

Математическое и компьютерное моделирование

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.942

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МОСТОУКЛАДЧИКОВ

Артем Викторович Краморов¹, Виталий Владимирович Соседко^{2✉},
Анна Генриховна Янишевская³, Александр Олегович Звонов⁴

¹ Омский завод транспортного машиностроения, г. Омск, Россия

^{2, 3, 4} Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

¹artem.kramorov@mail.ru

²vvs1976@yandex.ru, 0000-0001-9173-535X

³anna-yanish@mail.ru, 0000-0002-6191-8769

⁴13rock@bk.ru

Аннотация. Проведен обзор такого типа инженерных машин как мостоукладчики. Проанализированы методы их работы и формализация процессов их проектирования. Исследования выполнены на примере существующих мостоукладчиков, с целью разработки нового программного обеспечения для автоматизации и оптимизации процессов проектирования элементов их конструкций. Разработан алгоритм проектирования элементов конструкции мостоукладчика – определение максимально допустимой массы и длины моста. По описанному алгоритму выполняется разработка математической модели процесса проектирования элементов конструкции мостоукладчиков, реализующую алгоритм в виде программы расчета элементов конструкции мостоукладчика. В результате выполнения и последующего внедрения программы, разработчики будут обеспечены надежным и эффективным инструментом, обеспечивающим повышение качества и сокращение времени, необходимого на проведение расчетов в выполняемых проектах. Унификация в части типовых операций и деталей конструкций обеспечит снижение стоимости изготовления мостоукладчиков. Цель исследования состоит в формализации процессов проектирования мостоукладчиков по результатам анализа конструкций мостоукладчиков и принципов их работы. Задача состоит в автоматизации проектирования элементов конструкции мостоукладчиков. Методы исследования: анализ и синтез математических моделей изделий. Новизна работы заключается в построении математической модели мостоукладчика, а также разработке алгоритма и реализации его компьютерного моделирования. Результатами исследования являются алгоритм и математическая модель мостоукладчика.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, алгоритм, мостоукладчик

Для цитирования: Краморов А.В., Соседко В.В., Янишевская А.Г., Звонов А.О. Применение компьютерного моделирования в процессе проектирования элементов конструкции мостоукладчиков // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 28-35. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35.

Original article

Open Access Article

APPLYING COMPUTER SIMULATION IN THE PROCESS OF DESIGNING STRUCTURAL ELEMENTS OF BRIDGELAYERS

Artem V. Kramorov¹, Vitaly V. Sosedko^{2✉}, Anna G. Yanishevskaya³, Alexander O. Zvonov⁴

¹ Omsk Transport Machine Plant, Omsk, Russia

^{2, 3, 4} Omsk State Technical University, Omsk, Russia

¹artem.kramorov@mail.ru

²vvs1976@yandex.ru, 0000-0001-9173-535X

³anna-yanish@mail.ru, 0000-0002-6191-8769

⁴13rock@bk.ru

Abstract. *The article presents a review of such engineering machines as bridgelayers. The paper analyses their operating methods and design process formalization. The authors use the existing bridgelayers as an example, with the aim of developing new software for automating and optimizing the design processes for their structural elements. The authors develop an algorithm for designing bridgelayer structural elements, determine the maximum permissible weight and length of the bridge. According to the described algorithm, the paper develops a mathematical model of the design process for the bridgelayer structural elements, implementing the algorithm in the form of a program for calculating the bridgelayer structural elements. Because of the execution and subsequent implementation of the program, developers will have a reliable and effective tool that improves the quality and reduces the time required to perform calculations in the projects being performed. Unification in terms of typical operations and structural details will reduce the cost of manufacturing bridgelayers. The aim of the study is to formalize the design processes for bridgelayers based on the results of analyzing bridgelayer designs and their operating principles. The task is to automate the design of the bridgelayer structural elements. The authors use such research methods as analysing and synthesising mathematical models of products. The novelty of the work lies in constructing a mathematical model of a bridgelayer, as well as in developing an algorithm and implementing its computer simulation. The results of the study are an algorithm and a mathematical model of a bridgelayer.*

Keywords: computer simulation, algorithm, bridgelayer

For citation: Kramorov A.V., Sosedko V.V., Yanishevskaya A.G., Zvonov A.O. Applying Computer Simulation in the Process of Designing Structural Elements of Bridgelayers. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 28-35. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35.

