

УДК 621.87

А. А. Мигров, В. В. Кучук, А. С. Хрущёв, С. В. Орлов**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММ
3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ПОДВИЖНОГО
СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Дата поступления: 21.03.2016

Решение о публикации: 19.04.2016

Цель: Продемонстрировать практическое применение технологий 3D-проектирования для модернизации подвижного состава железнодорожного транспорта. Оптимизировать конструкции трапов для погрузки-разгрузки бульдозера восстановительного поезда. **Методы:** Используются методы компьютерного моделирования, анализа данных, оптимизационного проектирования. **Результаты:** Проанализированы имеющиеся средства погрузки-разгрузки тяжёлой техники, предложена классификация этих средств, после чего с помощью средств трёхмерного моделирования спроектирована конструкция трапов для погрузки-разгрузки бульдозера восстановительного поезда с учётом рациональных критериев конструирования, в частности, минимизации массы и экономии материалов. **Практическая значимость:** Работа имеет прикладной характер, её результаты внедрены в восстановительном поезде № 3024 Дирекции аварийно-восстановительных средств Октябрьской железной дороги. В службы разработки технической документации предприятий по ремонту подвижного состава можно внедрить инновационные методики усовершенствования узлов и агрегатов.

Подвижной состав, навесные устройства, навесное оборудование, виртуальное проектирование узлов и металлоконструкций, восстановительный поезд.

Aleksandr A. Migrov, senior lecturer, amigrov@gmail.com; ***Anton S. Khrushchev**, Cand. Eng., assistant professor, djerda@mail.ru (Petersburg State Transport University); **Vitaliy V. Kuchuk**, production supervisor, vital_vernylsia2010@mail.ru (Emergency recovery works directorate, Russian Railways JSC); **Sergey V. Orlov**, Museum of Cosmonautics and Rocket Technology head, orlov@spbmuseum.ru (State Museum of the History) APPLICATION OF MODERN 3D-MODELLING PROGRAMS FOR MODERNISATION OF RAILWAY TRANSPORT ROLLING STOCK

Objective: To demonstrate practical application of 3D-projection technologies for modernisation of railway transport rolling stock. To optimise designs of bulldozer lift-on/lift-off brows of emergency train. **Methods:** Applied were methods of computer simulation, data analysis, and optimisation designing. **Results:** Existing heavy equipment lift-on/lift-off devices were analysed, a classification of these devices proposed, after which 3D-modelling was used in designing bulldozer lift-on/lift-off brows of emergency train, which also took into account rational designing criteria such as minimising mass and material saving. **Practical importance:** The study has applied character, its results were implemented on emergency train N 3024 of the Oktyabrskaya Railway's emergency recovery works directorate. Innovative methods for advanced development of components and assemblies can be introduced in technical documentation development services of rolling stock repair enterprises.

Rolling stock, linkage mounting, detachable equipment, virtual designing of units and metallic structures, emergency train.

Неотъемлемой частью технического оснащения восстановительного поезда является тяжёлая гусеничная техника, в транспортном положении находящаяся на платформе, на которую она погружается и с которой разгружается для производства восстановительных работ (рис. 1).

В настоящее время для погрузки-разгрузки тракторов с платформ применяют специальные откидные трапы, зачастую изготавливаемые самостоятельно силами ремонтных предприятий дороги (рис. 2).

Часто ремонтники разрабатывают конструкцию трапов без специальных расчётов, поэтому ради безопасности и прочности в ней содержится излишнее количество деталей, из-за чего перерасходуются материалы на её изготовление и конструкция имеет большую массу.

Цель нашей работы – спроектировать погрузочно-разгрузочный трап такой конструкции, которая отвечала бы принципам рационального проектирования.

Самым тяжелым и крупногабаритным образцом строительных машин в восстановительных поездах является бульдозер ДЭТ-320 массой 58 300 кг (рис. 3). Его характеристики использованы в качестве исходных данных при проектировании металлоконструкции трапа. Основным типом транспортного средства, на которое планируется установить трап, является железнодорожная платформа модели 13-4012.

