

УДК 621.86.032:62-526

DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-45-52

Д.Е. Дьяков, И.А. Валиулин, Д.В. Лиховидов, А.В. Великанов

СОЗДАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ МОДЕЛИ БЕЗВОДИЛЬНОГО АЭРОДРОМНОГО БУКСИРОВЩИКА

Разработан перспективный аэродромный безводильный буксировщик для повышения экономической эффективности средств буксировки воздушных судов, а также обеспечения надежной эксплуатации в различных климатических условиях.

Определен технический облик создаваемой конструкции, и ее предполагаемый состав. Рас-

смотрена работа проектируемого устройства в тяговом режиме работы, и представлена характеристика расчета его показателей при движении по опорной поверхности.

Ключевые слова: безводильный аэродромный буксировщик, воздушное судно, тяговый расчет.

D.E.Dyakov, I.A. Valiulin, D.V. Likhovidov, A.V. Velikanov

CREATING A WORKING MODEL OF A DRIVERLESS AIRFIELD TOW TRUCK

The purpose of the research in this paper is to develop a promising airfield driverless tow truck to increase the economic efficiency of aircraft towing facilities, including unmanned aircrafts as well as to ensure reliable operation in various climatic conditions.

The research methods include the analysis of the experience of using such driverless airfield tow trucks abroad, the theory of calculating traction and speed indicators and experimental studies conducted during the creation and study of field tests of devices used to load the driving wheels of a tractor.

To achieve the goal, the configuration of the structure being designed and its intended composition

are determined analytically. The operation of the designed device in the traction mode is considered, and the characteristic of calculating its indicators when moving along the support surface is presented.

The presented material briefly illustrates the process from creating a model of a driverless airfield tow truck to the created design of an existing sample, which will later be used to conduct its full-scale tests and a comprehensive assessment of its strength traction and speed characteristics.

Key words: airfield driverless tow truck, aerial vehicle, traction calculation.

Введение

На международном салоне Макс недавно был представлен первый в России буксировочный комплекс «Геркулес», который заявлен уникальным универсальным средством, эффективно решающим все задачи буксировки, маневрирования и парковки воздушных судов (ВС). Он сочетает в себе функционал безводильного тягача с повышенной проходимостью, а также возможности специальных особо маневренных буксировщиков с дистанционным управлением и механизмом «наземного автопилота» для автоматической буксировки ВС по заранее проложенной фиксированной траектории. Буксировщик содержит блок аккумуляторной батареи, четыре вентильных электродвигателя, соединенных с помощью

редукторов с ведущими колесами, подвижную грузовую платформу, соединенную с захватным устройством.

Буксировочный комплекс «Геркулес» обеспечивает требуемый суточный пробег за счет использования литий-железо-фосфатных аккумуляторных батарей, имеющих более высокую удельную энергоемкость и возможность заряда за время в 5...8 раз меньше по сравнению со свинцовыми батареями [1].

Война в Нагорном Карабахе стала триумфом для ударных БПЛА. Летательные аппараты турецкого производства обеспечили Азербайджану убедительную победу. «Знаменосцы» в первые недели боев подавили разрозненную противовоздушную оборону Нагорного Карабаха и

практически полностью уничтожили армянскую бронетехнику [2]. Это в очередной раз подтверждает необходимость развития направления беспилотных летательных аппаратов модификаций: Альтиус (6 т), Гром (7 т), Гелиос (4 т), Сириус (2,5 т), которые используют как в разведывательных, так и в ударных целях с возможностью преодоления противовоздушной обороны противника [3].

Буксировка ВС на аэродромах в основном производят автомобили повышенной проходимости общего применения с колесной формулой 4×4, 6×6 и 8×8 [4]. Тяговые возможности выпускаемых промышленностью колесных тягачей для проведения буксировки ВС несколько ниже требуемых значений, которые связаны с большим весом ВС. Для уменьшения пробуксовки колес в момент трогания с места в кузов тягача загружают балластные бетонные или металлические плиты, которые увеличивают вес тягача и улучшают сцепление колес с аэродромным покрытием. Такое решение проблемы приводит к увеличенному расходу топлива тягача и повышенному амортизационному износу узлов и систем автомобиля. Сегодня существуют достаточно эффективные методы повышения тяговых качеств колесных тягачей-буксировщиков [5]. При этом следует отметить эффективность использования дополнительной догрузки в зоне опорного периметра весом самолета, приходящимся на его переднюю стойку величиной 30 кН, тяговая мощность агрегата увеличивается на:

- сухом цементобетонном покрытии – на 58,3 %;
- мокрому цементобетонному покрытию – на 51,2 %;
- заснеженном покрытии – на 64,7 %;
- обледенелом покрытии – на 54,5 %.

