления состоянием мостовых сооружений // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2015. Том 7. № 3. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf> (дата обращения: 12.05.2019).
3. Нигаматова О. И., Овчинников И. Г. Международный опыт применения экспертных систем для оценки состояния мостовых сооружений // NAUKOVEDENIE.RU : интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2016. Том 8. № 1. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf> (дата обращения: 12.05.2019).
4. Fruguglietti E., Pasqualato G., Spallarossa E. Bridge Management System implementation in Italy: Pontis and other BMS application in Italy // Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. 2012. URL: http://www.gruppocina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf (дата обращения: 12.05.2019).
5. Zhai L. Research on Information Maintenance and Management System of Bridge Group over Wei-River : Proceedings of the International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development / Hong Kong Industrial Technology Research Centre. Shenzhen, 2016. P. 93–96.
6. Gholamia M., Mohd Sama A., Yatima J. Assessment of Bridge Management System in Iran : dig. of art. of The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering / University of Sebelas Maret. Solo, 2012. P. 573–583.
7. Andersen N. H. Danbro – A Bridge Management System for Many Levels. Dordrecht : Springer, 1990. 187 p.
8. Яшнов А. Н., Зубко А. В. К вопросу о повышении надежности мостовых сооружений на автомобильных дорогах // Дороги и мосты. 2018. № 40. С. 201–210.
9. Рыбалов Ю. В. Автоматизированная информационно-аналитическая система по искусственным сооружениям на автомобильных дорогах // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 2 (5). С. 26–135.
10. Сотникова К. Н., Колосова Н. В., Толмачев А. П. Экспертная система принятия решений для реконструкции зданий с учетом принципов «Зеленого строительства» // Международный студенческий научный вестник. 2012. № 1 (6). С. 98–105.

11. Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Майстренко И. Ю., Кокодеев А. В. Аварии и разрушения мостовых сооружений, анализ их причин. Часть 2 // Т-S.TODAY : Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2017. № 4. URL: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (дата обращения: 12.05.2019).

Nurmuhametov Karim Alfredovich

engineer

E-mail: msn1996@mail.ru

LLC «Region»

The organization address: 420043, Russia, Elabuga, Mira ave., 14A

Zinnurov Tagir Almirovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: leongar@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Sadykov Denis Madisovich

engineer

E-mail: saddentroy@gmail.com

LLC EC «EnergoRazvitie»

The organization address: 420126, Russia, Kazan, Kh. Yamashev ave., 57A

Decision making algorithm in the regional bridges management system

Abstract

Problem statement. The purpose of the study is to consider the features of foreign and domestic bridge management systems and to develop a decision-making algorithm in the regional bridge management system.

Results. The study identified the advantages and disadvantages of the considered bridge management systems. Also the algorithm of decision-making allowing to form the effective strategy of repair defining priority of works is developed. This algorithm, in addition to the technical condition and cost of work, also makes it possible to take into account the importance of construction in the network of roads of regional importance.

Conclusions. The significance of the results for the construction industry is the possibility of developing adaptable regional-oriented bridge management systems that will take into account the peculiarities of the approach to financial management in the region.

Keywords: bridge structures, bridge management system, repair priority, database of bridges, decision-making algorithm.

References

1. Bridge management on the roads of Russia // RAGS.RU : Russian archive of state standards. 2007. URL: <https://www.rags.ru/stroyka/text/56251> (reference date: 12.05.2019).
2. Nigmatova O. I., Ovchinnikov I. G. Control systems for the condition of bridges // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «NAUKOVEDENIE». 2015. Tom 7, № 3. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/09TVN315.pdf> (reference date: 12.05.2019).
3. Nigmatova O. I., Ovchinnikov I. G. International experience of using expert systems for assessing the state of bridge structures // NAUKOVEDENIE.RU : internet-journal «NAUKOVEDENIE». 2016. Tom 8. № 1. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/66TVN116.pdf> (reference date: 12.05.2019).
4. Fruguglietti E., Pasqualato G., Spallarossa E. Bridge Management System implementation in Italy: Pontis® and other BMS application in Italy // Bridge Maintenance, Safety, Management, Resilience and Sustainability. 2012. URL:

- http://www.gruppo-sina.it/pdf/public/GS_1105_FPAP_PDF.pdf (reference date: 12.05.2019).
5. Zhai L. Research on Information Maintenance and Management System of Bridge Group over Wei-River : Proceedings of the International Forum on Energy, Environment and Sustainable Development / Hong Kong Industrial Technology Research Centre. Shenzhen, 2016. P. 93–96.
 6. Gholamia M., Mohd Sama A., Yatima J. Assessment of Bridge Management System in Iran : dig. of art. of The 2nd International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering / University of Sebelas Maret. Solo. 2012. P. 573–583.
 7. Andersen N. H. Danbro – A Bridge Management System for Many Levels. Dordrecht: Springer, 1990. 187 p.
 8. Yashnov A. N., Zubko A. V. On the issue of improving the reliability of bridge structures on highways // *Dorogi i mosty*. 2018. № 40. P. 201–210.
 9. Rybalov Y.V. Automated information and analytical system for artificial structures on highways // *SAPR i GIS avtomobilnyh dorog*. 2015. № 2 (5). P. 26–135.
 10. Sotnikova K. N., Kolosova N. V., Tolmachev A. P. Expert decision-making system for the reconstruction of buildings, taking into account the principles of «green construction» // *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik*. 2012. № 1 (6). P. 98–105.
 11. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Maystrenko I. Y., Kokodeev A. V. Accidents and destruction of bridges, analysis of their causes. Part 2 // *T-S.TODAY : internet-journal «Transportnye sooruzheniya»*. 2017. № 4. URL: <https://t-s.today/PDF/14TS417.pdf> (reference date: 12.05.2019).