Краткий анализ конструкций для погрузки-разгрузки гусеничной техники с платформ

Имеется много информации о проектах таких конструкций. Часть из них используется в практике восстановительных поездов, часть оформлена в виде перспективных патентов и изобретений [1, 6, 8, 10]. Средства можно классифицировать по признаку мобильности: стационарные и мобильные. Стационарные средства могут иметь разборную и неразбор-



Рис. 1. Трактор ДЭТ-250 на платформе восстановительного поезда [13]



Рис. 2. Вариант откидного трапа для сгона трактора ДЭТ-250

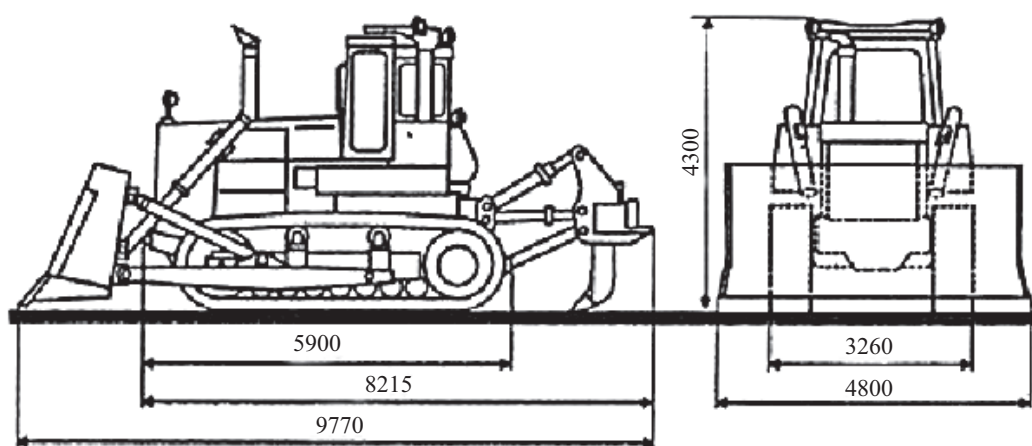


Рис. 3. Основные геометрические размеры перевозимого бульдозера

ную конструкцию, мобильные могут быть выполнены как неотъемлемая часть железнодорожной платформы, либо как перевозимая сборно-разборная конструкция, либо как съемный модуль.

В восстановительных поездах ОАО РЖД наиболее распространен способ погрузки самоходной техники на железнодорожную платформу восстановительного поезда с помощью

устройства, описанного в [6]. При этом со стороны торца железнодорожной платформы устанавливают устройство в виде наклонных направляющих, снабженных приводами для подъема-опускания (рис. 4).

Анализ показывает, что несмотря на частое использование трапов в восстановительных поездах, задача проектирования их конструкций сегодня актуальна [5].

Разработка конструкции трапа для погрузки-разгрузки бульдозера

Для учета действующих нагрузок разработана расчётная схема трапа (рис. 5) и вы-

бран материал для его изготовления согласно [11].

В программе SolidWorks с учётом [2–4, 7, 9, 12, 14] трап был смоделирован в нескольких вариантах и проанализирован на предмет оптимальности (рис. 6).