При этом удельный эффективный расход топлива уменьшается в среднем на 34,7 % [6].

Одним из перспективных направлений развития средств буксировки ВС является безводильная буксировка, которая

заключается в захвате и загрузке передней стойки на раму тягача, и использование в качестве дополнительного балласта для увеличения сцепного веса на ведущих колесах.

Использование БПЛА требует определенного комплекса средств наземного обслуживания. В том числе стоит вопрос о включении в этот комплекс средств буксировки, которые должны удовлетворять определенным требованиям. Работа по созданию малогабаритных средств транспортирования на аэродроме на протяжении 10 лет активно ведется коллективом авторов, которая привела к разработке устройств способных конкурировать с мировыми разработками [7]. На сегодняшний день в рамках технического договора совместно с Казанским НИИ авиационных технологий и Казанским агрегатным заводом с 2018 года в инициативном порядке проводятся работы по созданию действующей модели перспективного безводильного аэродромного буксировщика.

В основу разработки перспективной модели тягача легла заинтересованность Ульяновского завода гражданской авиации в применении данного рода устройств в комплексе с создаваемыми БПЛА с взлетным весом от 5 000 до 8000 кг. Кроме того, задел научно-технических разработок позволит использовать возможности по буксировке ВС типа Су-25, Як-130, Л-39, Ансат, Асат-У с взлетным весом 10000 кг, при нагрузке на сцепное устройство около 2500 кг [8]. На стадии проектирования создана компьютерная модель устройства, позволяющая сформировать представление о компоновке и требуемых элементов действующей модели (рис. 1).

Важным вопросом в создании буксировочного устройства стоит выбор силового агрегата. При этом в приоритет ставится применение двигателя внутреннего сгорания, который в отличие от электродвигателя, расширяет возможности использования комплексов в условиях базирования в районах Крайнего Севера и Арктики.

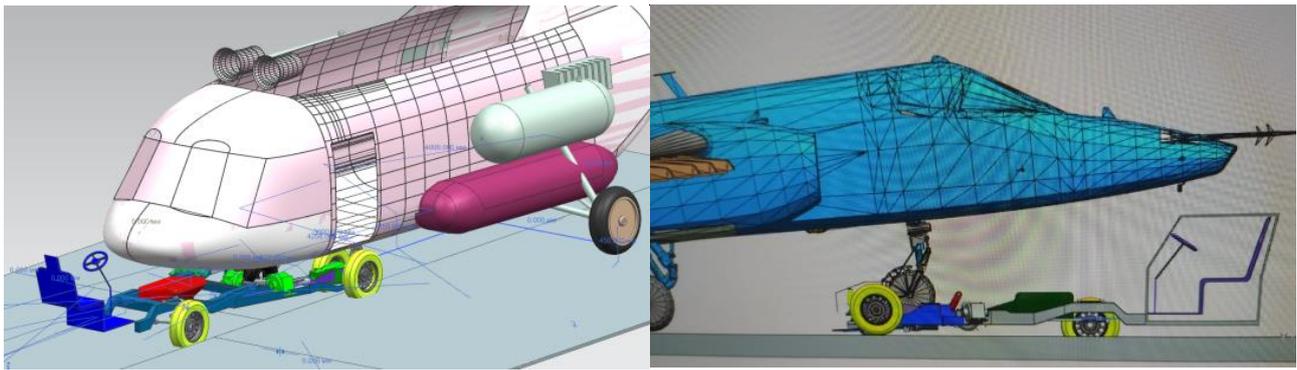


Рис. 1. Модель буксировщика при транспортировании воздушных судов

В ходе работ по созданию устройства был сформирован технический облик малогабаритного аэродромного безводильного буксировщика. При этом приняты следующие проектируемые параметры и состав конструкции:

- колесная формула 4×2;
- вес тягача 1200 кг;
- база тягача 5000×1700 мм;
- диаметр колес 700 мм;
- силовая установка 85 л.с.

