

УДК (UDC) 621.86

СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАКЕТА
МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ДОРОГИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-ПЕЧАТИTHE EXPERIMENTAL MODEL CREATION
OF A MOBILE ROPEWAY BY 3D-PRINTINGЛагереv И.А.¹, Таричко В.И.², Солдатченков С.П.¹, Игнатов Д.А.¹
Lagerev I.A.¹, Tarichko V.I.², Soldatchenkov S.P.¹, Ignatov D.A.¹¹ – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)² – АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)¹ – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)² – Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье представлены результаты создания экспериментального макета мобильной канатной дороги, состоящей из двух базовых станций. Макет изготовлен с помощью технологии 3D-печати в лаборатории аддитивных технологий Научно-инновационного центра цифровых технологий Индустрии 4.0 Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского. В статье приведен подробный обзор этапов изготовления макета, разобраны типичные проблемы и пути их решения. Модели базовых станций на колесных шасси изготовлены из пластика ABS с последующей обработкой и покраской поверхностей акриловой краской. Для привода канатной дороги используется электромотор, подключенный к системе управления на базе микроконтроллера Arduino Nano. С помощью видео-фиксации исследованы динамические процессы в канатной системе.

Ключевые слова: мобильная канатная дорога, макет, аддитивные технологии, 3D-печать.

Дата принятия к публикации: 15.04.2019
Дата публикации: 25.06.2019

Сведения об авторах:

Лагереv Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831.

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

Солдатченков Сергей Петрович – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», sergej.soldat.2012@mail.ru.

Игнатов Дмитрий Алексеевич – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского», ignat3295@yandex.ru.

Abstract. The results of creating an experimental model of a mobile ropeway consisting of two base stations is under consideration in this article. The model was made by 3D printing technology in the laboratory of additive technologies of the Research and innovation center of digital technologies Industry 4.0 of Bryansk state University named after academician I. G. Petrovsky. The article provides a detailed overview of the stages of the model manufacturing, analyzed the typical problems and solutions. Models of base stations on wheeled chassis are made of ABS plastic with subsequent processing and painting of surfaces with acrylic paint. An electric motor connected to the control system based on the Arduino Nano microcontroller is used to drive the ropeway. The dynamic processes in the cable system are investigated by video fixation.

Keywords: mobile ropeway, model, additive technologies, 3D-printing.

Date of acceptance for publication: 15.04.2019
Date of publication: 25.06.2019

Authors' information:

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.

ORCID: 0000-0002-0921-6831

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

Sergey P. Soldatchenkov – student at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, sergej.soldat.2012@mail.ru.

Dmitriy A. Ignatov – student at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, ignat3295@yandex.ru.

1. Введение

Мобильные канатные дороги, оборудованные которых размещено на специальных колесных шасси, являются перспективным видом транспортных систем, предназначенных для быстрой организации доставки грузов и пассажиров в труднодоступных местах. Подобные транспортные системы могут быть использованы при строительстве объектов нефте- и газотранспортных систем, ликвидации последствий стихийных бедствий, при освоении труднодоступных и арктических земель [1, 2].

В настоящее время коллективом ученых ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского» ведутся научные исследования в области создания теории исследования рабочих процессов и проектирования мобильных канатных дорог [2].

Важной составляющей любого научного исследования является проведение выставочных мероприятий. Для презентации и продвижения научно-технической идеи мобильных канатных дорог с помощью технологии 3D-печати был изготовлен масштабный макет, показанный на рис. 1.