Рис. 4. Общий вид техники на платформе с аппаратами

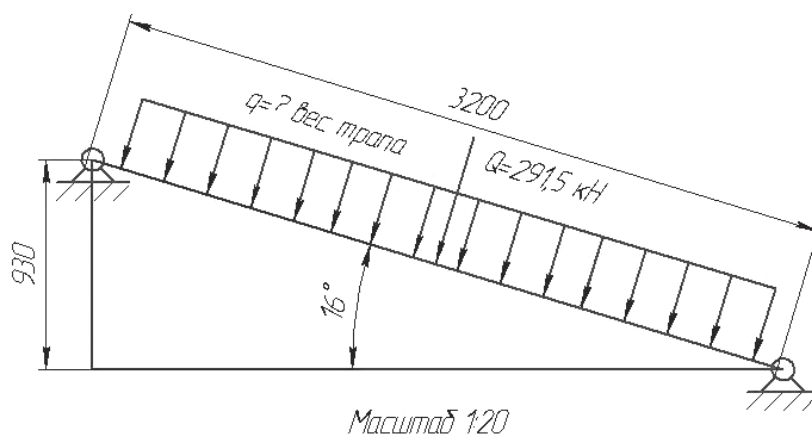


Рис. 5. Расчётная схема трапа

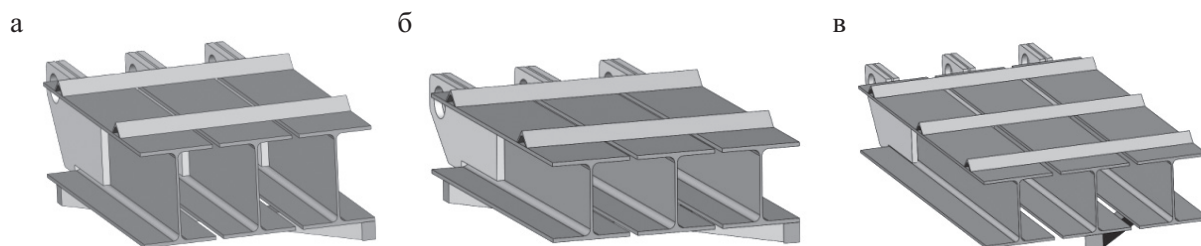


Рис. 6. Варианты поперечного сечения трапа: двутавр а) увеличенный (вариант 1); б) средний (вариант 2); в) уменьшенный (вариант 3)

