

УДК: 624.21

DOI: 10.53816/23061456_2021_7-8_63

**МЕТОДЫ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ ПО БЕЗОТКАЗНОСТИ ПРИ ПРОПУСКЕ
СВЕРХТЯЖЕЛЫХ НАГРУЗОК ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕГРАДЫ**

**METHODS OF EXPRESS ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION
OF ROAD BRIDGES FOR RELIABILITY WHEN PASSING
SUPER-HEAVY LOADS OF THROUGH WATER BARRIERS**

Канд. техн. наук Е.А. Луговцев

Ph.D. E.A. Lugovtsev

Военный институт (инженерных войск) ВУНЦ СВ «ОБА ВС РФ»

В статье приводятся два метода экспресс-оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности при пропуске сверхтяжелых нагрузок ракетных войск стратегического назначения (РВСН) через водные преграды. Метод сопоставления усилий позволяет оперативно оценить возможность использования автодорожных мостов без повреждений для пропуска современных и перспективных сверхтяжелых нагрузок РВСН. Экспериментально-аналитический метод позволяет определить техническое состояние по безотказности балочных автодорожных мостов разных статических систем из различных материалов, с учетом их фактического эксплуатационного состояния по измеряемому углу поворота их опорных сечений.

Ключевые слова: автодорожный мост, пролетное строение, технического состояние, экспресс-оценка, сверхтяжелая нагрузка, безотказность, грузоподъемность, несущая способность.

The article presents two methods of express assessment of the technical condition of road bridges for reliability when passing super-heavy loads of the strategic missile forces (SMF) through water barriers. The method of comparing efforts allows us to quickly assess the possibility of using road bridges without damage to pass modern and promising super-heavy loads of the SMF. The experimental and analytical method allows us to determine the technical condition by the reliability of girder road bridges of different static systems made of different materials taking into account their actual operational condition by the measured angle of rotation of their support sections.

Keywords: road bridge, superstructure, technical condition, express assessment, superheavy load, reliability, load capacity, load-bearing capacity.

Введение

В практике эксплуатации автомобильных дорог Российской Федерации (РФ) периодически возникают сложные актуальные задачи определения технического состояния автодо-

рожных мостов при пропуске по ним тяжеловесных транспортных средств [1, 2].

Выполнением этой задачи занимаются специализированные организации, имеющие в своем штате высококвалифицированных специалистов, современное программное обес-

печение и оборудование для проведения обследований и испытаний мостов.

Общую оценку технического состояния автодорожных мостов выражают категорией технического состояния, которую назначают с учетом совокупности подверженных изменению в процессе эксплуатации основных свойств автодорожных мостов, а также частными оценками технического состояния по критерию «безопасность эксплуатации» по долговечности и безотказности (грузоподъемности) [3].

Общие подходы к решению проблемы оценки надежности мостовых сооружений на дорогах рассмотрены в работах [4–7].

Основным свойством надежности мостовых сооружений является их безотказность. Показателем безотказности мостовых сооружений является невозможность превышения в них предельных состояний при контролируемом пропуске сверхтяжелых нагрузок.

Определение технического состояния мостов по безотказности (грузоподъемности) при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН должно осуществляться в короткие сроки с большой точностью.

Существующий научно-методический подход и действующие в РФ нормативные документы [8–12] для решения этой задачи непригодны, так как требуют длительного времени для выполнения большого объема работ по выявлению фактического состояния мостового сооружения.

Основная часть

Безотказность мостового сооружения определяется расчетами грузоподъемности по первой группе предельных состояний в соответствии с [3] и [12], предусматривающими систему коэффициентов надежности по материалам, по нагрузкам, по условию работы и по ответственности сооружения.

Грузоподъемность сооружения определяется несущей способностью его основных несущих конструкции (элементов конструкций). Расчет несущей способности элементов мостового сооружения следует производить с учетом их фактических геометрических размеров, прочностных и деформативных свойств материалов (бетона, арматуры, стали, древесины и др.), влияния имеющихся дефектов и повреждений.