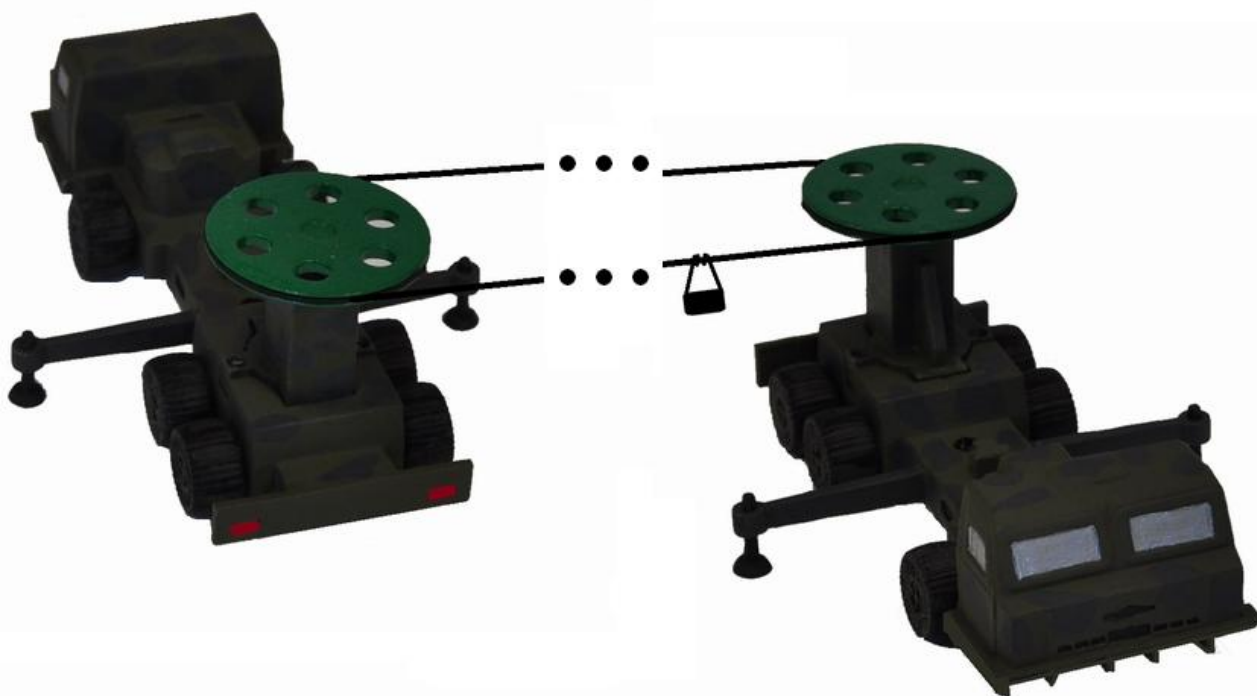


Рис. 1. Общий вид макета мобильной канатной дороги

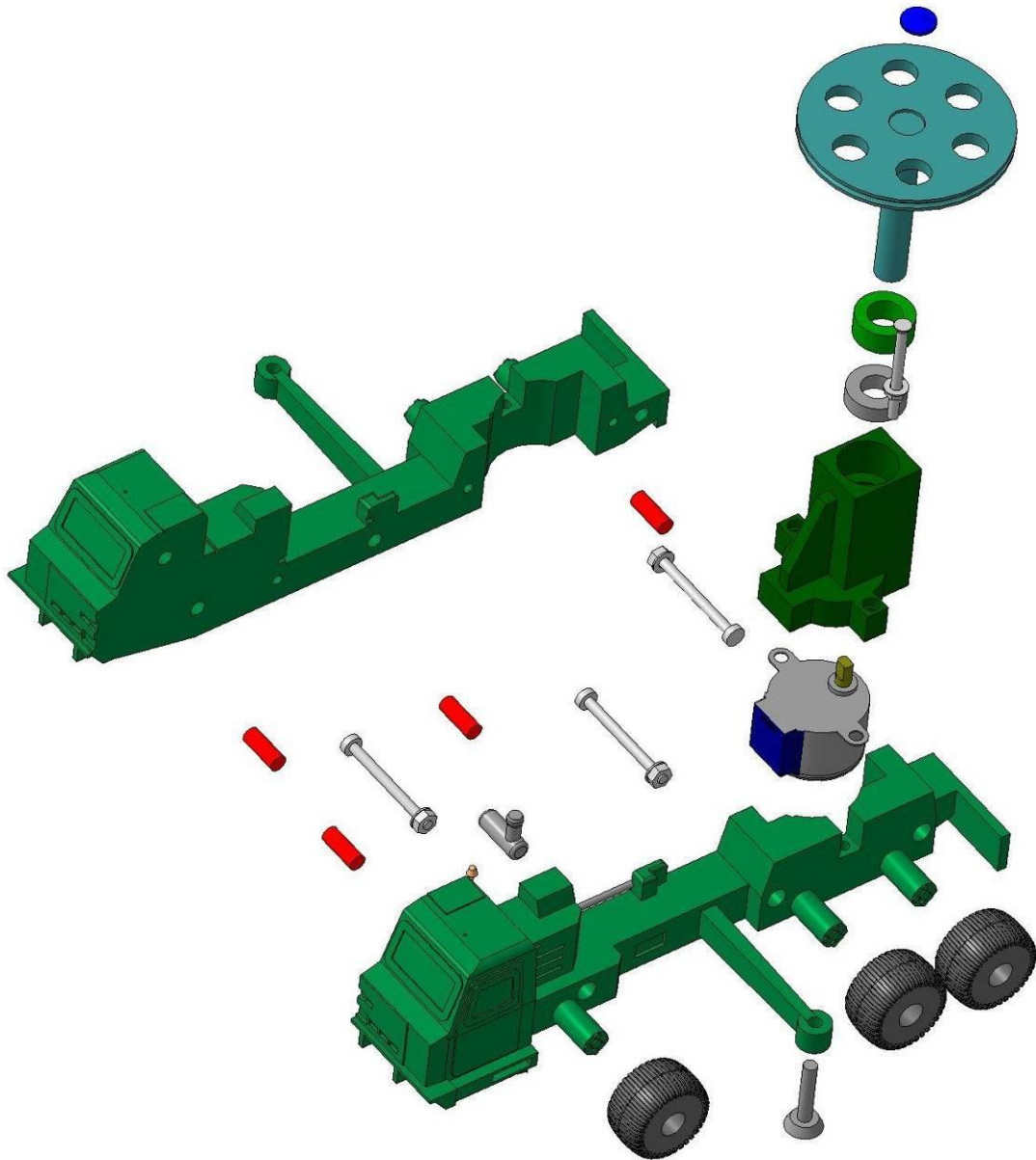
2. Проектирование макета мобильной канатной дороги