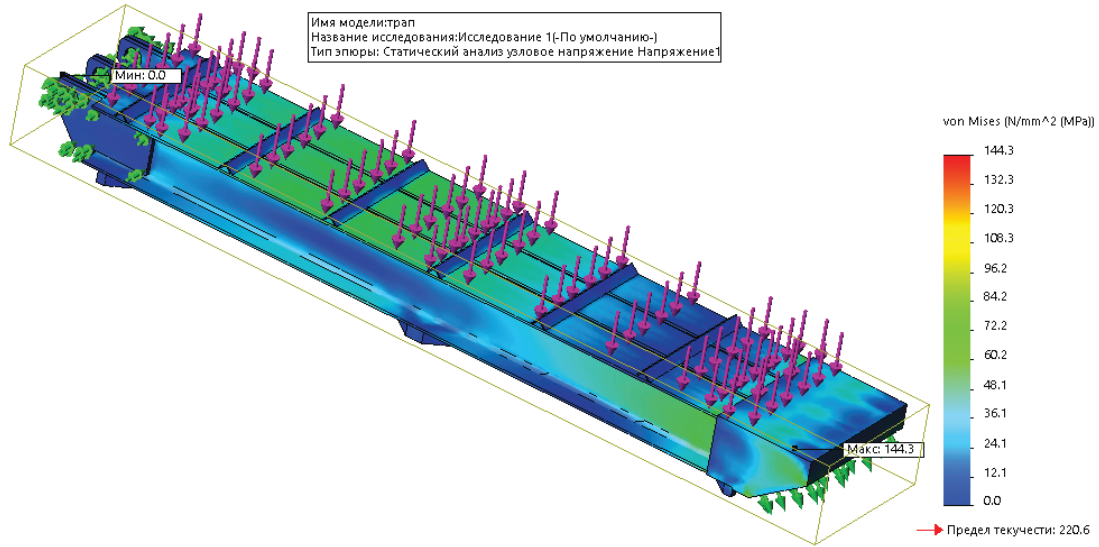


Рис. 7. Моделирование аппарата. Вариант 1

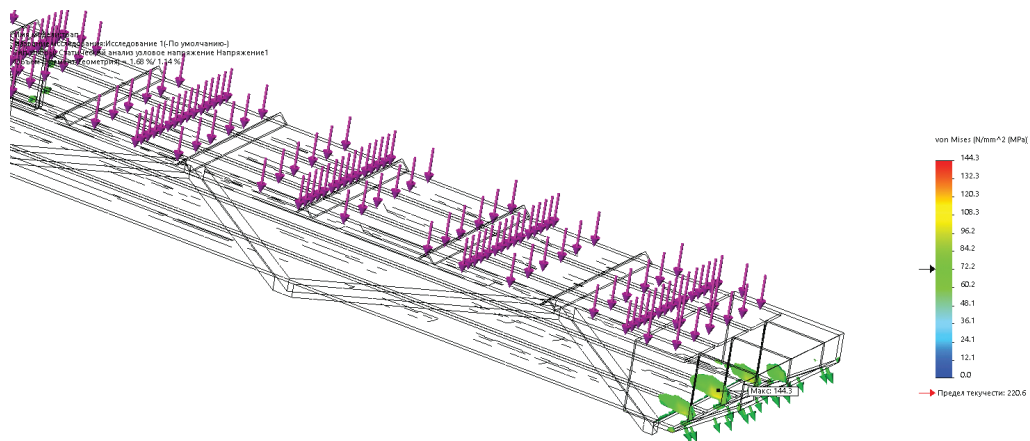


Рис. 8. Аппарель, вариант 1. Статический анализ. Узловые напряжения

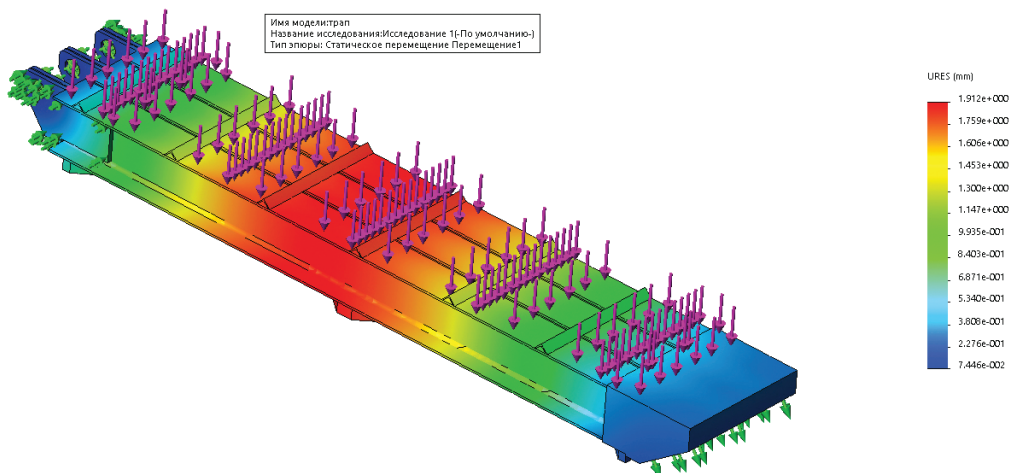


Рис. 9. Аппарель, вариант 1. Анализ на статические перемещения

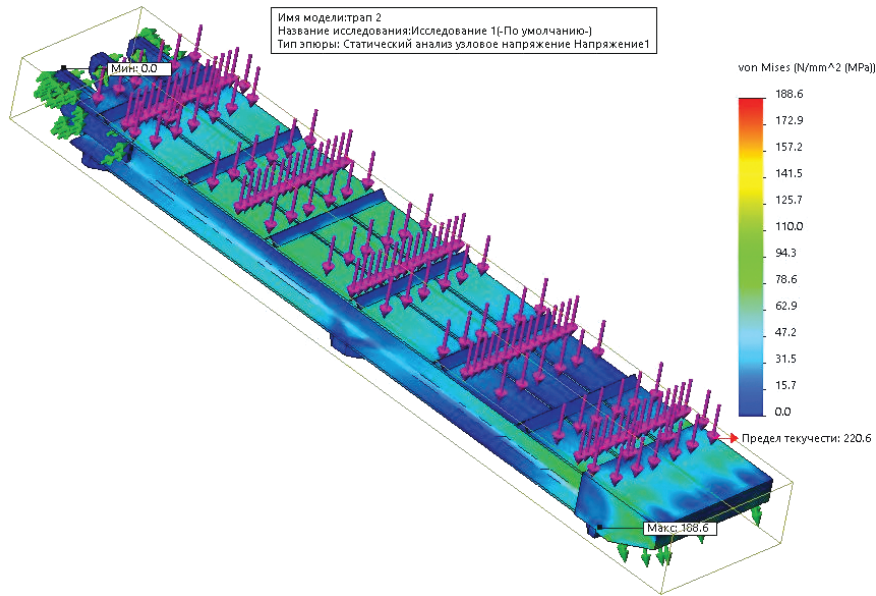


Рис. 10. Моделирование аппарата. Вариант 2

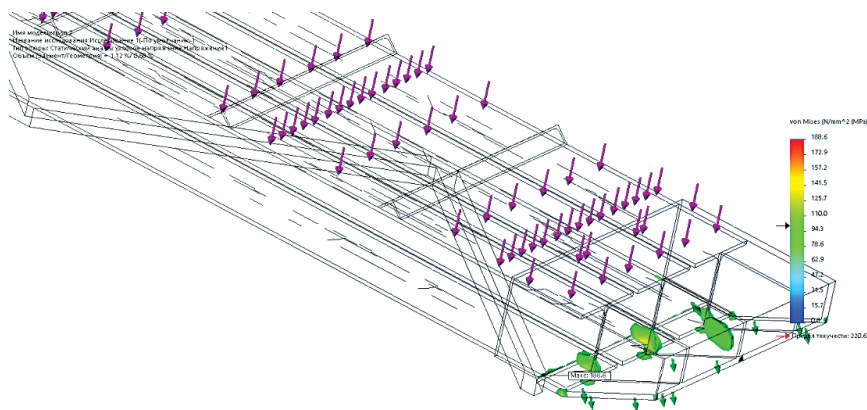


Рис. 11. Аппарель, вариант 2. Статический анализ. Узловые напряжения

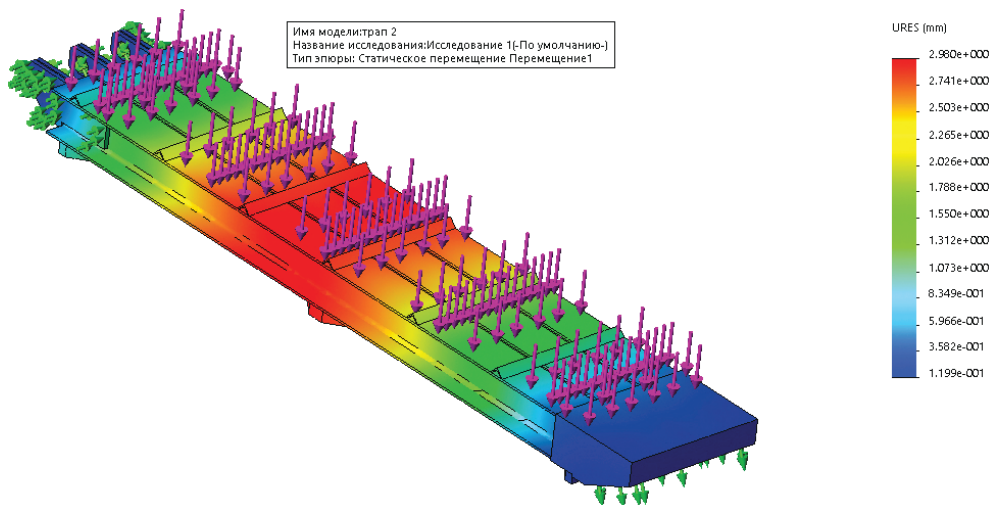


Рис. 12. Аппарель, вариант 2, анализ на статические перемещения

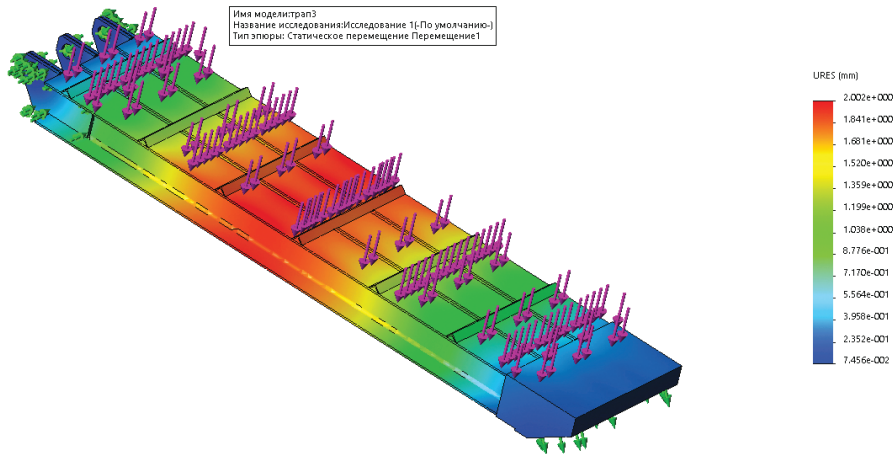


Рис. 13. Моделирование аппарата. Вариант 3

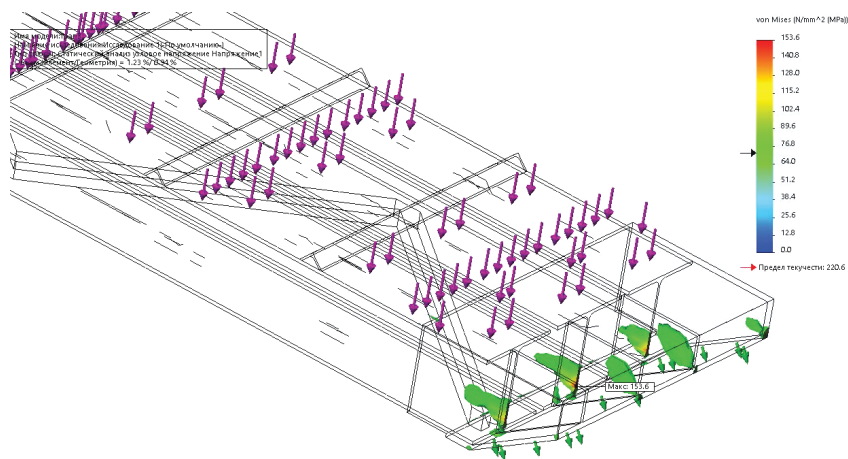


Рис. 14. Аппарел, вариант 3. Статический анализ. Узловые напряжения

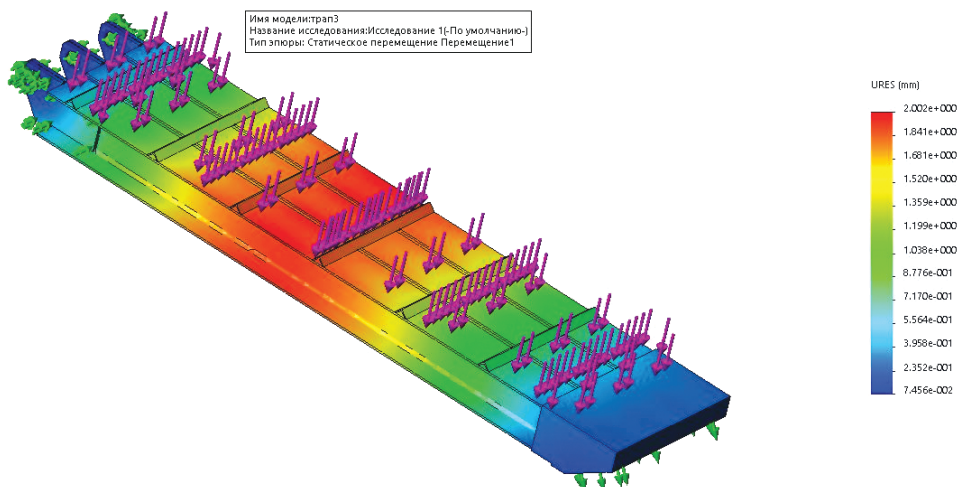


Рис. 15. Аппарел, вариант 3, анализ на статические перемещения

Выводы по расчетам:

- аппарат, увеличенный двутавр № 26 (вариант 1). В рассматриваемой конструкции имеется лимитирующий элемент, где минимальный коэффициент запаса прочности составляет 1,5 (узел крепления опорной площадки с двутаврами). Исследование на предмет жесткости показывает, что лимитирующий элемент (двутавр) имеет следующие характеристики: $l_{\max} = 3,2$ м, стрела прогиба 2,0 мм, что не превышает допустимого значения, рассматриваемая конструкция соответствует требованиям прочности и жесткости (рис. 7–9);

- аппарат, двутавр средний (вариант 2). В рассматриваемой конструкции имеется лимитирующий элемент, минимальный коэффициент запаса прочности которого составляет 1,15 (узел крепления опорной площадки с двутаврами). Исследование на предмет жесткости показывает, что лимитирующий элемент (двутавр) имеет такие характеристики: $l_{\max} = 3,2$ м, стрела прогиба 2,9 мм, что не превышает допустимого значения, рассматриваемая конструкция соответствует требованиям прочности и жесткости (рис. 10–12);

- аппарат, уменьшенный двутавр № 23Ш (вариант 3). В рассматриваемой конструкции имеется лимитирующий элемент, минималь-

ный коэффициент запаса прочности которого составляет 1,4 (узел крепления опорной площадки с двутаврами). Исследование на предмет жесткости показывает, что лимитирующий элемент (двутавр) имеет такие характеристики: $l_{\max} = 3,2$ м, стрела прогиба 1,9 мм, что не превышает допустимого значения, рассматриваемая конструкция соответствует требованиям прочности и жесткости (рис. 13–15).

Таким образом, элементы конструкции трапа рассчитаны на прочность исходя из приложенных нагрузок. Подобрано оптимальное соотношение их размеров, благодаря которому уменьшается вес всей конструкции и экономятся материалы (рис. 16).

Заключение

Рассмотренные конструкции трапа имеют преимущество перед ныне эксплуатируемыми конструкциями благодаря меньшему весу и стоимости за счет экономии металла.

Размеры напряжённых зон и значения максимумов напряжений при этом не превышают допустимых пределов.