При оценке технического состояния мостового сооружения по безотказности определяют элементы K в пролетных строениях и опорах, которые от любой временной вертикальной нагрузки обычно получают наибольшие усилия. В этих элементах рассчитывается:

– несущая способность элементов K , в качестве значения несущей способности могут рассматриваться напряжения или деформации, соответствующие достижению предельного состояния первой группы;

– соответствующее усилия в каждом из этих элементов K от использованной при проектировании мостового сооружения нормативной временной вертикальной нагрузки;

– соответствующее усилия в каждом из этих элементов K от сверхтяжелой нагрузки РВСН;

– соответствующее усилия в каждом из элементов K от собственного веса всей конструкции (постоянная нагрузка) мостового сооружения;

– соответствующее усилия в каждом из элементов K от прочих разнообразных постоянных факторов и от проектной нагрузки на тротуарах.

Техническое состояние по безотказности автодорожных балочных мостовых сооружений разнообразной конструктивной формы из различных конструкционных материалов может быть определена различными способами для следующих случаев их эксплуатационного состояния [13].

1. Для мостового сооружения известны нормативные временные вертикальные нагрузки, на которые оно спроектировано и построено, а элементы его пролетного строения, опор и их материалы за время его эксплуатации не получили повреждений или изменений.

2. Для случаев, в отличие от случаев по п. 1, собственный вес пролетного строения мостового сооружения увеличился за счет изменения толщины одежды проезжей части или появления иных элементов на его пролетном строении.

3. Для случаев, в отличие от случаев по п. 2, несущие элементы пролетного строения и опор мостового сооружения и их материалы за время его эксплуатации получили повреждения или изменения.

4. Для случаев, в отличие от случаев по п. 1, 2 и 3, нормативная временная вертикальная нагрузка, на которую спроектировано мостовое сооружение, неизвестна.

Для экспресс-оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности рассмотрим первый и четвертый способы, второй и третий способы не рассматриваются ввиду низкой актуальности при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН через водные преграды.

Рассмотрим решение этой задачи для первого случая эксплуатационного состояния в общем виде при пропуске некоторой сверхтяжелой нагрузки Б по любому автодорожному мостовому сооружению, строго спроектированному и построенному на воздействие нормативных временных вертикальных нагрузок А.

Если при этом мостовое сооружение в ходе его эксплуатации не получило каких-либо повреждений и находится в нормальном эксплуатационном состоянии, то эта задача решается обратным методом строительной механики следующим образом. Выделяем в мостовых сооружениях K элементов пролетных строений и опор, которые от любой временной вертикальной нагрузки обычно получают наибольшие усилия. Несущая способность каждого из этих элементов в спроектированном сооружении строго обеспечивается следующим условием [13]:

$$N_{\text{пред}}^{i(1-K)} \geq N_{\text{вр}}^{i(1-K)} + N_{\text{пос}}^{i(1-K)} + N_{\text{пр}}^{i(1-K)},$$

где $N_{\text{пред}}^{i(1-K)}$ — несущая способность элементов K , в качестве значения несущей способности могут рассматриваться напряжения или деформации, соответствующие достижению предельного состояния первой группы;

$N_{\text{вр}}^{i(1-K)}$ — соответствующее усилия в каждом из этих элементов K от использованной при проектировании мостового сооружения нормативной временной вертикальной нагрузки;

$N_{\text{пос}}^{i(1-K)}$ — соответствующее усилия в каждом из элементов K от собственного веса всей конструкции мостового (постоянная нагрузка) сооружения;

$N_{\text{пр}}^{i(1-K)}$ — соответствующее усилия в каждом из элементов K от прочих разнообразных постоянных факторов и от проектной нагрузки на тротуарах.

Исходя из того, что в неповрежденном мостовом сооружении несущая способность K элементов не изменилась во времени, а также учитывая то, что во времени не изменились усилия в элементах от их собственного веса и прочих

постоянных факторов, получаем право решения обратной задачи на основании недопущения нарушения приведенных условий обеспечения несущей способности всех выбранных элементов.