Макет мобильной канатной дороги спроектирован с помощью САД-системы. Цифровая геометрическая модель приводной станции, примененная для 3D-печати, показана на рис. 2. Для наглядности детали, входящие в сборку разнесены в пространстве. Конструктивно показанная модель представ-

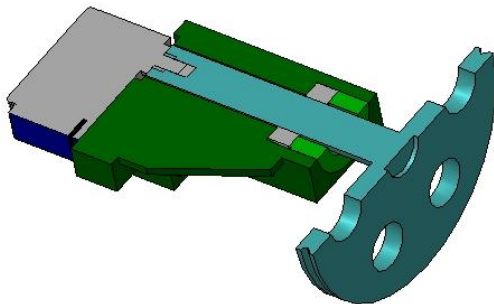
ляет собой две половины базовой колесной машины, в полость между которыми встроены шкив с опорой канатной дороги и приводной электродвигатель. Половины машины соединены штифтами и болтами.

Макет является демонстрационным и не отражает конечный вид конструкции. Любые совпадения с реальными машинами являются непреднамеренными.

a)



б)



в)

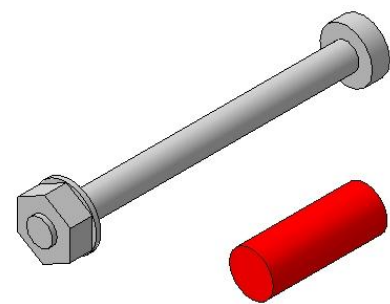


Рис. 2. Цифровая геометрическая модель приводной станции мобильной дороги:
а – общий вид с разнесенными в пространстве деталями сборки; б – опора канатной дороги с приводом (в сборке, в разрезе); в – соединители двух половин (болт-шайба-гайка и штифт)

3. Изготовление макета мобильной канатной дороги

Макет изготовлен с помощью 3D-принтера XYZ Printing Da Vinci 1.0 PRO (рис. 3) на базе Научно-инновационного центра цифровых технологий Индустрии 4.0 Брянского государственного университета имени академика И.Г. Петровского. Печать объекта с помощью печатающей головки 1 происходит на вертикально перемещаемом рабочем столе 2. После нанесения каждого слоя материала рабочий стол принтера опускается вниз на заданную величину (в данном случае – 0,3 мм). Принтер управляется с помощью специализированного программного обеспечения или с панели управления 3.

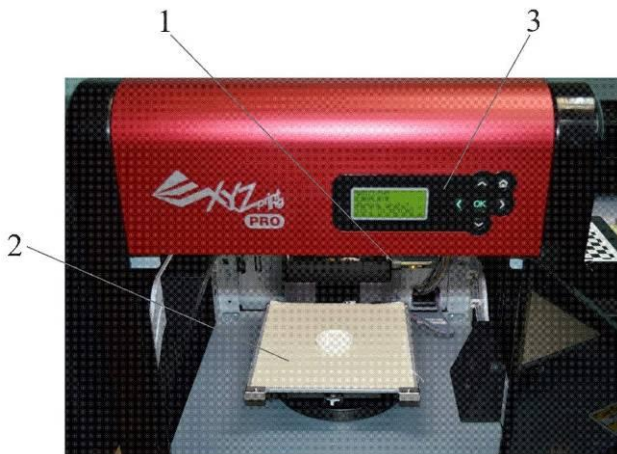


Рис. 3. Общий вид 3D-принтера XYZ Printing Da Vinci 1.0 PRO: 1 – печатающая головка; 2 – рабочий стол; 3 – панель управления