– вращающий момент 110 Н·м при 4100 об/мин с автоматической трансмиссией (передаточные числа: 1-я передача – 3, главная пара – 4, раздаточная коробка – 2,6).

Следует отметить, что существуют и отечественные двигатели, у которых есть возможность в перспективе стать основной силовой установкой устройства, например, двигатель ЯМЗ-534 является современным, экономичным и в то же время обладающим достаточными мощностными характеристиками вес составляет около 110 кг, его модификации могут работать на газе. Кроме того, есть еще более малогабаритные двигатели Заволжского, Ульяновского и Владимирского моторных заводов.

В соответствии с указанными исходными данными были определены тягово-скоростные характеристики буксировщика. Изначально определим силу сопротивления качения P_f необходимую для трогания с места ВС в сцепке с тягачом. С учетом значений коэффициента сопротивления качения f для различных

поверхностей определим $P_{0,008} = 1,136$ кН, $P_{0,015} = 2,13$ кН, $P_{0,03} = 4,26$ кН.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что для равномерного прямолинейного движения необходимо развить силу тяги, которая в идеальных условиях составляет всего 1,136 кН (113,6 кг). Но ранее выполненные исследования свидетельствуют, что для начала движения и преодоления сил трения покоя при трогании с места необходимо развить силу в 1,5-2 раза большую, т.е. 2,27 кН.

В связи с этим для буксировки летательных аппаратов с весом около 10 тонн разрабатываемому устройству необходимо развить следующие значения силы тяги:

- на подготовленной (ровной, накрытой и подготовленной) поверхности – 1,7-2,3 кН;
- на сухой и мокрой поверхности 3,2-4,3 кН;
- для обледенелой и заснеженной поверхности – 6,4-8,5 кН.

Для оценки необходимых параметров двигателя и трансмиссии определим максимальное тяговое усилие на колесах тягача P_k развиваемое двигателем [9].

$$P_k = \frac{M_e i_m \eta_m}{r_k}. \quad (1)$$

При известном крутящем моменте на валу двигателя $M_e = 110$ Н·м, общем передаточном числе трансмиссии $i_m = 31,2$ – для первой передачи и $i_m = 10,4$ – для высшей передачи так как максимальное значение передаточного отношения в

рабочем диапазоне определяется моментом перехода работы гидротрансформатора в режим работы гидромукты, что имеет место при коэффициенте трансформации, близком к единице, коэффициенте полезного действия трансмиссии

$\eta_m = 0,9$ и радиусе колеса $r_k = 0,35$ м (рис. 2). Расчет проводился в среде свободного программного обеспечения *SmathStudio* [10].