Для этого необходимо лишь сопоставить усилия $N_{\text{А вр}}^{i(1-K)}$ — во всех этих элементах от наибольшей из нормативных нагрузок А и усилия $N_{\text{Б вр}}^{i(1-K)}$ — от пропускаемой по пролетному строению нагрузки Б.

Все эти усилия легко вычисляются при загрузении соответствующих линий влияния силовых факторов обеими этими нагрузками.

Работоспособное техническое состояние по безотказности автодорожного мостового сооружения обеспечено при выполнении условия

$$N_{\text{А вр}}^{i(1-K)} \geq N_{\text{Б вр}}^{i(1-K)}.$$

Реализацию первого способа оценки безотказности для массовой оценки автодорожных мостов при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН в позиционных районах целесообразно выполнять с использованием метода сопоставления усилий.

Суть метода заключается в сравнении усилий возникающих в элементах конструкций мостового сооружения от временных проектных нагрузок и сверхтяжелых нагрузок РВСН.

Для реализации этого метода разработана методика расчета возможности использования автодорожных мостов для пропуска сверхтяжелых нагрузок РВСН. Методика включает два блока. Первый блок — сравнение расчетных усилий от проектной нагрузки и нагрузки РВСН при минимальных исходных данных.

$$N_{\text{проект}}^{i(1-K)} \geq N_{\text{РВСН}}^{i(1-K)},$$

где $N_{\text{проект}}^{i(1-K)}$ — напряжения или перерезывающие силы, соответствующие достижению предельного состояния первой группы в элементе K от проектной нагрузки;

$N_{\text{РВСН}}^{i(1-K)}$ — напряжения или перерезывающие силы, соответствующие достижению предельного состояния первой группы в элементе K от нагрузки РВСН.

Второй блок — сравнение расчетных усилий от нагрузки РВСН с допустимыми усилиями в несущих элементах железобетонных пролетных строений определенными для типовых

пролетных строений в [3], при этом необходимо знать геометрические характеристики пролетного строения и армирование несущих элементов.

$$N_{\text{ОДМ}}^{i(1-K)} \geq N_{\text{РВСН}}^{i(1-K)},$$

где $N_{\text{ОДМ}}^{i(1-K)}$ — допустимые напряжения или перерезывающие силы, соответствующие достижению предельного состояния первой группы в элементе K по ОДМ 218.4.025-2016.

На основе методики была разработана программа для сравнения изгибающих моментов в разрезных пролетных строениях новых мостов в диапазоне пролетов от 3 до 360 м [14]. С использованием программы подготовлены предложения по уточнению руководящих документов РВСН для выбора маршрутов боевого патрулирования в новых позиционных районах. Кроме этого, разработана программа, позволяющая определять изгибающий момент, перерезывающую силу и эквивалентные усилия в балочных пролетных строениях любых статических систем от любых нагрузок, в том числе и перспективных нагрузок РВСН. Результаты расчета сравниваются с истинными значениями допустимых силовых факторов без запасов и возможных неточностей расчета, допущенных при проектировании.

Далее рассмотрим решение этой задачи для четвертого случая эксплуатационного состояния экспериментально-аналитическим методом.

Суть метода заключается в определении параметров напряженно-деформированного состояния несущих элементов мостовых конструкций по аналитическим зависимостям, с учетом их реального эксплуатационного состояния, на основе экспериментально полученного угла поворота опорного сечения пролетного строения и сравнения их с допустимыми показателями.

$$N_{\text{доп}}^{i(1-K)} \geq N_{\text{экспер}}^{i(1-K)},$$

где $N_{\text{доп}}^{i(1-K)}$ — допустимые напряжения, перерезывающие силы и прогибы соответствующие достижению предельного состояния первой и второй группы в элементе K ;

$N_{\text{экспер}}^{i(1-K)}$ — напряжения, перерезывающие силы и прогибы, в элементе K от пробной нагрузки (приведенной к нагрузке РВСН).