Конструкция печатающей головки принтера показана на рис. 4. Расходный материал для печати в виде пластиковой проволоки 1 из пластика ABS или PLA подается в печатающую головку по питающей трубке шаговым мотором. Попадая в нее, проволока направляется зажимом 2 в стальную направляющую втулку 3, по которой попадает в экструдер 4. В экструдере проволока нагревается до температуры плавления и выдавливается через сопло 5 на рабочий стол принтера. Для предотвращения нагревания микроконтроллера 6 печатающей головки между стальными и пластиковыми деталями существует воздушный термоизоляционный зазор 7. Кроме того, радиатор 8 обдувается

сзади вентилятором охлаждения. Детали печатающей головки смонтированы в металлическом корпусе 11.

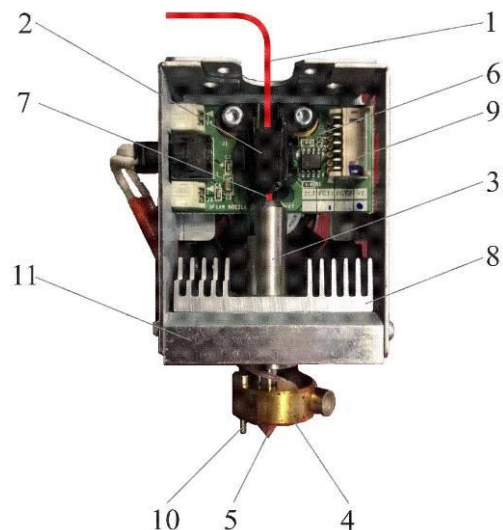


Рис. 4. Конструкция печатающей головки 3D-принтера: 1 – пластиковая проволока (расходный материал для печати); 2 – зажим; 3 – направляющая втулка; 4 – экструдер; 5 – сопло; 6 – микроконтроллер печатающей головки; 7 – воздушный термоизоляционный зазор; 8 – радиатор охлаждения; 9 – разъем подключения питания и интерфейса управления; 10 – измерительный щуп; 11 – корпус

При печати могут возникать различные мелкие дефекты поверхности, которые устраняются в ходе последующей механической обработки (обрезка кусачками, обтачивание напильниками, шлифовка, полировка). Наибольшую опасность представляет отклеивание печатаемой детали от поверхности рабочего стола и деформации под воздействием гравитации. Появление таких дефектов во многих случаях требует перепечатывания детали с применением специальных мер.

Последствия отклеивания детали наглядно показаны на рис. 5. Поверхность, соприкасающаяся с рабочим столом принтера, под воздействием технологических термусадочных напряжений искривилась, что вызвало отклеивание одного из углов печатаемой детали. Аналогичный дефект возник при печати шкива приводной станции макета (рис. 6).



Рис. 5. Отклеивание и деформация угла печатаемой детали

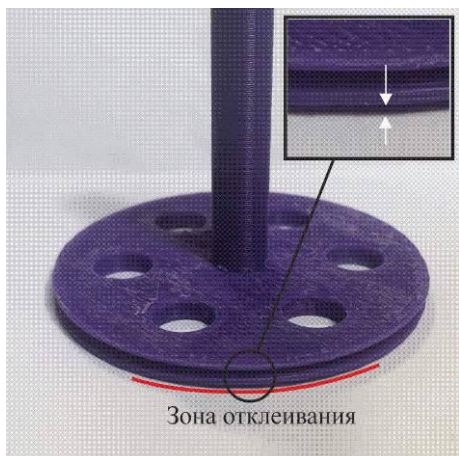


Рис. 6. Отклеивание поверхности шкива

Для улучшения сцепления печатаемой детали и рабочего стола поверхность последнего покрывается малярным скотчем или специальным листовым самоклеющимся материалом. Это также защищает рабочий стол от повреждений. Практика показала, что наиболее эффективным способом борьбы с отклеиванием является нанесение поверх малярного скотча или листового покрытия канцелярского клея (рис. 7).



