

УДК (UDC) 629.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ ВОДООТРАЖАЮЩЕГО ЩИТА
ПЛАВАЮЩЕЙ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫMODELING OF THE LOAD OF A WATER-REFLECTING SHIELD
OF A FLOATING MOBILE MACHINEТаричко В.И.¹, Шалупина П.И.¹, Емельянова Г.А.²
Tarichko V.I.¹, Shalupina.P.I.¹, Емельянова Г.А.²

1 – АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)

1 – Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)

2 – ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта» (Москва, Россия)

2 – Russian University of Transport (МИИТ) (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Плавающие мобильные машины получили широкое распространение в качестве базы для создания транспортно-технологических комплексов. Они также могут использоваться в качестве шасси базовых станций мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Одним из важнейших узлов, обеспечивающих безопасное плавание является водоотражающий щит, повышающий плавучесть и препятствующей заливу машины встречной волной. В статье рассмотрена методика моделирования и результаты расчета водоотражающего щита плавающей мобильной машины производства АО «БАЗ».

Ключевые слова: плавающая машина, водоотражающий щит, нагрузка, прочность

Дата принятия к публикации: 29.10.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторах:

Таричко Вадим Игоревич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора – главный конструктор АО «Брянский автомобильный завод», e-mail: 32.6909@mail.ru.

Шалупина Павел Игоревич – начальник конструкторского бюро расчетов и надежности АО «Брянский автомобильный завод», e-mail: p.shalupina@gmail.com.

Емельянова Галина Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры «Мосты и тоннели» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», e-mail: ga_emel@mail.ru.

Abstract. Floating mobile machines have become widespread as a base for the creation of transport and technological complexes. They can also be used as the chassis of base stations of mobile transport and reloading rope complexes. One of the most important components ensuring safe navigation is a wave-reflecting shield that increases buoyancy and prevents the car from being flooded by an oncoming wave. The article discusses the methodology of modeling and the results of calculating the water-reflecting shield of a floating mobile machine manufactured by JSC «BAZ».

Keywords: floating machine, water-reflecting shield, loading, strength.

Date of acceptance for publication: 29.10.2021
Date of publication: 25.12.2021

Authors' information:

Vadim I. Tarichko – Candidate of Technical Sciences, Deputy general director – General designer, Bryansk Automobile Plant JSC, e-mail: 32.6909@mail.ru.

Pavel I. Shalipina – Head of the Design Bureau of Calculations and Reliability, Bryansk Automobile Plant JSC, e-mail: p.shalupina@gmail.com.

Galina A. Emelianova – Doctor of Technical Sciences, Professor of bridge and tunnels department, Russian University of Transport (МИИТ), e-mail: ga_emel@mail.ru.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение

Плавающие мобильные машины различной конструкции получили широкое распространение в качестве базы для создания транспортно-технологических комплексов. Они также могут использоваться в качестве шасси базовых станций мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Что особенно важно для базовой станции, перебрасываемой на сторону, противоположную от препятствия, в качестве которого часто выступает водная преграда [1-4]. Одним из важнейших узлов, обеспечивающих безопасное плавание является водоотражающий щит, повышающий остойчивость и плавучесть,

препятствующей заливу машины встречной волной. Также в процессе эксплуатации базовой станции, оснащенной водоотражающим щитом, он играет роль дополнительной массы-противовеса, обеспечивающей повышение общей устойчивости машины против опрокидывания под действием значительных горизонтальных нагрузок от натяжения канатной системы и веса транспортируемого груза [5, 6].

Объектом исследования является водоотражающий щит, устанавливаемый на мобильную машину производства АО «Брянский автомобильный завод». Общий вид водоотражающего щита представлен на рис. 1.