Введение

Актуальность темы статьи определяется необходимостью интенсивного развития отечественной машиностроительной отрасли, в частности специальных инженерных машин. При этом следует повысить удобство и степень автоматизации их разработки, в частности выбор начальных параметров проектируемой техники. Для этого требуется широкое применение современных методов проектирования. Правильный выбор параметров разрабатываемых машин на ранних стадиях проектирования позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на поиск и выбор нужного решения, и уменьшить стоимость готового изделия.

Постановка задачи

В современных условиях для осуществления оперативного передвижения людей и техники по пересеченной местности необходимы оперативная подготовка путей движения, а также оборудование переправ на водных преградах, в том числе строительство мостов. Для выполнения каждой из перечисленных задач разработаны и действуют специальные машины.

Так, для подготовки дорог предназначены инженерные машины разграждения, выполняющие инженерные работы для обеспечения передвижения людей, оборудования колонных путей, проходов в каменных и лесных завалах, а также земляные и погрузочно-разгрузочные работы. Также инженерные машины представлены оборудованием для оперативного развёртывания временного дорожного полотна.

Для оперативного преодоления водных преград имеются инженерные машины, возводящие мостовые и паромные переправы, а также работающие как паромы.

Для наведения мостов через речные преграды предназначены мостоукладчики. Они разделяются на механизированные мосты и мостоукладчики [1]. К первым относятся такие устройства, как тяжелые механизированные мосты, позволяющие построить мост длиной порядка ста метров или мостовые механизированные комплексы, ко вторым – мостоукладчики.

В мировой практике машиностроения существуют различные способы укладки мостовых блоков. Этими вопросами успешно занимались в том числе сотрудники АО «Омсктрансмаш» [2 – 4]. В данных работах описаны конструкции моста, оборудования и мостоукладчика, но никак не затронута тема выполнения разработки, проектирования, а точнее специализированных систем автоматизированного проектирования элементов конструкции мостоукладчиков.

Анализ перечисленных образцов данного вида техники позволяет представить общий принцип их работы по укладке моста [5 – 7], заключающийся в размещении моста в транспортном положении в точку укладки, раскрытии секций моста, выдвигании моста и опускании моста на грунт. В указанных работах была разработана 3D-модель, проведены кинематический анализ и инженерные расчеты.

Комплексный анализ и учет результатов кинематического и прочностного анализа узлов и механизмов укладки моста дает возможность производителям оценить функциональные особенности, а также разрабатывать более эффективные механизмы. В результате применения компьютерных систем можно с высокой точностью рассчитывать реальное динамическое поведение конструкции, что помогает выбрать оптимальный вариант без изготовления прототипов и прохождения испытаний. Научная новизна работы заключается в построении математической модели мостоукладчика, а также разработке алгоритма и реализации его компьютерного моделирования.

Решение задачи

Был разработан, а также формализован алгоритм для проектирования элементов конструкции мостоукладчика, в том числе определения максимально допустимой массы и длины моста. Схема алгоритма представлена на рис. 1.

В данном алгоритме учтены характеристики ходовой части мостоукладчика, механизма укладки моста, узла передней опоры. Кроме того, разработана схема для проектирования мостоукладчиков, имеющих телескопический механизм укладки моста. Данный тип механизма представляется наиболее перспективным механизмом для проектирования мостоукладчиков с мостами увеличенных габаритов в связи с его компактностью в транспортном положении, и способностью воспринимать значительную нагрузку при наводке моста на препятствие.

Подробно элементы конструкции описаны в патенте [8].

В данной работе особое внимание уделено добавлению дополнительного опорного катка в конструкции, позволяющего сделать мостоукладчик более устойчивым к нагрузкам от выдвигаемой мостовой конструкции.

Описание алгоритма

В соответствии с предлагаемым алгоритмом, проектирование производится в следующей последовательности.