Рис. 7. Нанесение канцелярского клея для улучшения сцепления печатаемой детали с рабочим столом 3D-принтера

Если расплавленный пластик оказывается без опоры снизу, то под воздействием гравитации он течет вниз, что приводит к искажению формы детали (рис. 8). Для предотвращения этого необходимо добавлять в модель поддерживающие элементы (поддержки), которые будут препятствовать стеканию материала вниз.

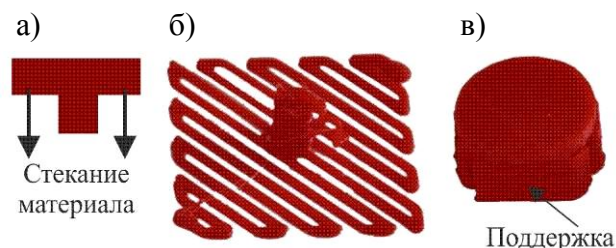


Рис. 8. Гравитационные дефекты детали и их предотвращение: а – эскиз детали; б – дефект печати; в – поддерживающий элемент (поддержка)

После окончания печати деталь снимается с рабочего стола принтера шпателем (рис. 9). В случае применения канцелярского клея может понадобиться использование канцелярского ножа.

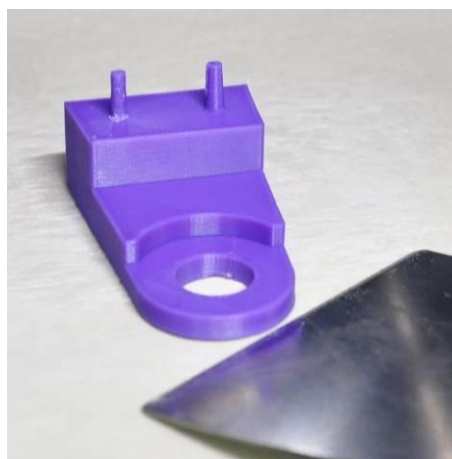


Рис. 9. Снятие детали с рабочего стола 3D-принтера

Как было сказано выше, неровности и шероховатости на поверхности напечатанной детали удаляются механическим способом. На рис. 10 показана обработка шкива в сборе с опорой с помощью шлифовальной машинки. Также можно выполнить сглаживание поверхности растворителем (для пластика ABS используется ацетон).



Рис.10. Механическая обработка шкива

3D-принтер при печати может не обеспечивать точное совпадение размеров изготавливаемой детали. Например, шероховатость поверхности может выступать за номинальный размер, заданный в геометрической модели. Последующая механическая обработка детали может быть недопустима по эстетическим соображениям.

Для подбора необходимых размеров, гарантирующих получение требуемой посадки деталей в сборке, рекомендуется проводить тестовую печать. Например, для обеспечения посадки Н0 оси шкива и подшипника опоры (рис. 11) с номинальным диаметром 9,0 мм напечатаны фрагменты оси шкива высотой 5,0 мм и диаметром 8,7; 8,8; 8,9 мм. По итогам тестовой печати номинальный размер оси шкива был выбран равным 8,9 мм. Это обеспечило требуемую посадку.



Рис. 11. Тестовая печать для подбора диаметра оси шкива

В ряде случаев текстура поверхности напечатанной детали отвечает эстетическим требованиям, например, в изготовленных макетах шарнирных соединений манипуляционных систем мобильных машин [3, 4]. В этом случае внешняя поверхность детали имеет волнистую текстуру, повторяющую рельеф поверхности рабочего стола.

Нанесение лакокрасочного покрытия существенно улучшает внешний вид распечатанных деталей. Поэтому элементы макета мобильной канатной дороги окрашены акриловой краской.

Следует отметить, что качественная покраска требует соблюдения технологии нанесения, указанной в инструкции по применению. Также необходимо исключить влияние внешней среды на окрашиваемые поверхности.

Перед покраской дефекты поверхности замазываются шпаклевкой с последующим удалением затвердевших излишков наждачной бумагой или шлифовальной машинкой. Дефекты могут быть замазаны раствором пластика в растворителе.

Затем поверхность деталей зачищается наждачной бумагой и обезжиривается уайт-спиритом. Эти мероприятия позволяют улучшить качество нанесения краски.

Для предотвращения движения деталей под действием струи краски, распыляемой из баллона или аэрографа, детали фиксируются на подложке с помощью двухстороннего скотча (рис. 12) или устанавливаются в держатели (рис. 13). Поверхности, которые не покрываются лакокрасочным покрытием, закрываются малярным скотчем.