Для реализации этого метода разработана методика экспресс-оценки технического состоя-

ния автодорожных мостов по безотказности при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН через водные преграды. Методика позволяет проводить оценку технического состояния постоянных автодорожных балочных мостов разрезной и неразрезной системы, из дерева, металла, сталежелезобетона, железобетона с напрягаемой и ненапрягаемой арматурой, с учетом их фактического эксплуатационного состояния по первому и второму предельным состояниям.

В отличие от существующих подходов, методика позволяет расширить пределы применимости при прогнозной оценке технического состояния автодорожных мостов по безотказности при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН через водные преграды и обеспечить минимальные затраты времени с требуемым уровнем надежности при обеспечении маневренных действий РВСН.

Оценка технического состояния мостового сооружения по безотказности осуществляется путем статического нагружения проверяемого пролетного строения пробной подвижной нагрузкой.

Способ быстрого определения возможности пропуска сверхтяжелых транспортных средств по автодорожным балочным мостам, с учетом их фактического эксплуатационного состояния [15], реализованный в методике, позволил разработать два варианта программы.

Вариант программы № 1 [16]. С использованием макета тяжеловесного транспортного средства с его реальными полной массой и распределением её по осям той же колесной формулы.

На каждом шаге движения макета реальной нагрузки определяется угол поворота опорного сечения от его воздействия, по которому вычисляется прогиб в середине пролета и сравнивается с допустимым по [12].

В зависимости от расположения нагрузки на пролетном строении определяется площадь линии влияния изгибающего момента в середине пролета под погонной равномерно-распределённой нагрузкой от макета, вычисляется изгибающий момент и поперечная сила на каждом шаге движения макета.

Также вычисляются максимальные значения изгибающего момента и поперечной силы от собственного веса пролетного строения.

Затем от совместного действия макета и собственного веса пролетного строения вычисляют-

ся напряжения в кромках балок пролетного строения и производится их сравнение с возможными их значениями.

Расчётные сопротивления материала пролетного строения определяются по [12]. Допустимые значения поперечной силы для железобетонных пролетных строений определяются по [3].

Если условия прочности по первому и второму предельному состоянию не выполняются на любом шаге движения макета, то подается команда на его остановку.

Вариант программы № 2 [17]. С использованием эталона транспортного средства существенно меньшей массы и иной колесной формулы с базой менее 6 м.

Отличие в расчете в этом варианте программы от первого варианта заключается в том, что измерение углов поворота опорного сечения и последующий расчет жесткости пролетного строения, с учетом его фактического эксплуатационного состояния, выполняется только один раз при установке эталона транспортного средства в самое невыгодное положение. А проверка условий прочности выполняется аналитически только от воздействия реального тяжеловесного транспортного средства.

Разработанные программы будут использованы в составе модернизированного измерительного комплекса ИК-АМ [18] разрабатываемого на основе системы измерений СИ-ППМ [19] с добавлением новых компонентов.

Вывод

Для экспресс-оценки технического состояния автодорожных мостов по безотказности при пропуске сверхтяжелых нагрузок РВСН через водные преграды определены два метода:

– метод сопоставления усилий позволяет оперативно оценить возможность использования автодорожных мостов без повреждений для пропуска современных и перспективных сверхтяжелых нагрузок РВСН;

– экспериментально-аналитический метод позволяет определить техническое состояние по безотказности балочных автодорожных мостов разных статических систем, из различных материалов, с учетом их фактического эксплуатационного состояния.

Литература

1. Романов Д.А., Корныльев Е.Н. Особенности пропуска сверхнормативной тяжеловесной нагрузки по автодорожным мостам Северо-Западного региона России // Актуальные проблемы безопасности дорожного движения: Материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 04–06 апреля 2018 года. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. 2018. С. 12–16.

2. Аверченко Г.А., Кирьян И.В. Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам // StudNet. 2020. Т. 3. № 2. С. 392–401.

3. ОДМ 218.3.014-2011. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. — М.: РОСАВТОДОР. 2011. 55 с.