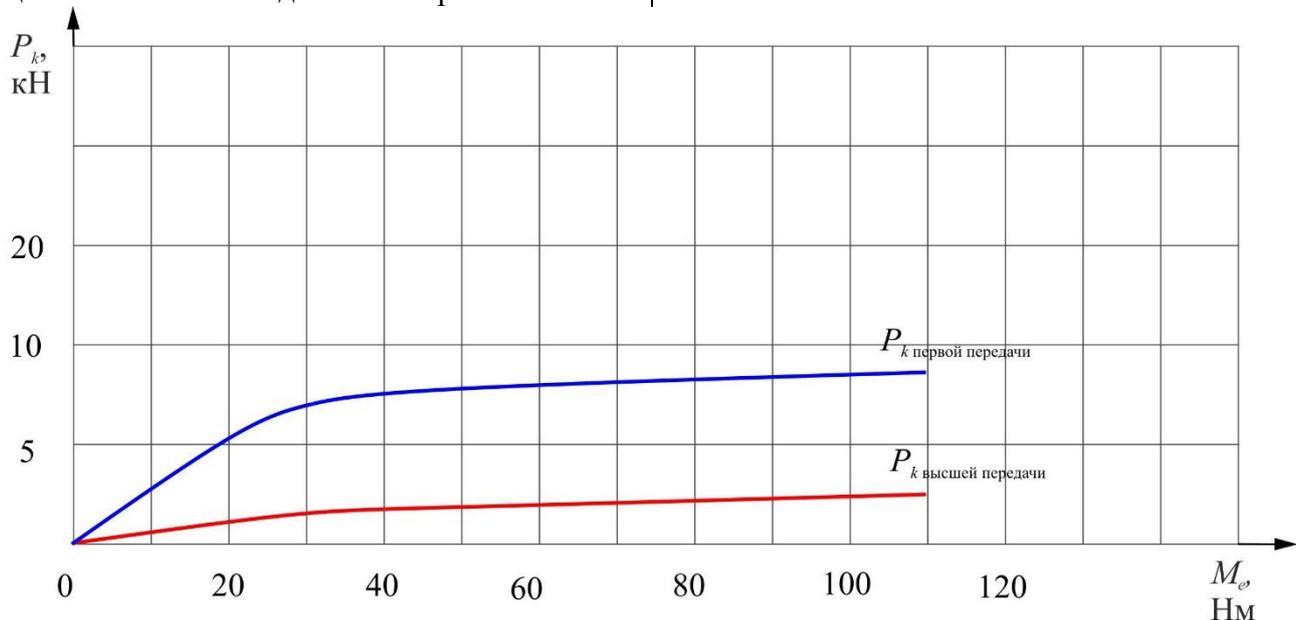


Рис. 2. Характеристика тягового усилия развиваемое двигателем на колесах буксировщика

Отсюда получим, что максимальное усилие, которое может развить планируемый двигатель с указанными характеристиками элементов трансмиссии и колес составляет 8,82 кН для первой передачи и 2,94 кН для высшей.

С целью получения данных о реальных возможностях создаваемого устройства на различных типах покрытия произведем расчет максимального тягового усилия, развиваемого двигателем на колесах тягача по различным типам опорной поверхности:

$$P_\phi = G_{\text{сц}} \phi, \quad (2)$$

где $G_{\text{сц}}$ – сцепной вес (вес самого тягача 12 кН и примерный вес приходящийся на сцепное устройство тягача от догрузки летательным аппаратом составляет около 15 % = 15 кН) 27 кН; ϕ – коэффициент сцепления с дорогой (0,3 – снег и лед; 0,4 – мокрая поверхность; 0,7 – сухая поверхность), откуда максимальная сила тяги которую может развить тягач при догрузке 1,5 тонны на различных поверхностях составляет $P_{0,3} = 8,1$; $P_{0,4} = 10,8$; $P_{0,7} = 18,9$.

На основании полученных параметров нельзя в полной мере судить о достаточности исходных данных, так как к ключевым характеристикам перспективного аэродромного безводильного буксировщика следует отнести не только тяговые, но и скоростные возможности на различных режимах работы.

Расчет скорости движения в различных режимах осуществляется по формуле:

$$V = 0,377 \frac{r_k n_e}{i_m}, \quad (3)$$

где n_e – частота вращения вала двигателя (ограничиваем до 3500 об/мин); i_m составляет 31,2 – для первой передачи и 10,4 – для высшей передачи (рис. 3).

Имеющиеся данные позволяют определить скорость движения для заданных значений частоты вращения вала двигателя и передаточного числа трансмиссии: $V_{1 \text{ передачи}} = 14,8$ км/ч (4,1 м/с); $V_{\text{высш. передачи}} = 44$ км/ч (12,3 м/с).