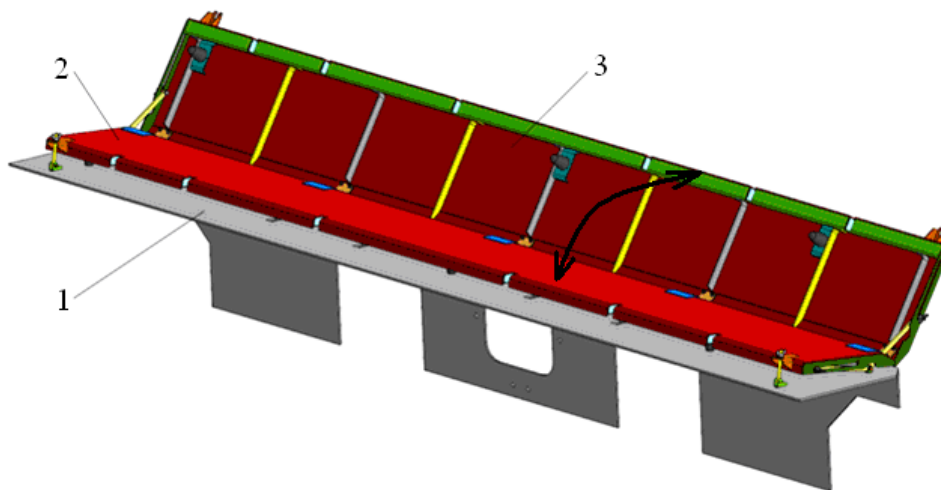


Рис. 1. Общий вид водоотражающего щита: 1 – листы кабины мобильной машины, 2 – водоотражающий щит в транспортном положении, 3 – водоотражающий щит в рабочем положении

Элементы водоотражающего щита для облегчения конструкции изготавливаются из алюминиевого сплава, кронштейны крепления – из стали 08Ю, петли – из стали 10ХСНД.

2. Расчетная нагрузка на водоотражающий щит

Согласно [7] давление воды на щит определяется по формуле:

$$p = \varepsilon \cdot v^2,$$

где ε – коэффициент сопротивления для плавающей машины; v – скорость движения машины.

В расчетах коэффициент ε принимается равным 25...50 кгс²/м⁴. При этом меньшее значение принимается для машин, имеющих удобообтекаемые формы корпуса. Для исследуемой машины $\varepsilon = 50$ кгс²/м⁴, $v = 9$ км/ч. Таким образом, давление, действующее на водоотражающий щит, равно 3066 Па.

3. Моделирование напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита

Оценка напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита проводилась на базе метода конечных элементов (МКЭ) [8-13] в нелинейной постановке.

На основе твердотельной модели (рис. 1) разработана идеализированная модель водоотражающего щита (рис. 2).

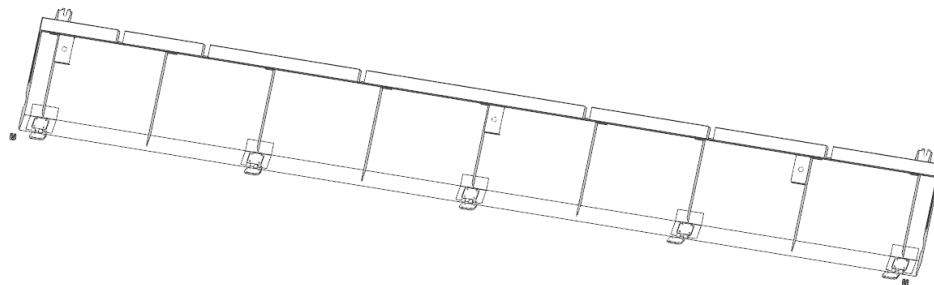


Рис. 2. Идеализированная модель водоотражающего щита

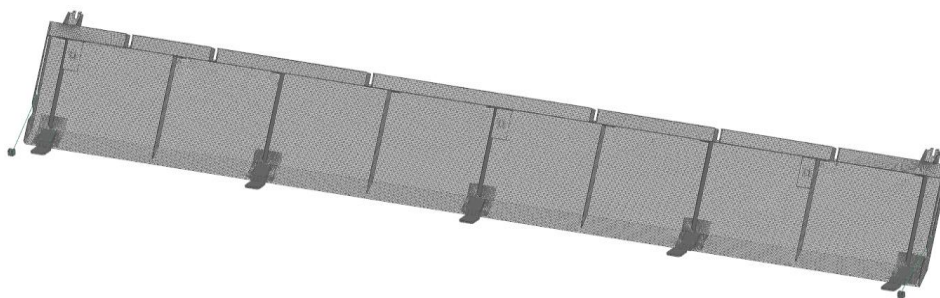


Рис. 3. Конечноэлементная модель водоотражающего щита

Оболочками моделируются листовые (тонкостенные) тела. Расположение оболочек соответствует положению срединных поверхностей листовых тел. Их геометрия аппроксимируется плоскими оболочечными 3- и 4-узловыми конечными элементами, твердых тел – объемными тетраэдральными 4-узловыми конечными элементами. Элементы крепления водоотражающего щита моделируются при помощи абсолютно жестких 1D-элементов. В конечноэлементной модели разрешено вращение петель.

Общий вид разработанной конечноэлементной модели представлен на рис. 3.