При необходимости (к примеру, при создании трапов для более тяжёлой техники) есть

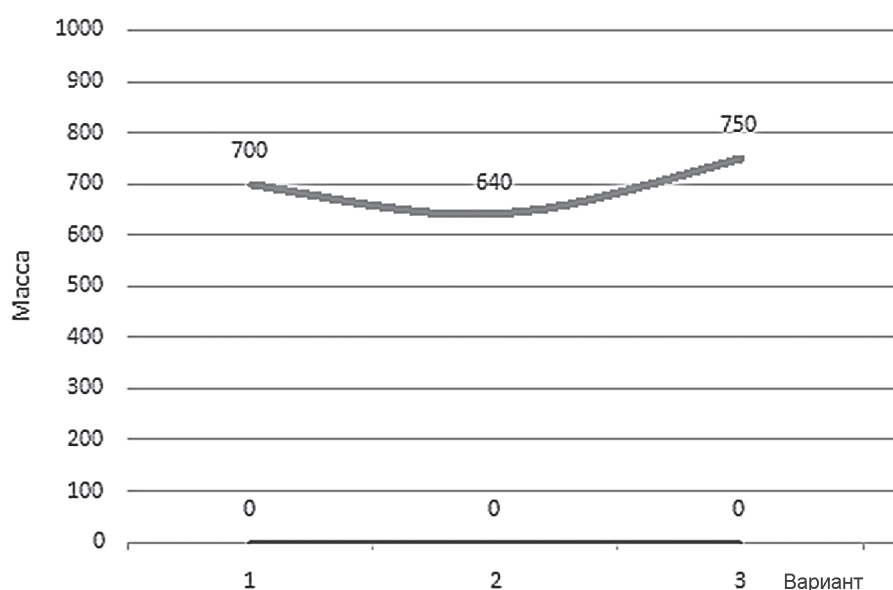


Рис. 16. Зависимость массы трапа от варианта конструктивного исполнения

возможность управлять распределением напряжений в конструкции, варьируя положения её отдельных элементов.

Минимальным весом, согласно рис. 16, обладает вариант 2, который может быть принят в качестве оптимального при изготовлении трапов для погрузки-разгрузки бульдозеров восстановительных поездов.

Представленные результаты получены с применением САД и САЕ функционалов технологии гибридного параметрического моделирования в среде SolidWorks.

Библиографический список

1. А. с. 98573 СССР, МПК В61D47/00. Разборная металлическая аппарель для погрузки колесных и гусеничных самоходных машин на открытый железнодорожный состав / М. А. Кудрявцев, В. С. Кудряшов, В. В. Ковылин. – № 732 / 448078; заявл. 29.04.52 ; опубл. 1958, Бюл. № 12.
2. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-пресс, 2015.
3. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008.
4. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов. Задачи, методы, рекомендации / А. А. Алямовский. – М. : ДМК-пресс, 2015.
5. Бульдозеры ЧТЗ для восстановительных поездов. – URL : <http://chtz-uraltrac.ru/news/topics/56.php>.
6. Васильев Н. В. Восстановительные работы на железных дорогах / Н. В. Васильев, Р. А. Родионов, О. И. Комаров и др. ; под ред. В. М. Шитова, Н. А. Шелудько. – М. : Транспорт, 1993.
7. Дударева Н. Ю. SolidWorks. Оформление проектной документации / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – М. : BHV, 2009.
8. Попов Д. Бульдозеры пойдут по трапу / Д. Попов // Гудок. – 2008. – 11 ноября.
9. Прохоренко В. SolidWorks. Практическое руководство / В. Прохоренко. – М. : Бином, 2004.
10. Разгрузка танка с вагона-рампы компании LMR на Дне открытых дверей компании Longmoor

1 мая 1965 г. – URL : <http://www.rcts.org.uk/branches/south%20east/images/longmoor005.htm>.

11. Справочник снабженца. Вып. 85. Металлопрокат. Марки сталей, сплавов, чугуна. Сортамент / под ред. Л. Драчук. – М. : Торговый Дом Металлов, 2007. – 596 с.

12. Тихомиров Г. И. Конструирование элементов механических приводов машин и механизмов с использованием компьютерных технологий: учеб. пособие / Г. И. Тихомиров. – СПб. : Петербург. гос. ун-т путей сообщения, 2014.

13. Трактор ДЭТ-250, восстановительный поезд станции Канаш, Чувашия, Россия. – URL : <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DET-250.jpg?uselang=ru>.

