

ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО МАКЕТА УНИФИЦИРОВАННОЙ МАШИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА ПО ЧАСТНЫМ КРИТЕРИЯМ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ

Музафаров Э.Р.¹, Филькин Н.М.¹, Зыков С.Н.²

¹*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск;*

²*Удмуртский государственный университет, Ижевск*

Ключевые слова: унифицированная машина технологического электротранспорта, частные критерии оптимальности, виртуальный макет, грузовая платформа, численный инженерный анализ, прочностные свойства.

Аннотация. Внутрицеховые и межцеховые перемещения грузов обычно производятся специализированными, либо универсальными транспортными машинами. При их проектировании необходимо учитывать целый ряд требований и критериев для поиска оптимальных параметров конструкции. На современном этапе развития вычислительной техники одним из наиболее эффективных инструментов решения данной проблематики являются программные системы, позволяющие в виртуальном трехмерном пространстве создавать и проводить прикладные инженерные исследования электронных геометрических моделей (макетов) различных вариантов проектируемого объекта. Предельное количество численных экспериментов при этом в общем случае ограничено лишь фактом приближения результатов расчетов к неким требуемым оптимальным показателям. В статье описываются численные эксперименты в отношении виртуального макета грузовой платформы с алюминиевыми бортами унифицированной машины технологического электротранспорта, выполненные с целью проверки и уточнения проектных характеристик. Результаты исследований показали, что разработанная конструкция является оптимальной по частным критериям снижения весовых характеристик и обеспечения необходимых прочностных параметров.

RESEARCH OF A VIRTUAL LAYOUT OF A UNIFIED MACHINE OF TECHNOLOGICAL ELECTRIC TRANSPORT ACCORDING TO PARTICULAR CRITERIA OF STRENGTH PROPERTIES

Muzafarov E.R.¹, Filkin N.M.¹, Zykov S.N.²

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk;

Udmurt State University, Izhevsk

Keywords: unified machine of technological electric transport, particular optimality criteria, virtual layout, cargo platform, numerical engineering analysis, strength properties.

Abstract. Intra-shop and inter-shop cargo movements are usually carried out by specialized or universal transport vehicles. When designing them, it is necessary to take into account a number of requirements and criteria for finding optimal design parameters. At the present stage of the development of computer technology, one of the most effective tools for solving this problem are software systems that allow creating and conducting applied engineering studies of electronic geometric models (layouts) of various variants of the projected object in a virtual three-dimensional space. The limiting number of numerical experiments in this case is generally limited only by the fact that the calculation results are approaching certain required optimal indicators. The article describes numerical experiments on the virtual layout of a cargo platform with aluminum sides of a unified machine of technological electric transport, performed in order to verify and refine the design characteristics. The research results have shown that the developed design is optimal according to particular criteria for reducing weight characteristics and ensuring the necessary strength parameters.

Введение

В условиях работы крупного промышленного предприятия обеспечение цеховой и межцеховой транспортной логистики является важным элементом эффективного функционирования всего производства. Специфика деятельности конкретного предприятия обуславливает необходимость закупки или разработки своих собственных логистических технологий. В этом плане наряду с конвейерными и роторными системами, имеющими стационарный характер размещения, наблюдается определенный запрос и на проектирование унифицированных транспортных технологических машин, способных выполнять самый

широкий спектр производственных и хозяйственных манипуляций в достаточно ограниченном, свободном от промышленного оборудования, межцеховом и внутрицеховом пространстве. Как правило, имеется широкий спектр специальных эксплуатационных требований (критериев) к подобным разработкам. И, как правило, большое количество разноплановых требований определяет, как одну из основных, задачу проектирования по поиску оптимально сбалансированных конструктивных решений. Современный уровень развития компьютерной техники и программного обеспечения позволяет большинство технических данных и поисковых процедур перевести в цифровой формат численных экспериментов: например, в качестве основы виртуальных прочностных расчетов используется точная электронная трехмерная модель (макет) изделия. Рассмотрим практику проведения цифрового прочностного анализа на примере поиска оптимальных решений конструкции грузовой платформы унифицированной машины технологического электротранспорта (УМТЭТ) [1-3].

Список критериев проектирования универсальной машины технологического электротранспорта достаточно обширен (особые прочностные характеристики, ограничения по вибрации, шуму и эргономике, габариты, маневренность и т.д.), поэтому ее конструкция представляется достаточно сложной для поиска оптимальных решений. При этом, необходимо иметь ввиду и то, что при обеспечении высоких характеристик по одному из параметров поиска, по другим можно получить низкие, а иногда и взаимоисключающие значения. Следствием этого факта является необходимость обязательного проведения процедур выявления набора оптимальных решений. Формирование списка критериев оптимальности можно описать следующей формулой [4-6]:

$$Q_i = Q_i(\vec{K}, \vec{X}, \vec{P}, \vec{Y}), \quad i = \overline{1, m},$$

где m – количество частных критериев оптимальности; \vec{K}, \vec{X} – векторы конструктивных параметров и характеристик проектируемой машины; \vec{P}, \vec{Y} – векторы параметров и характеристик, определяющих условия эксплуатации машины. Данная формула является общей и может быть отнесена как для отдельных деталей и сборок, так и для всей проектируемой машины.