4. Белый А.А., Андрушко С.Б. Пути повышения надежности эксплуатации железобетонных мостов для пропуска сверхнормативной нагрузки // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2018. Т. 15. № 1. С. 17–29.

5. Целыковских А.А., Мячин В.Н., Белый А.А. Проблема оценки надежности мостов на военно-автомобильных дорогах // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2021. № 1–2 (151–152). С. 12–17.

6. Андрушко С.Б., Золотарев А.В. Теоретические основы обеспечения надежности пропуска сверхнормативной нагрузки по железобетонным мостам // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева. 2017. № 4 (12). С. 110–118.

7. Васильев А.И. Основы теории надежности мостов: Учебное пособие. — Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). 2021. 96 с.

8. Васильев А.И. Мониторинг технического состояния мостовых сооружений: Учебное пособие. — Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). 2021. 120 с.

9. Боровиков А.Г., Картопольцев В.М. Оценка грузоподъемности сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов //

Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. № 4 (41). С. 273–279.

10. Яшнов А.Н., Снежков И.И. Развитие систем диагностики и мониторинга // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3 (54). С. 6–13.

11. Яшнов А.Н., Снежков И.И. Опыт диагностики искусственных сооружений методом малых воздействий // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 3. 21 с.

12. Свод правил СП35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03.84. — М.: Министерство Регионального развития Российской Федерации. 2011. 341 с.

13. Саламахин П.М., Часовников А.Д. О возможности безопасного пропуска транспортных средств по мостам // Наука и техника в дорожной отрасли. 2021. № 1. С. 24–27.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021615072 Российская Федерация. Программа сравнения изгибающих моментов в пролетных строениях автодорожных мостов от проектных нагрузок и сверхтяжелых нагрузок РВСН: программа для ЭВМ / Е.А. Луговцев (RU), В.П. Герасименя (RU), Е.И. Попов (RU); заявитель и правообладатель Е.А. Луговцев (RU). — 2021615072; заявл. 26.03.2021; опубл. 02.04.21.

15. Саламахин П.М., Луговцев Е.А. Способ быстрого определения возможности пропуска сверхтяжелых транспортных средств по автодорожным балочным мостам. Наука и техника в дорожной отрасли. 2020. № 3. С. 28–31.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619487 Российская Федерация. Имитационная модель определения возможности безотказного пропуска сверхтяжелого транспортного средства по автодорожным мостовым сооружениям с использованием его грузомакета: программа для ЭВМ / В.П. Герасименя (RU), П.М. Саламахин (RU) и др.; заявитель и правообладатель Е.А. Луговцев (RU). — 2021619487; заявл. 04.06.2021; опубл. 10.06.21.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619488 Российская Федерация. Аналитическая модель определения возможности безотказного пропуска сверхтяжелого транспортного сред-

ства по автодорожным мостовым сооружениям с использованием эталона с базой менее 6 м: программа для ЭВМ / В.П. Герасименя (RU), П.М. Саламахин (RU) и др.; заявитель и правообладатель Е.А. Луговцев (RU). — 2021619488; заявл. 04.06.2021; опубл. 10.06.21.

18. Саламахин П.М., Луговцев Е.А. Обоснование необходимости и способа модернизации программного обеспечения измерительного комплекса для оценки грузоподъемности балочных пролетных строений автодорожных мостов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. Т. 16. № 1. 2020. С. 5–13.

19. Луговцев Е.А., Ерофеев М.Н. Опыт применения измерительного комплекса «Система измерений для проверки постоянных мостов» для определения возможности пропуска сверхтяжелых нагрузок. Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2019. № 3. <https://t-s.today/PDF/19SATS319.pdf>

References

1. Romanov D.A., Kornyliev E.N. Features of passing an excess heavy load on road bridges in the North-Western region of Russia // Actual problems of road safety: Materials of the 71st All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists, St. Petersburg, April 04–06, 2018. — Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. 2018. P. 12–16.

2. Averchenko G.A., Kiryan I.V. Choosing a route and skipping excess loads on road bridges // StudNet. 2020. Vol. 3. № 2. P. 392–401.