Средний размер плоских конечных элементов равен 5 мм, объемных – 3 мм. Количество узлов в конечноэлементной модели составляет 154 203, элементов – 188 626.

Листовые элементы соединены между собой посредством инструмента моделирования «сшивки», при использовании которого грани «сшиваются» между собой в единое тело по совпадающим ребрам. В дальнейшем образуется сплошная согласованная конечноэлементная сетка.

Дополнительно для передачи жесткости в некоторых частях модели применяются спе-

Все элементы в идеализированной модели представляют собой совокупность твердых и оболочечных тел.

циальные объекты моделирования типа «склейка», которые технически реализуются в виде абсолютно жестких соединений.

Также между элементами скрепление осуществляется посредством балочных элементов, имитирующих болтовое соединение. Тело болта моделируется балочным элементом, имеющим геометрические размеры и свойства материала болта, а взаимодействие шляпки или гайки с конструкцией – элементами связи, что обеспечивает корректную силовую схему в области болтового соединения.

В модели закреплены кронштейны крепления водоотражающего щита и петли, присоединяемые к кабине машины.

Нагрузки, рассчитанные в п.п. 4.1, прикладываются к поверхности водоотражающего щита, согласно рис. 4.

4. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита плавающей машины (напря-

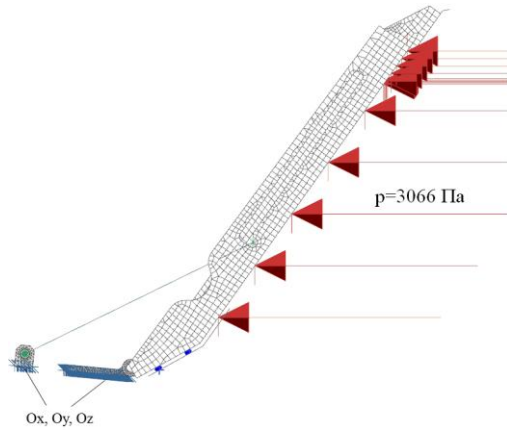


Рис. 4. Приложенные нагрузки и закрепления

жения и деформации) приведены на рис. 5–7.

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита при преодолении водных

преград при скорости движения 9 км/ч и высоте волны 500 мм сведены в таблицу.

Таблица
 Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния и их оценка

Элемент / локализация	Максимальные напряжения, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Коэффициент запаса прочности по σ_T	Максимальные перемещения, мм
Листовые тела	94,35	112	2,01	11,224
Петли	296,451	325	1,31	–

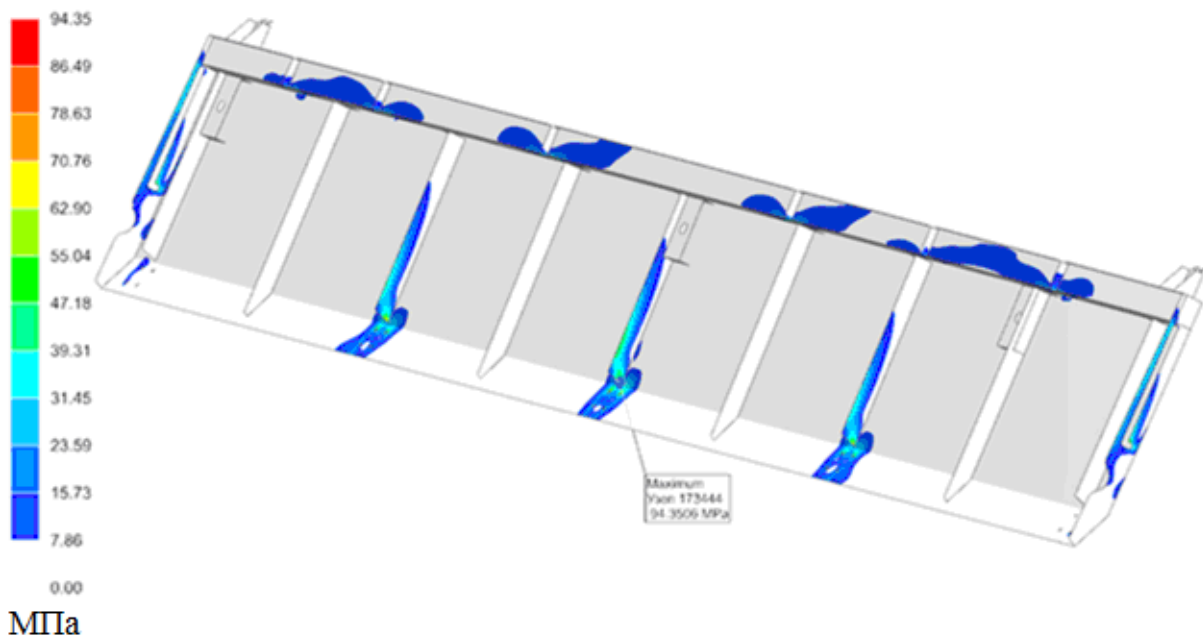


Рис. 5. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита: картина напряжений в листовых телах, МПа