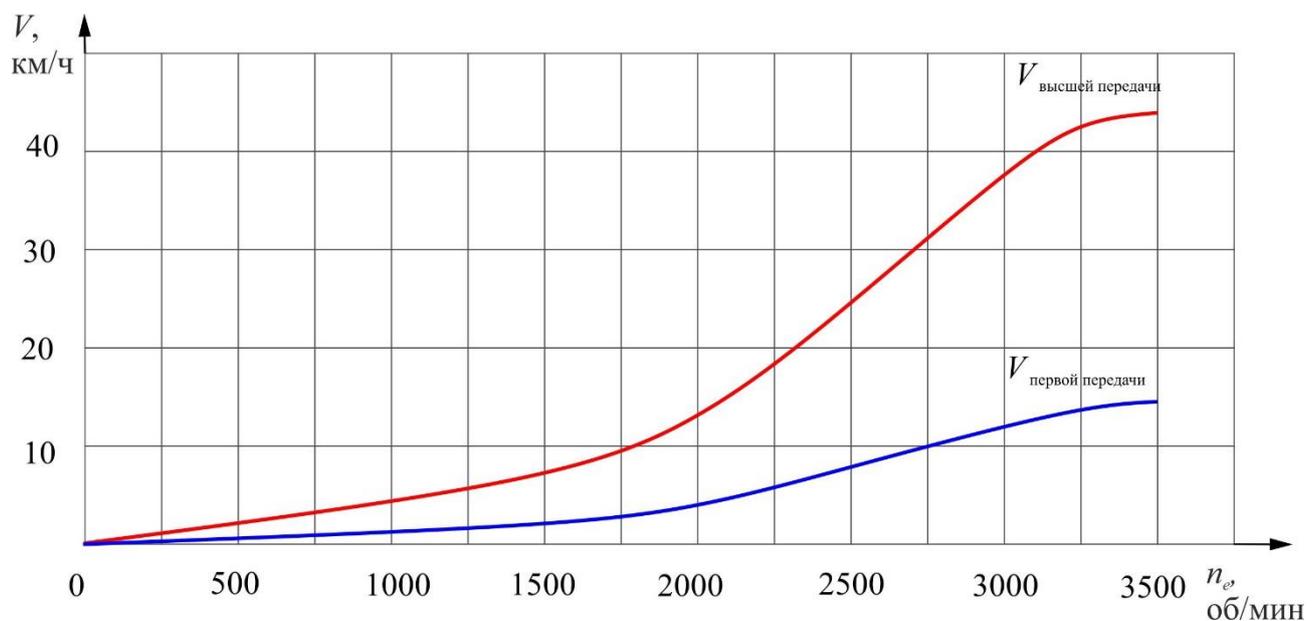


Рис. 3. Скоростная характеристика создаваемого буксировщика

Согласно проведенным теоретическим расчетам для буксировки ВС со взлетным весом около 10 тонн при всех состояниях поверхности аэродромного покрытия требуется тяговое усилие до 8,5 кН. При заданных передаточных числах двигатель развивает максимальное тяговое усилие 8,82 кН при скорости движения около 12 км/ч в режиме буксировки и 2,94 кН в режиме холостого пробега на скорости 36 км/ч. Увеличение передаточного числа повлечет снижение скорости буксировки. Максимально развиваемое тягачом усилие по сцеплению на заснеженной поверхности в $P_{0,3} = 8,1$ находится в пределах необходимых значений 6,4–8,5 кН. При этом, значительно увеличивать передаточное число не рекомендуется, если представленные исходные данные верны, то требуется подбор раздаточной коробки или главных пар с большими числами, но не более 3 и 4,6 соответственно, что обеспечит более высокое тяговое усилие (при скорости буксировки – 10 км/ч и холостого пробега – 30 км/ч).

В проработке конструкции для осуществления буксировки летательного аппарата необходимо тщательно подходить к прочностному и мощностному расчету для качественного функционирования буксировочной системы. Проведена проверка модели, создаваемой конструкции

на статическую прочность в пробной версии системы автоматизированного проектирования *SolidWorks*, с последующим расчетом на статическую прочность в приложении *SimulationXpress*. Которая показала, что элементом, воспринимающим основные нагрузки буксировщика, является рампа подъема и фиксации передней стойки ВС, поскольку на его переднюю стойку приходится до 15 % от общего веса, который в 7-10 превышает его собственный. Оценка прочностных показателей производилась построением нагрузочных эпюр с целью определения запаса прочности и наиболее опасных сечений для прогнозирования участков возможной деформации использовался встроенный симулятор программы критерия текучести фон Мизеса. По результатам испытаний на статику под нагрузкой 1400 кг получили прогиб центральной поперечины 3-4 мм, и закручивание задних концов 4-5 градуса. Расчеты показали, что прочность конструкции требует усиления от 200 процентов. В нагруженных частях предлагается усилить т-образным и н-образным профилем с закрытыми сечениями в нагруженных местах. Примерная номинальная нагрузка составит 20 кН.

По итогам проведения дополнительных расчетных работ в рамках со-

трудничества ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж) с АО «КНИИАТ» (г. Казань) на сегодняшний день создана основа конструкции со снаряженной трансмиссией и

силовым агрегатом действующей модели перспективного безводильного аэродромного буксировщика, представленная на рис. 4.