1. Начало работы по проектированию предполагает ввод исходных данных: массы шасси, массы поворотной и выдвижной рам, массы моста и массы передней опоры.
2. Производится ввод координат узловых точек: шасси мостоукладчика, поворотной рамы и крепления поворотной рамы к шасси.
3. Выполняется ввод номера точки крепления гидроцилиндра поворотной рамы к шасси и крепления гидроцилиндра поворотной рамы непосредственно к поворотной раме.
4. Выполняется ввод длины гидроцилиндра поворотной рамы.
5. Производится вычисление угла поворота рамы поворотной относительно шасси и вычисление координат поворотной рамы в системе шасси по формулам:

$$\alpha_{pp} := \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - \frac{\pi}{2};$$

$$\alpha_1 := a \cos \left(\frac{a_{w34}^2 + a_{pp1}^2 - l_{ГЦpp}^2}{2 \cdot a_{ш34} \cdot a_{pp1}} \right);$$

$$\alpha_2 := a \sin \left(\frac{\text{Ш}_{n_{ppш},0} - \text{Ш}_{n_{ГЦppш},0}}{a_{ш34}} \right);$$

$$\alpha_3 := a \sin \left(\frac{\text{РП}_{n_{ГЦpp},1}}{a_{pp1}} \right),$$

где α_{pp} – угол поворота системы координат рамы поворотной относительно системы координат шасси; a_{w34} – расстояние между точками крепления рамы поворотной и гидроцилиндрами рамы поворотной к шасси; a_{pp1} – расстояние между точками крепления рамы поворотной к шасси и гидроцилиндрами к раме поворотной; $l_{ГЦpp}$ – длина гидроцилиндра рамы поворотной; $\text{Ш}_{n_{ppш},0}$ – координаты узловой точки крепления рамы поворотной в системе шасси мостоукладчика; $\text{Ш}_{n_{ГЦppш},0}$ – координаты узловой точки крепления гидроцилиндра рамы поворотной в системе шасси мостоукладчика; $\text{РП}_{n_{ГЦpp},1}$ – координаты рамы поворотной точки крепления гидроцилиндра рамы поворотной в системе рамы поворотной.



Рис. 1. Алгоритм проектирования элементов конструкции мостоукладчика
 Fig. 1. The algorithm for designing the structural elements of the bridge

6. Выполняется ввод координат выдвижной рамы.

7. Вводится номер точки крепления выдвижной рамы, ввод выдвижной рамы (на значения от 0 до 4 м).

8. Вычисляются координаты выдвижной рамы в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{рврп}; \\ РВ_{ш_{i,0}} &:= РВ_{рп_{i,0}} \cdot \cos(\alpha_{рп}) + РВ_{рп_{i,1}} \cdot \sin(\alpha_{рп}) + Ш_{n_{рпш},0}; \\ РВ_{ш_{i,1}} &:= -РВ_{рп_{i,0}} \cdot \sin(\alpha_{рп}) + РВ_{рп_{i,1}} \cdot \cos(\alpha_{рп}) + Ш_{n_{рпш},1}. \end{aligned}$$

9. Вводятся координаты моста, ввод данных о расстоянии, на которое выдвинут мост. После этого производится вычисление координат моста в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{отоп} - 2; \\ МШ_{0_{i,0}} &:= М_{ш_{i,0}} - ОП_{ш_{n_{отоп},0}}; \\ МШ_{0_{i,1}} &:= М_{ш_{i,1}} - ОП_{ш_{n_{отоп},1}}, \end{aligned}$$

затем вводятся координаты передней опоры.

10. Вводится номер точки крепления гидроцилиндра передней опоры к шасси, крепления передней опоры к шасси и крепления гидроцилиндра к передней опоре.

11. Выполняется ввод длины гидроцилиндра передней опоры, вычисляются угол наклона системы координат передней опоры относительно системы координат шасси:

$$\begin{aligned} \alpha_{оп1} &:= a \sin\left(\frac{Ш_{n_{опш},0} - Ш_{n_{гцопш},0}}{a_{ш12}}\right); \\ \alpha_{оп2} &:= a \cos\left(\frac{a_{ш12}^2 + a_{оп1}^2 - l_{гпо}^2}{2 \cdot a_{ш12} \cdot a_{оп1}}\right); \\ \alpha_{оп} &:= \frac{\pi}{2} + \alpha_{оп1} - \alpha_{оп2}, \end{aligned}$$