3. ODM 218.3.014-2011. Methodology for assessing the technical condition of bridge structures on highways. — М.: ROSAVTODOR. 2011. 55 p.

4. Bely A.A., Andrushko S.B. Ways to improve the reliability of operation of reinforced concrete bridges for passing excess load // Izvestiya Peterburgskogo universiteta of Railway Communications. 2018. Vol. 15. № 1. P. 17–29.

5. Tselykovskikh A.A., Myachin V.N., Bely A.A. The problem of assessing the reliability of bridges on military highways // Military Enginery. Issue 16. Counter-terrorism technical devices. 2021. № 1–2(151–152). P. 12–17.

6. Andrushko S.B., Zolotarev A.V. Theoretical foundations for ensuring the reliability of passing

excess load on reinforced concrete bridges // Bulletin of the Military Academy of Logistics named after A.V. Khrulev. 2017. № 4 (12). P. 110–118.

7. Vasiliev A.I. Fundamentals of the theory of bridge reliability: A textbook. — Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). 2021. 96 p.

8. Vasiliev A.I. Monitoring of the technical condition of bridge structures: A textbook. — Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). 2021. 120 p.

9. Borovikov A.G., Kartopoltsev V.M. Evaluation of the load capacity of steel-reinforced concrete superstructures of road bridges // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2013. № 4 (41). P. 273–279.

10. Yashnov A.N., Snezhkov I.I. Development of diagnostic and monitoring systems // Bulletin of the Siberian State University of Railway Transport. 2020. № 3 (54). P. 6–13.

11. Yashnov A.N., Snezhkov I.I. Experience of diagnostics of artificial structures by the method of small impacts // Transport structures. 2019. Vol. 6. № 3. 21 p.

12. Code of rules SP35. 13330. 2011. Bridges and pipes. Updated version of SNiP 2.05.03.84. — Moscow: Ministry of Regional Development of the Russian Federation. 2011. 341 p.

13. Salamakhin P.M., Chasovnikov A.D. On the possibility of safe passage of vehicles on bridges // Science and technology in the road industry. 2021. № 1. P. 24–27.

14. Certificate of state registration of a computer program № 2021615072 Russian Federation. Program for comparing bending moments in the superstructures of road bridges from design loads and superheavy loads of the RVSN: computer program / V.P. Gerasimenya (RU), E.I. Popov (RU)

at al; applicant and copyright holder E.A. Lugovtsev (RU). — 2021615072; application 26.03.2021; publ. 02.04.21.

15. Salamakhin P.M., Lugovtsev E.A. A method for quickly determining the possibility of passing super-heavy vehicles on road girder bridges. Science and technology in the road industry. 2020. № 3. P. 28–31.

16. Certificate of state registration of a computer program № 2021619487 Russian Federation. Simulation model for determining the possibility of trouble-free passage of a super-heavy vehicle on road bridge structures using its cargo package: computer program / V.P. Gerasimenya (RU), P.M. Salamakhin (RU) at al; applicant and copyright holder E.A. Lugovtsev (RU). — 2021619487; application 04.06.2021; publ. 10.06.21.

17. Certificate of state registration of a computer program № 2021619488 Russian Federation. Analytical model for determining the possibility of trouble-free passage of a super-heavy vehicle over road bridge structures using a standard with a base of less than 6 m: computer program / V.P. Gerasimenya (RU), P.M. Salamakhin (RU) at al; applicant and copyright holder E.A. Lugovtsev (RU). — 2021619488; application 04.06.2021; publ. 10.06.21.

18. Salamakhin P.M., Lugovtsov A.E. Rationale and method of upgrading the software of the measuring system to evaluate the capacity girder superstructures of road bridges // structural mechanics of engineering constructions and buildings that 16. 2020. № 1. P. 5–13.

19. Lugovtsov A.E., Erofeev M.N. Experience of application of the measuring complex «System of measurement for verification of permanent bridges» to determine whether a pass heavy loads. Online magazine «Transport structures». 2019. № 3. <https://t-s.today/PDF/19SATS319.pdf>