Рис. 4. Конструкция буксировщика на стадии сбора

Следует отметить, что применение предлагаемого безводильного буксировщика ВС позволит повысить производительность, снизить удельные эффективные затраты за счет ряда преимуществ перед штатными средствами буксировки. К этим преимуществам можно отнести:

- исключение балластного груза для догрузки колесных движителей;
- обеспечение возможности буксировки без дополнительного устройства (водила) для связи изделия и летательного аппарата;

Вывод

Для создания подобных устройств, в первую очередь, очень важно правильно подобрать силовую установку и трансмиссию, во-вторую – конструктивное решение и материалы их реализации и в-третьих – создание 3D модели и расчет предварительных характеристик позволяет обосновать будущую эффективность устройства и возможность его реализации в виде действующей модели. После завершения сборки буксировщик планируется привлечь для проведения натурных испытаний на учебном аэродроме ВУНЦ ВВС «ВВА» с целью реальной оценки его

- уменьшение габаритных размеров буксировщика и повышение его маневренности с возможностью выполнять буксировку в условиях ограниченного пространства (ангары, палубы кораблей, стоянки летательных аппаратов и др.);

- сокращение времени подготовки к буксированию и последующего отсоединения изделия от воздушного судна, что способствует повышению боевой готовности летательных аппаратов при подготовке к вылету.

возможностей по транспортированию различных типов летательных аппаратов. В данном случае предлагаемый аэродромный малогабаритный безводильный буксировщик является актуальным и перспективным отечественным средством подготовки к вылету и позволит увеличить оперативность подготовки летательных аппаратов. А создание авиационных эскадрилий и полков с беспилотными летательными аппаратами повлечет необходимость создания комплекса современных средств наземного обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **На МАКС-2017 представили авиационный буксировочный комплекс с аккумуляторным электроприводом.** – Текст : электронный // *Aviation Explorer* : содружество авиационных экспертов . – 2017. – URL: <https://aex.ru/news/2017/7/21/172804> (дата обращения: 15.04.2021).
 2. **Азербайджан показал, как армяне лишались своей дальнобойной артиллерии.** – Текст : электронный // *Военное обозрение* : сетевое издание . – 2020. – URL: <https://topwar.ru/175964-baku-prodolzhaet-publikovat-video-unichtozhenija-bespilotnikami-armjanskoj-bronitehniki.html> (дата обращения: 15.04.2021).
 3. **Невиданные крылатые роботы: эксклюзивный репортаж о беспилотниках.** – Текст : электронный // *Вести*: сетевое издание . – 2021. – URL: <https://vesti.ru/article/2527042> (дата обращения: 30.04.2021).
 4. **Дьяков, Д. Е.** Проблемы эксплуатации аэродромных буксировщиков и пути их решения / Д. Е. Дьяков, В. В. Зацепин, Д. В. Лиховидов, Р. А. Мачехин // *Современные проблемы науки и образования*. - 2014. - № 1. - URL: [http // www.sciece-education.ru/115-12123](http://www.sciece-education.ru/115-12123) (дата обращения: 08.06.2021).
 5. **Дьяков, Д. Е.** Малогабаритный буксировщик воздушных судов для реализации способа обеспечения максимального тягового усилия / Д. Е. Дьяков, Д. В. Лиховидов, О. В. Рачинский // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. - 2017. № 12. С. 88-93.
 6. **Помощник для самолета** / А. В. Великанов, Д. В. Лиховидов, Д. Е. Дьяков, [и др] // *Армейский сборник*. – 2020. – №5. – С. 38-44.
 7. **Дьяков, Д. Е.** Модель буксировочной системы авиационного комплекса с дистанционным управлением [Электронный ресурс] / Д. Е. Дьяков, Д. В. Лиховидов, А. В. Великанов // *Фундаментальные исследования*. - 2015. - URL: [http // www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10008507](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10008507) (дата обращения: 08.06.2021).
 8. **Дьяков, Д. Е.** Способ буксировки воздушных судов с использованием малогабаритного буксировщика / Д. Е. Дьяков // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – Иркутск, 2018. – Т. 22. № 1. – С. 202-208. – ISSN 2500-1590
 9. **Ульянов, Н. А.** Основы теории и расчета колесного движителя землеройных машин / Н. А. Ульянов. – М. : Машгиз, 1962. – 208 с.
 10. **Свидетельство на программу для ЭВМ № 2021612053 Российская Федерация.** Программа расчета внешней скоростной характеристики транспортного средства : № 2021612053 : заявл. 25.01.2021 : опубл. 10.02.2021 / Дьяков Д.Е., Лиховидов Д.В., Великанова Л.А., Дьякова Н.А. ; заявитель Дьяков Д.Е. – 1 с.
1. **An Aviation Towing Complex with a Battery Electric Drive Was Presented at MAKS-2017.** *Aviation Explorer*, 2017. Available at: <https://aex.ru/news/2017/7/21/172804> (accessed 15.04.2021).
 2. **Azerbaijan Showed How Armenians Lost Their Long-range Artillery.** *Voennoe Obozrenie*, 2020. Available at: <https://topwar.ru/175964-baku-prodolzhaet-publikovat-video-unichtozhenija-bespilotnikami-armjanskoj-bronitehniki.html> (accessed 15.04.2021).
 3. **Unprecedented Wings Robots: an Exclusive Report on Drones.** *Vesti*, 2021. Available at: <https://vesti.ru/article/2527042> (accessed 30.04.2021).
 4. **Dyakov, D.E., Zatsepin, V.V., Likhovidov, D.V., Machekhin, R.A.** Problems of Operation of Airfield Tow Trucks and Ways to Solve Them. *Sovremennye Problemi Nauki I Obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014. Available at: [http // www.sciece-education.ru/115-12123](http://www.sciece-education.ru/115-12123) (accessed 08.06.2021).
 5. **Dyakov, D.E., Likhovidov, D.V., Rachinskiy, O.V.** A Small-sized Aircraft Tow Truck for the Implementation of a Method to Ensure Maximum Traction. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2017, no. 12, pp. 88-93.
 6. **Velikanov, A.V., Likhovidov, D.V., Dyakov, D.E.** Assistant for aircrafts. *Armeiskiy Sbornik*, 2020, no. 5, pp. 38-44.
 7. **Dyakov, D.E., Likhovidov, D.V., Velikanov, A.V.** Towing System Model of an Aviation Complex with Remote Control. *Fundamentalnie Issledovaniya*, 2015. Available at: [http // www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10008507](http://www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10008507) (accessed 08.06.2021).
 8. **Dyakov, D.E.** Method of Aircraft Towing Using a Small-sized Tow. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 202-208.
 9. **Ulyanov, N.A.** Fundamentals of the Theory and Calculation of the Wheel Mover of Earthmoving Machines. Moscow, Mashgiz, 1962, 208 p.
 10. **Dyakov, D.E., Likhovidov, D.V., Velikanova, L.A., Dyakova, N.A.** The Program for Calculating the External Speed Characteristics of the Vehicle. *Svidetelstvo na programme dlya EVM* [The Certificate for a Comuper Program], No. 2021612053, 2021.