и координаты передней опоры в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{опш} + 1; \\ ОП_{ш_{i,0}} &:= ОП_{i,0} \cdot \cos(\alpha_{оп}) - ОП_{i,1} \cdot \sin(\alpha_{оп}) + Ш_{n_{опш},0}; \\ ОП_{ш_{i,1}} &:= ОП_{i,0} \cdot \sin(\alpha_{оп}) + ОП_{i,1} \cdot \cos(\alpha_{оп}) + Ш_{n_{опш},1}; \end{aligned}$$

12. Вводится номер точки передней опоры, и вычисляются координаты:
– шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{отоп} + 2; \\ Ш_{0_{i,0}} &:= Ш_{i,0} - ОП_{ш_{n_{отоп},0}}; \\ Ш_{0_{i,1}} &:= Ш_{i,1} - ОП_{ш_{n_{отоп},1}}; \end{aligned}$$

– поворотной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{отоп} + 1; \\ РПШ_{0_{i,0}} &:= РП_{ш_{i,0}} - ОП_{ш_{n_{отоп},0}}; \\ РПШ_{0_{i,1}} &:= РП_{ш_{i,1}} - ОП_{ш_{n_{отоп},1}}; \end{aligned}$$

– выдвижной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{отоп}; \\ РВШ_{0_{i,0}} &:= РВ_{ш_{i,0}} - ОП_{ш_{n_{отоп},0}}; \\ РВШ_{0_{i,1}} &:= РВ_{ш_{i,1}} - ОП_{ш_{n_{отоп},1}}; \end{aligned}$$

– моста:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{отоп} - 2; \\ МШ_{0_{i,0}} &:= М_{ш_{i,0}} - ОП_{ш_{n_{отоп},0}}; \\ МШ_{0_{i,1}} &:= М_{ш_{i,1}} - ОП_{ш_{n_{отоп},1}}; \end{aligned}$$

– передней опоры:

$$i := 0..n_{отоп};$$

$$\begin{aligned} \text{ОПШ}_{0i,0} &:= \text{ОП}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{\text{нотоп},0}}; \\ \text{ОПШ}_{0i,1} &:= \text{ОП}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{\text{нотоп},1}}, \end{aligned}$$

(в системе координат точки опоры).

13. Выполняется вычисление опрокидывающего и восстанавливающего момента:

$$M_{\text{опр}} := g \cdot M_{\text{м}} \cdot \text{МШ}_{0n_{i,0},0};$$

$$M_{\text{восст}} := - \left(M_{\text{ш0}} \cdot \text{Ш}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{рп}} \cdot \text{РПШ}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{рв}} \cdot \text{РВШ}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{оп}} \cdot \text{ОПШ}_{0n_{ш0},0} \right) \cdot g,$$

вычисление угла дифферента шасси и вычисление координат:

– шасси:

$$\begin{aligned} \text{Ш}_0 &:= \text{Ш}_0^T; \\ i &:= 0..4; \\ \text{Ш}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{Ш}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{Ш}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{Ш}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{Ш}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{Ш}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– поворотной рамы:

$$\begin{aligned} \text{РПШ}_0 &:= \text{РПШ}_0^T; \\ i &:= 0..3; \\ \text{РП}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{РПШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{РПШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{РП}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{РПШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{РПШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– выдвижной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..2; \\ \text{РВ}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{РВШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{РВШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{РВ}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{РВШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{РВШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– моста:

$$\begin{aligned} i &:= 0..0; \\ M_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{МШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{МШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ M_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{МШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{МШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– передней опоры:

$$\begin{aligned} i &:= 0..2; \\ \text{ОП}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{ОПШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{ОПШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{ОП}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{ОПШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{ОПШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

в системе координат поверхности.

14. Вводятся координаты осей торсионов в системе шасси, и происходит вычисление координат торсионов в системе опоры:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{тш}} + 5; \\ \text{ТО}_{0i,0} &:= O_{0,0} - T_{\text{ш}_{i,0}}; \\ \text{ТО}_{0i,1} &:= T_{\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}. \end{aligned}$$

15. Выполняется ввод исходных данных: длины балансира, диаметра опорного катка, диаметра и длины торсиона, высоты трака гусеницы и деформации шины опорного катка.