Сочетание грузовой платформы и силовой несущей рамы можно рассматривать как отдельную сборочную единицу, при разработке которой необходимо учитывать ряд параметров (критериев), которые прямо или косвенно входят в перечень общих эксплуатационных требований к разрабатываемой машине. К таковым относится ряд эстетических, весовых и прочностных характеристик. Рассмотрим их комплексный анализ при помощи численного компьютерного исследования виртуальной трехмерной компьютерной модели (макета) данной сборочной единицы, где геометрические характеристики, физические свойства материалов и соединений назначаются из предварительного проектного видения воздействия внешних факторов, эксплуатационной надежности, экономичности изготовления и т.п.: например, проектное предложение по материалу откидных бортов грузовой платформы заключалось в использовании алюминиевого профиля (для обеспечения удовлетворительных весовых, прочностных и эстетических характеристик), а для крепления бортов предполагалось использование покупного крепежа (для снижения общей себестоимости изготовления).

Формирование начальных и граничных условий исследования

Рассмотрим общую геометрию грузовой платформы, конструктивно-технологические особенности ее изготовления (рис. 1), а также заданное положение груза на платформе, что определяет нагрузочные характеристики для численного анализа (рис. 2).

Конструктивные особенности, обеспечивающие начальные и граничные условия расчетной задачи:

- передний борт (1, рис. 1) является сварной рамой из труб, облицованной стальным листом и приваренной к основанию платформы;
- боковые и задние бортовые борта (2-3, рис. 2) имеют функцию откидывания вращением (для проведения погрузочно-разгрузочных операций), изготовлены из алюминиевого профиля, имеют установочные петли и торцевые замки;

- высота алюминиевых бортов (2-3, рис. 2) зависит от стандартных размеров покупного профиля и варьируется в рамках 396-596 мм;
- пол платформы изготавливается из листа бакелитовой фанеры площадью $2,6 \text{ м}^2$ и толщиной 21 мм (2, рис. 1), которая крепится болтами (11 шт.) (4, рис. 1) к стальной силовой раме машины, опираясь на нее по периметру через стальной подрамник (3, рис. 1);
- физические характеристики бакелитовой фанеры (2, рис. 1) используются для формирования расчетной модели численного исследования ($E = 7000 \text{ МПа}$, предел прочности – 25 МПа и др.);
- проектная максимальная грузоподъемность технологической машины составляет 3000 кг;
- груз (4, рис. 2) по плоскости платформы размещен со смещением в сторону левого борта (для выявления зон возможных концентраций напряжений).

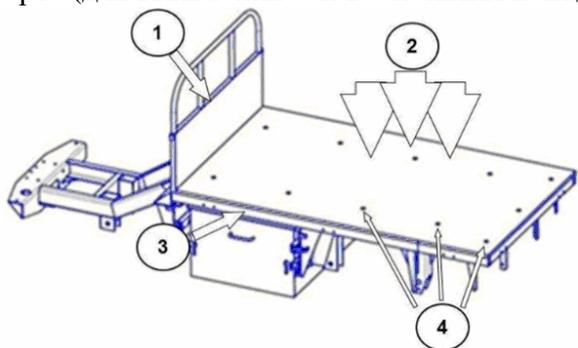


Рис. 1. Конструктивные особенности грузовой платформы: 1 – передний высокий борт; 2 – листовая бакелитовая фанера; 3 – подрамник; 4 – болты крепления

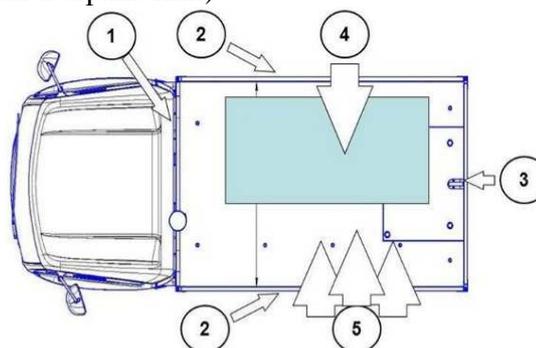


Рис. 2. Особенности размещения груза на платформе: 1 – передний высокий борт; 2 – боковые борты из алюминиевого профиля; 3 – задний борт из алюминиевого профиля; 4 – груз 3000 кг; 5 – листовая бакелитовая фанера

Результаты численного исследования

Серия численных прочностных исследований (задачи №№ 1, 2) проводилась инструментальными средствами электронного геометрического моделирования и инженерного анализа специализированного программного продукта САПР [7, 8], в основе работы которого лежит метод конечных элементов.