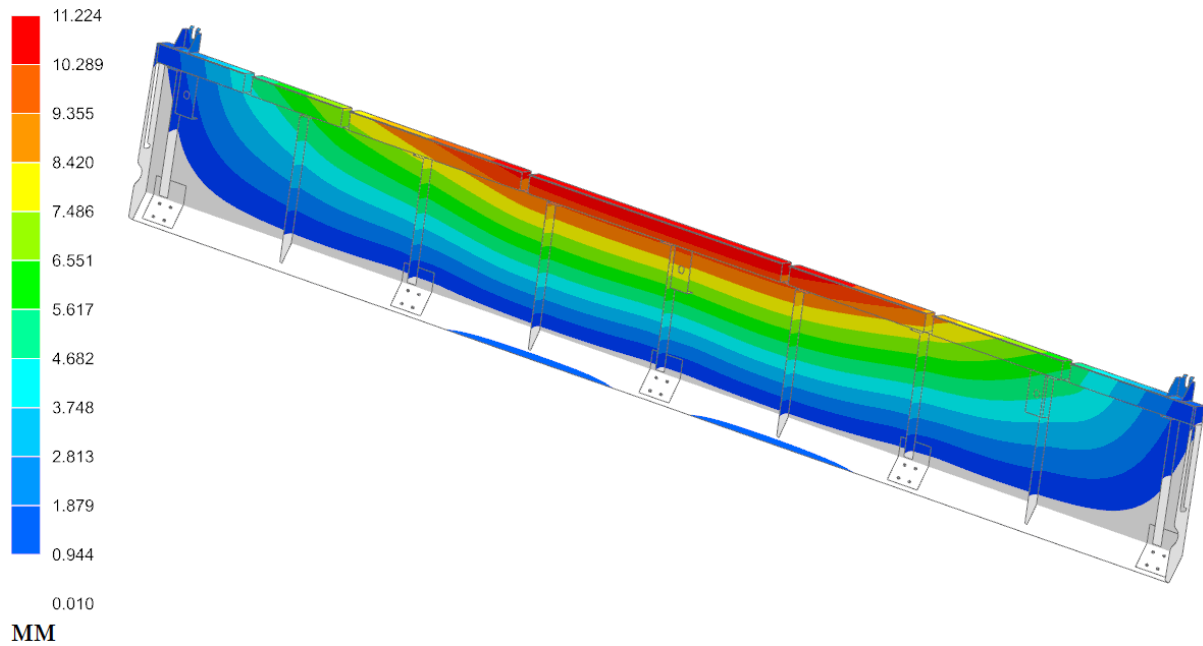


Рис. 6. Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния водоотражающего щита: картина перемещений вдоль вертикальной оси при вывешенном положении изделия без уклона и ветра, мм