Рис.12. Фиксация деталей на подложке двухсторонним скотчем



Рис.13. Размещение деталей в держателях (покраска верхней поверхности шкива)

Покраска деталей включает в себя нанесение нескольких слоев грунтовки (рис. 14) и нескольких слоев краски (рис. 15).

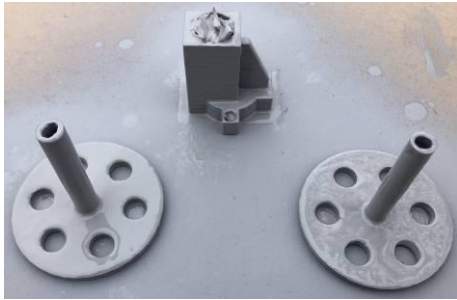


Рис.14. Нанесение грунтовки



Рис.15. Нанесение краски

Перед нанесением каждого слоя выдерживается время, необходимое для высыхания предыдущего слоя (согласно инструкции производителя). Макет мобильной канатной дороги покрашен акриловой краской по акриловой грунтовке.

Краска может наноситься как с помощью аэрографа (баллона с краской), так и с помощью кистей.

Модель базовой станции мобильной канатной дороги имеет сложную конфигурацию, потому при ее печати использовались поддерживающие элементы. На рис. 16,а они

показаны красными прерывистыми линиями. Кроме того, распечатанные детали потребовали дополнительной механической обработки поверхности для удаления дефектов и обеспечения требуемой шероховатости поверхности.

Покраска модели базовой станции проводилась после надежного скрепления двух ее половин штифтами и болтами, так как зазор между ними был предварительно зашпаклеван (рис. 16).

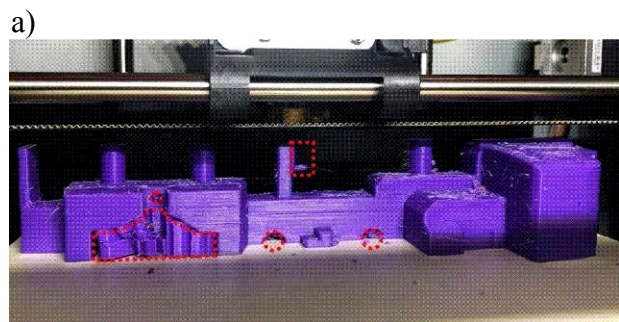


Рис.16. Сборка модели базовой станции:
а – правая половина во время печати,
б – готовая правая половина,
в – две половины в сборе

После окончания общей покраски элементов макета вручную были покрашены мелкие части макета (передние и задние фары, окна кабины и т.п.).

На завершающем этапе была выполнена окончательная сборка деталей макета, как изготовленных с помощью 3D-печати, так и приобретенных отдельно.

4. Создание системы управления макетом мобильной канатной дороги

Созданный макет мобильной канатной дороги является действующим. Для демонстрации функционала системы макет оснащен приводом с системой управления на базе микроконтроллера Arduino (рис. 17).

В корпус макета приводной станции мобильной канатной дороги встроен электромотор 1, подключенный к компактному микроконтроллеру Arduino Nano 2. Для изменения направления вращения электромотора используется кнопка реверса 3, для изменения скорости вращения – регулируемый резистор 4. Питание системы может осуществляться как от USB-разъема микроконтроллера, так и от аккумулятора 5. Предусмотрена

функция подзарядки аккумулятора от USB-разъема микроконтроллера.

Для проверки работоспособности системы указанные компоненты были собраны с использованием макетной платы 6 для монтажа без припаивания (рис. 17, б). После тестирования и настройки компоненты системы были перемонтированы путем припайки на более компактной и надежной в эксплуатации макетной плате из фольгированного стеклотекстолита (рис. 17, в). Для защиты от внешних воздействий, компоненты системы управления были помещены в корпус, изготовленный с помощью 3D-печати.

Окончательный вариант использования изготовленной мехатронной системы в составе макета мобильной канатной дороги показан на рис.17, г.