Ссылка для цитирования:

Дьяков Д.Е. Создание действующей модели безводильного аэродромного буксировщика / Д.Е. Дьяков, И.А. Валиулин, Д.В. Лиховидов, А.В. Великанов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. - № 10. – С.45 - 52. DOI: 10.30987/1999-8775-2021-10-45-52.

Статья поступила в редакцию 07.06.21.

Рецензент: д.т.н., профессор Тульского государственного университета

Агуреев Е.И.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 27.09.21.

Сведения об авторах:

Дьяков Денис Евгеньевич, к.т.н., нач. научно-исследовательской лаборатории Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, e-mail: snooker646@rambler.ru.

Валиулин Искандер Абрикович, руководитель направления Казанского научно-исследовательского института авиационных технологий, Республика Татарстан, г. Казань, e-mail: alexande@bk.ru.

Dyakov Denis Evgenyevich, Candidate of Technical Sciences, the Head of the Research Laboratory of the Military Training and Scientific Center of the Air Force, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. E-mail: snooker646@rambler.ru.

Valiulin Iskander Abrikovich, the Head of Kazan Research Institute of Aviation Technologies, Republic of Tatarstan, Kazan. E-mail: alexande@bk.ru.

Likhovidov Dmitriy Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department

Лиховидов Дмитрий Викторович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобильная подготовка» Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, e-mail: Likhvid2008@rambler.ru.

Великанов Алексей Викторович, к.т.н., профессор, нач. факультета беспилотной авиации Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, e-mail: snooker646@rambler.ru.

of Automotive Training at Military Training and Scientific Center of the Air Force, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. E-mail: Likhvid2008@rambler.ru.

Velikanov Aleksey Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, the Head of the Faculty of Unmanned Aviation at the Military Training and Scientific Center of the Air Force, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. E-mail: snooker646@rambler.ru.