Задача № 1. Статический анализ. Определение характера напряженно-деформируемого состояния конструкции, возникающего в результате воздействия вертикальной локально приложенной внешней распределенной нагрузки со стороны смещенного к правому борту груза массой 3000 кг (4, рис. 2).

На рисунке 3 представлены результаты статического анализа. Максимальное напряжение по поверхности фанеры составило 4 МПа. Напряжения в точках болтовых креплений со стальной рамой составили 24 МПа. Если соотнести полученные данные с пределом прочности фанеры 25 МПа, можно заключить, что в случае изготовления пола платформы из бакелитовой фанеры толщиной 21 мм, возникающие напряжения не превышают предела прочности (даже в местах болтовых соединений). В стальных элементах конструкции сборки напряжения ниже допустимых значений предела текучести для сталей (около 235 МПа), что свидетельствует об имеющемся значительном запасе прочности.

Задача № 2. Статический анализ. Исследование алюминиевого профильного борта грузовой платформы на сопротивление горизонтальному силовому воздействию со стороны груза при его смещении в сторону правого борта (4, рис. 2).

На рисунке 4 представлены результаты численного исследования. Выявлено, что при отсутствии ударного быстропротекающего воздействия при условии относительно равномерного распределения нагрузки по площади контакта с бортом в области концентрации напряжений достигаются максимальные значения 58,3 МПа, что для алюминия существенно ниже начала пластических деформаций (170 МПа). Это говорит о возможности использования бортов из алюминиевого профиля в конструкции грузовой платформы. Также необходимо

указать и на наличие локальной зоны концентрации напряжений до 130 МПа в зоне шарнирного крепления бортов к стальному подрамнику (средняя петля бокового борта), что, однако, также ниже допустимых значений предела текучести для стали (235 МПа) и алюминия (170 МПа). Поэтому, разрушающих напряжений при квазистатической нагрузке не возникает.

Проведенные исследования были приняты за основу при создании экспериментальных образцов УМТЭТ. На рисунке 5 представлены виртуальный электронный макет и опытный образец технологической машины с алюминиевыми бортами [9, 10].

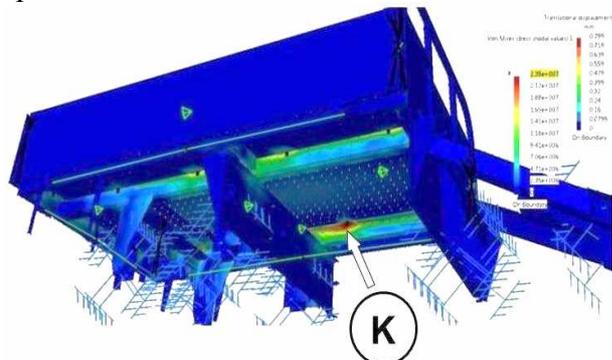


Рис. 3. Результаты статического анализа при воздействии на конструкцию вертикальной распределенной нагрузкой:
К – концентрация напряжений

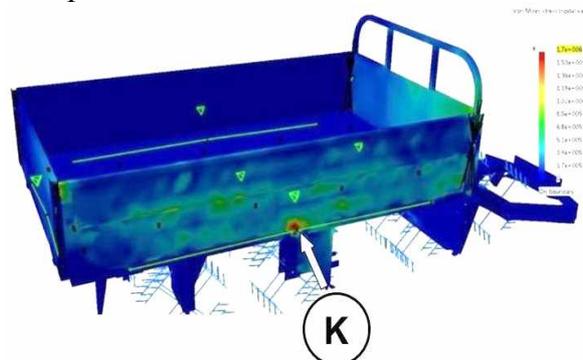


Рис. 4. Результаты исследования на сопротивление горизонтальному силовому воздействию со стороны груза:
К – концентрация напряжений



Рис. 5. Электронный макет и опытный образец технологической машины с алюминиевыми бортами

Результаты и выводы

Результаты серии численных экспериментов, проведенных с использованием специализированной программной системы электронного геометрического моделирования и численного инженерного анализа, дает основание утверждать, что грузовая платформа с алюминиевыми бортами УМТЭТ в целом соответствует рассматриваемым частным критериям оптимальности по критериям снижения весовых характеристик при обеспечении приемлемых эстетических и прочностных характеристик.

Данная платформа с полом из бакелитовой фанеры пригодна для перевозки заявленных при проектировании грузов с массой до 3000 кг. При этом, если допустить, что указанная равномерно распределенная (на один квадратный метр) нагрузка будет смещена к левому борту, возникающие напряжения составят 0,029 МПа, что значительно ниже предела прочности фанеры 25 МПа.