16. Вводятся выставки балансиров опорных катков, и производится вычисление координат опорных катков в выставочном положении в системе координат передней опоры:

$$\begin{aligned} \text{ОК}_{0i,0} &:= (O_{0,0} - \text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,0}}) \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) - (\text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}) \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{ОК}_{0i,1} &:= (O_{0,0} - \text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,0}}) \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + (\text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}) \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}). \end{aligned}$$

17. Вычисляются:

– углы закрутки торсиона:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{т}_{i,0}} &:= \gamma_{0\text{б}0i,0} - \gamma_{\text{б}0i,1}; \\ \gamma_{\text{б}0i,1} &:= a \sin \left(\frac{l_6 \cdot \sin(\gamma_{0\text{б}0i,0}) - h_{\text{ок}0i,1}}{l_6} \right); \end{aligned}$$

– выставка балансиров опорных катков после закрутки торсионов:

$$h_{об1_{i,0}} := l_6 \cdot \sin(\gamma_{60_{i,1}});$$

– реакции, действующие на балансиры от опорных катков:

$$R_{к_{i,0}} := \frac{M_{Т_{i,0}}}{l_6 \cdot \cos(\gamma_{60_{i,1}})};$$

– координаты осей опорных катков в системе координат передней опоры:

$$OK_{0_{i,0}} := T_{ш_{i,0}} - l_6 \cdot \cos(\gamma_{60_{i,1}});$$

$$OK_{0_{i,1}} := T_{ш_{i,1}} - h_{об1_{i,0}};$$

Таким образом, в результате расчета конструктор получает все параметры кинематики мостоукладчика.

Заключение

Описанный алгоритм позволяет автоматизировать расчеты параметров конструкции мостоукладчиков, для чего в настоящее время разрабатывается программная реализация алгоритма. В результате ее разработки и последующего внедрения специалисты будут обеспечены надежным и эффективным инструментом, обеспечивающим повышение надежности и сокращение времени, необходимого на проведение расчетов в выполняемых проектах. Описанные преимущества улучшают качество проектируемого оборудования в целом. Кроме того, унификация, состоящая в использовании типовых операций и элементов конструкций, существенно снизит стоимость изготовления мостоукладчиков.

Список источников:

1. Названы отличия военных переправ НАТО и России - Hi-Tech <https://hi-tech.mail.ru/review/60484-dostat-mosty-kak-voyska-forsiruyut-reki-esli-vse-perepravu-unichtozheny/#anchor488156>

2. Тяжелый штурмовой мост: пат. 36114 Рос. Федерация: МПК E01D 15/12 / Апарин А.Ф., Беляков В.Ф., Вандяев И.М., Жуков А.И., Захаров В.А., Киткин В.В., Мишин В.И., Хиневич Г.А., Шумаков И. К., Шаповалов В. В., владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2003129341/20, заявл. 10.06.03; опублик. 27.04.04.

3. Комплект съемного оборудования для погрузки штурмового колейного моста на железнодорожную платформу: пат. 2 415 222 Рос. Федерация: / Беляев В.В., Дрожжин А.В., Киткин В.В., Тропников М.А. владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2009144830/03, заявл. 12.02.09; опублик. 27.03.11.

4. Мостоукладчик: пат. 2 102 556 Рос. Федерация: / Еременко Б.И., Кокорев И.М., Куракин Б.М., Малышев В.А., Одинцов Г.А., Попов Н.Л., Хиневич Г.А., Яковлев И.С. владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 96107456/03, заявл. 18.04.96; опублик. 20.01.98.

5. Национальная научно-техническая конференция. Мостоукладчик МТУ-2020. Краморов А.В., АО «Омсктрансмаш» <https://nntk-smr.ru/archive/400/>

6. Краморов А.В., Янишевская А.Г. Использование компьютерного моделирования при проектировании новых изделий // Динамика систем, механизмов и машин. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 44-49.

References:

1. The Differences Between NATO and Russian Military Crossings are Named – Hi-Tech [Internet]. Available from: <https://hi-tech.mail.ru/review/60484-dostat-mosty-kak-voyska-forsiruyut-reki-esli-vse-perepravu-unichtozheny/#anchor488156>

2. Aparin A.F., Belyakov V.F., Vandyaev I.M., Zhukov A.I., Zakharov V.A., et al. Heavy Assault Bridge. Patent RF, no. 36114; Apr 27, 2004.