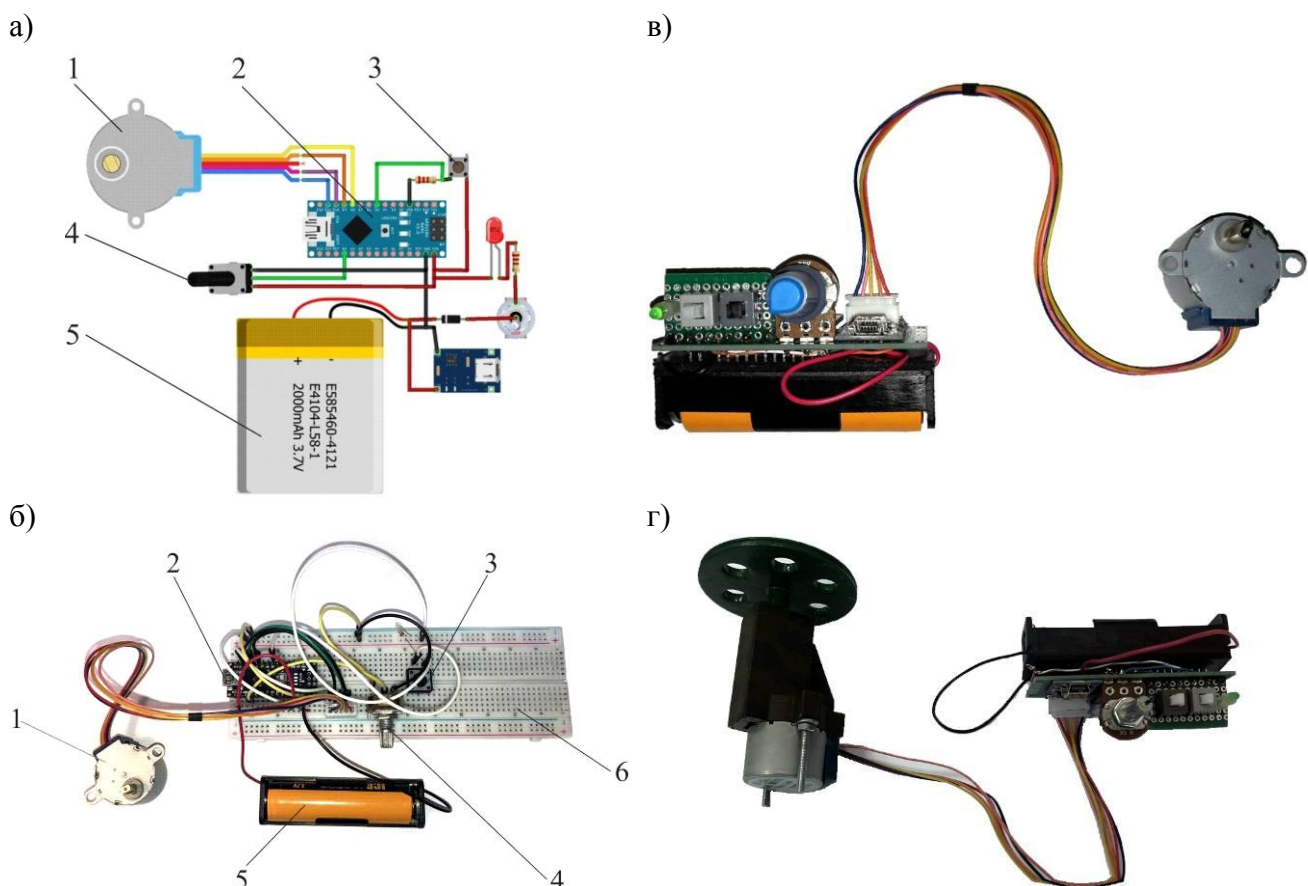


Рис. 17. Этапы создания привода и системы управления макетом на базе микроконтроллера Arduino: а – эскиз схемы в программе Fritzing; б – предварительная сборка компонентов на макетной плате для проверки работоспособности; в – окончательная сборка компонентов на макетной плате из фольгированного стеклотекстолита; г – окончательный вид привода в составе макета; 1 – электромотор; 2 – микроконтроллер Arduino Nano; 3 – кнопка реверса; 4 – резистор регулировки скорости вращения; 5 – аккумулятор 5В; б – макетная плата для монтажа без припаивания

5. Исследование динамических процессов в макете мобильной канатной дороги с помощью метода видео-фиксации

Для исследования динамических процессов был применен предложенный в [3] метод видео-фиксации с последующей обработкой записей в программном комплексе Kinovea.

На данном этапе исследований проведение эксперимента не было нацелено на выявление каких-то качественных явлений. На рис. 18 показан график кольцевого движения точки подвеса груза с координатой x и массой 2,45 г по пролету длиной 1,46 м. Масса каната составила 2,2 г, жесткость на растяжение – 100 Н/м.