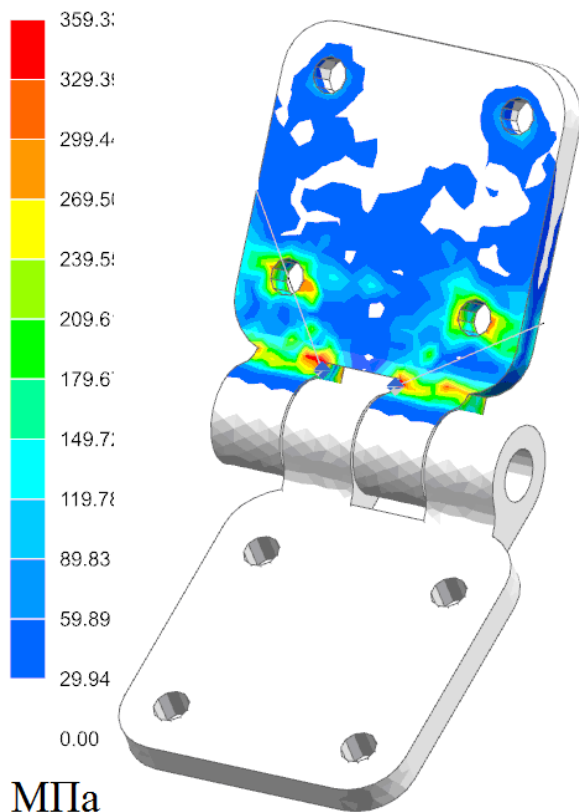


Рис. 7. Картина напряжений в объемных телах (элементах крепления), МПа

4. Основные результаты и выводы

1. Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что коэффициент запаса прочности в алюминиевых деталях составляет 2,01, а в стальных деталях – 1,31, что удовлетворяет условию прочности.

2. Максимальные перемещения в конструкции составляют 11,224 мм.

Для повышения точности результатов моделирования в ходе дальнейших исследований будут использоваться методы численного моделирования гидродинамики.

Список литературы

1. Лагереv И.А., Таричко В.И., Солдатченков С.П., Игнатов Д.А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 221-230. DOI:10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230

2. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Компонировка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

3. Таричко В.И., Лагереv И.А. Концепция создания мобильных канатных дорог на базе колесных шасси // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 84-87.

4. Лагереv А.В., Лагереv И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с.

5. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи Б.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с.

DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132>

6. Лагереv А.В., Таричко В.И., Солдатченков С.П. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 210-220.

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-209-220>

7. Аксенов П.В., Кононович Ю.А. Плавающие колесные и гусеничные машины. Конструкция, теория и расчет. Москва: Воениздат, 1963. 269 с.

8. Вершинский А.В., Лагереv И.А., Шубин А.Н., Лагереv А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-

References

1. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P., Ignatov D.A. The experimental model creation of a mobile ropeway by 3D-printing. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 221-230. DOI:10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230 (In Russian)

2. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

3. Tarichko V.I., Lagerev I.A. The concept of creating mobile ropeways based on special wheeled chassis. *Materialy Vseross. nauchnoprakt. konf. «Innovatsionnoe razvitie podemno-transportnoy tekhniki»*, Bryansk, BGTU, 2019, pp. 84-87. (In Russian)

4. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktsii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

5. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2019. 268 p. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132> (In Russian)

6. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P. General stability of a base vehicle of a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 210-220.

DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2019-05-02-209-220> (In Russian)

7. Aksenov P.V., Kononovich Yu.A. *Plavayushie kolesnye i gusenichnye mashiny* [Floating wheeled and tracked vehicles]. Moscow, Voenizdat, 1963. 269 p. (In Russian)

транспортных машин. Брянск: РИО БГУ, 2014. 186 с. DOI:10.5281/zenodo.1202237

9. Вершинский А.В., Лагереv И.А., Шубин А.Н., Лагереv А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов. Брянск: РИО БГУ, 2015. 210 с. DOI: 10.5281/zenodo.1202240

10. Кютина, И.И. Формирование компетенций в области современных сквозных цифровых технологий у обучающихся по направлению «Реклама и связи с общественностью» / И.И. Кютина, И.А. Лагереv // Ученые записки Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 11-15.

11. Лагереv И.А. Расчеты грузоподъемных машин методом конечных элементов. Брянск: Изд-во БГТУ, 2013. 116 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202235>

12. Лагереv А.В., Мильто А.А., Лагереv И.А. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2013. №3. С. 24-31.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302038>

13. Лагереv А.В., Лагереv И.А, Мильто А.А. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики // Вестник Брянского государственного университета. 2013. №4. С. 21-27. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302198>

8. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyyi analiz metallicheskih konstruksii podemno-transportnykh maschin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p. DOI:10.5281/zenodo.1202237 (In Russian).

9. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruksii podemno-transportnykh maschin metodom konechnykh elementov* [Calculation of metal structures of lifting and transport machines by the finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p. DOI: 10.5281/zenodo.1202240 (In Russian).

10. Kiyutina I.I., Lagerev I.A. Formation of competencies in the field of modern end-to-end digital technologies for students in the direction of PR, *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 11-15. (In Russian)

11. Lagerev I.A. *Raschet gruzopodemnykh maschin metodom konechnykh elementov* [Calculations of lifting machines by the finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Technicheskiiy Universitet, 2013. 116 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202235> (In Russian)

12. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for analysing hydraulic articulating crane dynamics. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 24-31. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302038> (In Russian)

13. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for stress analysis of beam elements of articulating cranes in case of dynamic load. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 21-27.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302198> (In Russian)