3. Belyaev V.V., Drozhzhin A.V., Kitkin V.V., Tropnikov M.A. Set of Detachable Equipment to Load Arc Bridge Onto a Railway Platform. Patent RF, no. 2415222; Mar 27, 2011.

4. Eremenko B.I., Kokorev I.M., Kurakin B.M., Malyshev VA, Odintsov GA, et al. Bridge Layer. Patent RF, no. 2102556; Jan 20, 1998.

5. Kramarov A.V. Proceedings of the National Scientific and Technical Conference MTU-2020: Bridge Layer [Internet]. Omsk: JSC Omsktransmash. Available from: <https://nntk-smr.ru/archive/400/>

6. Kramarov A.V., Yanishevskaya A.G. Using Computer Simulation in Designing New Products. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. 2020;8(2):44-49.

7. Практическое применение математического пакета Mathcad при выполнении инженерных расчетов. Краморов А. В., Сборник: Информационный бюллетень Омского научно-образовательного центра ОмГТУ и ИМ СО РАН в области математики и информатики. Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», посвященной 80-летию со дня рождения академика РАН Евтушенко Ю. Г. – 2019. – С. 189-191.

8. Мостуюкладчик на шасси базового танка (варианты): пат. 35346 U1 Рос. Федерация: / Беляков В.Ф., Еремеев Г.Д., Киткин В.В., Кондратьев И.А., Мишин В.И., Шумаков И.К., Ташков А.В., Хиневич Г.А. владделец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2003125730/20, заявл. 20.08.03; опублик. 10.01.04.

Информация об авторах:

Краморов Артем Викторович

аспирант Омского государственного технического университета, Author-ID-РИНЦ: 1033946

Соседко Виталий Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского государственного технического университета, Scopus-Author ID: 57194833548, Researcher-ID-Web of Science: HLX-2618-2023, Author-ID-РИНЦ: 836278

Янишевская Анна Генриховна

Доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР», профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» Омского государственного технического университета, Scopus-Author ID: 6507814908, Researcher-ID-Web of Science: E-8875-2014, Author-ID-РИНЦ: 174651

Звонов Александр Олегович

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Информатика и вычислительная техника» Омского государственного технического университета, Author-ID-РИНЦ: 713061

7. Kramarov A.V. Practical Application of Mathcad Math Package When Performing Engineering Calculations. In: Proceedings of the 9th International Youth Scientific and Practical Conference on Applied Mathematics and Fundamental Computer Science Dedicated to the 80th Anniversary of the Birth of Academician of the Russian Academy of Sciences Yevtushenko Yu.G.; 2019 Apr 23 – Apr 30; Omsk: Information Bulletin of Omsk Scientific and Educational Centre of OmskSTU, the Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in the Field of Mathematics and Computer Science: 2019. p. 189-191.

8. Belyakov V.F., Eremeev G.D., Kitkin V.V., Kondratyev IA, Mishin VI, et al. Bridgelayer on the Chassis of a Base Tank (Variants): Patent RF, no. 35346 U1; Jan 10, 2004.

Information about the authors:

Kramorov Artem Viktorovich

Postgraduate student of Omsk State Technical University, Author-ID-RINC: 1033946

Sosedko Vitaly Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Engineering Geometry and CAD of the Omsk State Technical University, Scopus-Author ID: 57194833548, Researcher-ID-Web of Science: HLX-2618-2023, Author-ID-RSCI: 836278

Yanishevskaya Anna Genrikhovna

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Engineering Geometry and CAD, Professor at the Department of Computer Science and Engineering of Omsk State Technical University, Scopus-Author ID: 6507814908, Researcher-ID-Web of Science: E-8875-2014, Author-ID-RSCI: 174651

Zvonov Alexander Olegovich

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Engineering of Omsk State Technical University, Author-ID-RINTS: 713061

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.04.2024; одобрена после рецензирования 01.08.2024; принята к публикации 16.08.2024.

The article was submitted 16.04.2024; approved after reviewing 01.08.2024; accepted for publication 16.08.2024.

Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.