Борта из алюминиевого профиля не только обладают хорошими внешними эстетическими характеристиками и высокой коррозионной стойкостью, но и достаточным запасом прочности. Однако, при эксплуатации необходимо учесть вероятность кратковременных ударных воздействий со стороны груза в борта платформы, в результате чего может наступить разрушение по концентратору напряжений в области бортовых петель из-за превышения предела текучести алюминия. Поэтому в эксплуатационные требования на грузовую платформу необходимо внести пункт о необходимости закрепления груза на платформе.

Данные численные исследования были проведены в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта», реализованного в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 АО «Сарапульский электрогенераторный завод» и ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова».

Список литературы

1. Коршунов А.И., Музафаров Р.С., Плетнев М.А., Скуба Д.В., Филькин Н.М. Системные подходы в конструировании и дизайн-проектировании унифицированной машины технологического электротранспорта (УМТЭТ) // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 2(29). – С. 40-47.
2. ГОСТ Р 50570-93. Машины напольного безрельсового электрифицированного транспорта. Рабочее место водителя. Общие эргономические требования. – М.: Госстандарт России, 1993. – 12 с.
3. ГОСТ 18962-97. Машины напольного безрельсового электрифицированного транспорта. Общие технические условия. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 16 с.
4. Филькин Н.М. Оптимизация параметров конструкции энергосилового устройства транспортной машины: Автореферат дисс. ... докт. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ, 2001. – 34 с.
5. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
6. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования. – М.: Радио и связь, 1984. – 248 с.
7. САТИА: орудие производителя XXI века [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.sapr.ru/article/7101.
8. Ходосов В.В. Основы создания деталей в САПР САТИА V5: учебное пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т., 2019. – 66 с.
9. Патент №102998 РФ. Унифицированное электрическое транспортное средство технологического назначения / Н.М. Филькин, Р.С. Музафаров, А.Ф. Мкртчян, М.Р. Габдуллин, Д.В. Скуба, А.А. Заварзин, П.Ю. Каданин, В.В. Новокрещенов, Д.В. Крутиков – Заявка №2016502874 от 25.07.2016; опубл. 13.04.2017, Бюл. №4.
10. УМТЭТ – разработка и создание высокотехнологичного производства унифицированной машины технологического электротранспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.umtet.istu.ru>.

References

1. Korshunov A.I., Muzafarov R.S., Pletnev M.A., Skuba D.V., Filkin N.M. System approaches in the construction and design-projecting of the unified machine of technological electric transport (UMTET) // Intelligent Systems in Production. 2016, no. 2(29), pp. 40-47.
2. GOST R 50570-93. Machines of floor trackless electrified transportation. Driver's workplace. General ergonomic requirements. – M.: Gosstandart of Russia, 1993. – 12 p.
3. GOST 18962-97. Machines of floor trackless electrified transportation. General technical conditions. – Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 1997. – 16 p.
4. Filkin N.M. Optimization of the design parameters of the transport machine power plant: Abstract of the diss. ... doct. of tech. sc. – Izhevsk: IzhSTU, 2001. – 34 p.
5. Sobol I.M., Statnikov R.B. Optimal parameters selection in problems with many criteria. – M.: Science, 1981. – 110 p.
6. Batischev D.I. Methods of Optimal Design. – M.: Radio and Communication, 1984. – 248 p.
7. CATIA: the tool of the XXI century manufacturer [Electronic resource]. – Access mode: www.sapr.ru/article/7101.
8. Khodosov V.V. Fundamentals of detail creation in CAD CATIA V5: textbook. – SPb.: Balt. gos. tecn. un., 2019. – 66 p.
9. Patent No. 102998 RU. Unified electric vehicle for technological purposes / N.M. Filkin, R.S. Muzafarov, A.F. Mkrtychyan, M.R. Gabdullin, D.V. Skuba, A.A. Zavarzin, P.Yu. Kadanin, V.V. Novokreschenov, D.V. Krutikov. – Appl. No.2016502874 from 07/25/2016; publ. 04/13/2017, Bul. No. 4.
10. UMTET – development and creation of high-tech production of unified machine of technological electric transportation [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.umtet.istu.ru>.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Филькин Николай Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»	Filkin Nikolay Mikhailovich – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of automobiles and metal working machinery
Музафаров Эльдар Раисович – старший преподаватель кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование»	Muzafarov Eldar Raisovich – senior lecturer of Department of automobiles and metal working machinery
Зыков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры дизайна fnn@istu.ru	Zykov Sergey Nikolayevich – candidate of technical sciences, professor, professor of design Department

Получена 16.11.2023