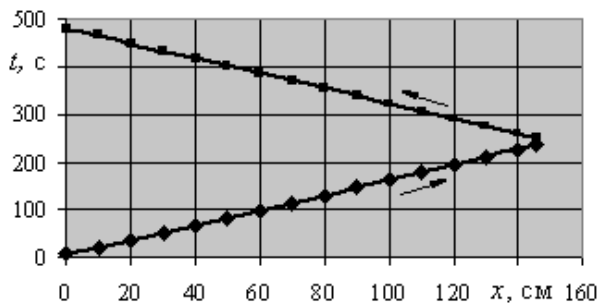


Рис. 18. График движения точки подвеса груза

Макет приводился в движение шаговым бесколлекторным униполярным электрическим мотором 28BYJ-48, который создавал на своем валу крутящий момент 34,3 мНм.

Список литературы

1. Пат. 2337023 Рос. Федерация: МПК7 В61В 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / Короткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов В.Б. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. – № 2007102705/11; заявл. 24.01.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. 30.
2. Лагереv, А.В. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог / А.В. Лагереv, В.И. Таричко, С.П. Солдатченков // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2019. – №2. – С. 210-220. – DOI: <https://doi.org/10.22281/>

6. Основные выводы

В рамках исследования создан масштабный макет мобильной канатной дороги. На его примере апробированы технологии изготовления объектов с помощью 3D-печати. Макет оснащен мехатронным приводом, позволяющим наглядно продемонстрировать принцип работы транспортной системы.

С помощью метода видео-фиксации [3] исследованы динамические процессы в канатной системе. Движение точки подвеса груза происходит с постоянной скоростью. Однако упругие колебания в канатной системы вызывают маятниковые колебания подвешенного груза. Полученные данные (в виде серии видео-файлов) будут использоваться для первичной проверки результатов моделирования динамики мобильных канатных дорог с использованием разработанных математических моделей.

Установлено, что при наличии системы координат, позволяющей однозначно идентифицировать положение точки слежения, возможно проводить видеосъемку в крупном масштабе без соблюдения требования полного захвата всего объекта исследования.

Опыт создания макетов, полученный в ходе данной работы, в настоящий используется при создании выставочных образцов подвесных ленточных конвейеров с распределенным приводом [5-7].

References

1. Patent RU 2337023, B61B 7/00. Mobilnaya podvesnaya kanatnaya doroga [Mobile ropeway]. Korotkiy A.A., Khalphin M.N., Maslov V.B. Published 27.10.2008. (In Russian)
2. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Soldatchenkoy 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: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-210-220 (In Russian)
3. Lagerev I.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov manipulyatsionnykh sistem mobilnykh mnogoselevykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov* [Modeling of

2413-9920-2019-05-02-210-220.

3. Лагерев, И.А. Моделирование рабочих процессов манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов / И.А. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 371 с. DOI: 10.5281/zenodo.1198980.

4. Лагерев, И.А. Современная теория манипуляционных систем мобильных многоцелевых транспортно-технологических машин и комплексов. Конструкции и условия эксплуатации / И.А. Лагерев, А.В. Лагерев. – Брянск: РИО БГУ, 2018. – 190 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>.

5. Лагерев, А.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, П.В. Бословяк. – Брянск: РИО БГУ, 2016. – 303 с.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308>

6. Лагерев, А.В. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом / А.В. Лагерев, Д.Ю. Кулешов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013.- №2. – С. 50-56.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302028>

7. Лагерев, А.В. Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров / А.В. Лагерев, Е.Н. Толкачев, К.А. Гончаров. – Брянск: РИО БГУ, 2017. – 384 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612>

work processes in manipulation systems for mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 371 p. DOI: 10.5281/zenodo.1198980 (In Russian)

4. Lagerev I.A., Lagerev A.V. *Sovremennaya teoriya manipulatsionnykh system mobilnykh mnogotselovykh transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Konstruktsiya i usloviya ekspluatatsii* [Modern theory of manipulation systems of mobile multi-purpose transport and technological machines and complexes. Design and operating conditions]. Bryansk, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, 2018. 190 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1294622>. (In Russian)

5. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. *Proektirovanie i issledovanie konveyerov s podvesnoy gruzonesushey lentoy* [Design and research of conveyors with suspended load-bearing belt]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308> (In Russian)

6. Lagerev A.V., Kuleshov D.Yu. *Dynamic processes in transient modes of operation of a discrete section of the conveyor with a distributed drive. Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.2, pp. 50-56.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302028> (In Russian)

7. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochikh protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Simulation of working processes and design of multi-drive belt conveyors]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1196612> (In Russian)