14. Хрущёв А. С. Применение программы SolidWorks при прочностных расчётах в курсовом проектировании по «Деталям машин и конструкций»: учеб. пособие / А. С. Хрущёв, М. С. Яшкин, А. А. Алексеев. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015.

References

1. A. S. 98573 SSSR, MPK B61D47/00. Razbornaya metallicheskaya apparel dlya pogruzki kolesnykh i gusenichnykh samokhodnykh mashin na otkrytuyu zheleznodorozhnyy sostav [Detachable Metallic Ramp for Loading Wheeled and Tracked Self-Propelled Vehicles into Open Train]. M. A. Kudryavtsev, V. S. Kudryashov, V. V. Kovylin. No. 732/448078; filed 29.04.52; publ. 1958, Bulletin no. 12.
2. Alyamovskiy A. A. Inzhenernyye raschety v SolidWorks Simulation [Engineering Calculations in SolidWorks Simulation]. Moscow, DMK-press, 2015.
3. Alyamovskiy A. A. SolidWorks 2007/2008. Kompyuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike [SolidWorks 2007/2008. Computer Simulation in Engineering Practice]. St Petersburg, BKhV-Peterburg, 2008.
4. Alyamovskiy A. A. SolidWorks Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov. Zadachi, metody, rekomendatsii [SolidWorks Simulation. Engineering Analysis for Professionals. Problems, Methods, Recommendations]. Moscow, DMK-press, 2015.

5. Buldozery ChTZ dlya vosstanovitelnykh poyezdov [ChTZ Bulldozers for Emergency Trains], available at: <http://chtz-uraltrac.ru/news/topics/56.php>.
6. Vasilyev N. V., Rodionov R. A., Komarov O. I. et al. Vosstanovitelnyye raboty na zheleznykh dorogakh [Emergency Operations on Railways]; ed. V. M. Shitov, N. A. Sheludko. Moscow, Transport, 1993.
7. Dudareva N. Yu. & Zagayko S. A. SolidWorks. Oformleniye proyektnoy dokumentatsii [SolidWorks. Execution of Design Documentation]. Moscow, BHV, 2009.
8. Popov D. *Gudok – Signal*, Nov. 11, 2008.
9. Prokhporenko V. SolidWorks. Prakticheskoye rukovodstvo [SolidWorks. Practical Guide]. Moscow, Binom, 2004.
10. LMR Tank Ramp Wagon with a Tank Off-loading from a Warflate at the Longmoor Open Day on May 1st, 1965, available at: <http://www.rcts.org.uk/branches/south%20east/images/longmoor005.htm>.
11. Spravochnik snabzhentsa [Buying Agent's Reference Book]. Is. 85. Metalloprokat. Marki staley, splavov, chuguna. Sortiment [Rolled Metal Products. Grades of Steel, Alloys, Cast Iron. Dimensions]; ed. L. Drachuk. Moscow, Torgovyy Dom Metallov, 2007. 596 p.
12. Tikhomirov G. I. Konstruirovaniye elementov mekhanicheskikh privodov mashin i mekhanizmov s ispolzovaniyem kompyuternykh tekhnologiy: uchebnoye posobiye [Designing Elements of Mechanical Drives of Machines and Mechanisms with the Use of Computer Technologies: Course Book]. St. Petersburg, PGUPS, 2014.
13. DET-250 tractor, Kanash station emergency train, Chuvashia, Russia, available at: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:DET-250.jpg?uselang=en>.
14. Khrushchev A. S., Yashkin M. S. & Alekseyev A. A. Primeneniye programmy SolidWorks pri prochnostnykh raschetakh v kursovom proyektirovanii po "Detalyam mashin i konstruksiy" [Application of SolidWorks Program in Strength Calculations for Course Design in Machine and Constructions Details: Study Guide]. St. Petersburg, FGBOU VPO PGUPS, 2015.

МИГРОВ Александр Алексеевич – старший преподаватель, amigrov@gmail.com; *ХРУЩЁВ Антон Сергеевич – канд. техн. наук, доцент, djerda@mail.ru (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); КУЧУК Виталий Валерьевич – мастер производственного участка, vital_vernylsia2010@mail.ru (Дирекция аварийно-восстановительных работ ОАО «РЖД»); ОРЛОВ Сергей Васильевич – руководитель музея космонавтики и ракетной техники, orlov@spbmuseum.ru (Государственный музей истории).