

УДК 62-526: 621.86.032

DOI 10.18698/0536-1044-2017-12-88-93

Малогабаритный буксировщик воздушных судов для реализации способа обеспечения максимального тягового усилия

Д.Е. Дьяков, А.В. Великанов, Д.В. Лиховидов, О.В. Рачинский

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394000, Воронеж, Российская Федерация, ул. Старых Большевиков, д. 54а

Compact Tow Tractors for Aircraft that Provide Maximum Traction

D.E. Dyakov, A.V. Velikanov, D.V. Likhovidov, O.V. Rachinskiy

Military Educational and Scientific Center — Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin, 394000, Voronezh, Russian Federation, Starykh Bolshevikov St., Bldg. 54a



e-mail: snooker646@rambler.ru, likhvid2008@rambler.ru



В настоящее время вследствие развития аэродромной сети и военной авиации немало внимания уделяется модернизации средств наземного обеспечения полетов общего применения, в том числе транспортировочных устройств воздушных судов. Анализ зарубежных разработок показал многовариантность конструкторских решений. Чтобы успешно обслуживать полеты авиации, необходимо применять современную специальную аэродромную технику, обладающую высокими функциональными возможностями, и проводить ее грамотную безаварийную эксплуатацию. Это обеспечит безопасность и регулярность полетов, а следовательно, и высокий уровень выполнения поставленных боевых задач. В связи с этим предложен способ буксировки воздушных судов с помощью малогабаритного буксировщика с дистанционным управлением. Целью работы в данном направлении следует считать развитие сети аэродромных малогабаритных буксировочных систем авиационных комплексов для максимального достижения технико-экономического результата при буксировке воздушных судов.

Ключевые слова: воздушное судно, малогабаритный буксировщик, дистанционное управление, тяговое усилие



In connection with the development of the existing airport network and military aviation, much attention is paid to the modernization of ground equipment for general aviation flights, including aircraft towing systems. The analysis of foreign works has shown a wide range of design solutions. To successfully service aviation flights, modern specialized airfield equipment is required that provides high functionality and competent, accident-free operation. It ensures safety and regularity of flights, and, consequently, a high level of performance of combat tasks. The article proposes a method of towing aircraft using a compact tow tractor with remote control. The aim of the work is the development of a network of compact tow tractors for aircraft systems to achieve maximum technical and economic result when towing aircraft.

Keywords: aircraft, compact tow tractor, remote control, towing force

Создание высокотехнологичной техники с широкими функциональными возможностями, предназначенной для обслуживания воздушных судов (ВС), и ее грамотная безаварийная эксплуатация являются залогом обеспечения безопасности и регулярности полетов современной авиации, а следовательно, и высокого уровня выполнения поставленных задач.

На отечественных военных аэродромах буксировку ВС с мест стоянок на технические позиции и обратно осуществляют серийно производимые автомобили повышенной проходимости общего применения с колесной формулой 4×4, 6×6 и 8×8. Для транспортирования ВС колесными тягачами используют унифицированные буксировочные водила, имеющие сцепное устройство с передней стойкой шасси ВС и буксирным крюком автомобиля. Существуют различные конструкции буксировочных водил, которые постоянно модифицируются [1].

Тяговые возможности колесных тягачей, выпускаемых промышленностью для буксировки ВС, несколько ниже требуемых значений, связанных с большим взлетным весом ВС. Для улучшения сцепления колес тягача с аэродромным покрытием в его кузов загружают балластные бетонные или металлические плиты [2].

Еще в 1970-е годы австралийские исследователи установили, что переход на дистанционное управление строительной машиной с выходом оператора за пределы кабины повышает ее производительность на 10...30 % в зависимости от характера выполняемых технологических операций. Этот факт породил бум производства радиоуправляемых машин [3].

Цель работы — совершенствование конструкции и способа буксировки с использованием малогабаритного буксировщика, а также исследование тяговых возможностей предлагаемого устройства по реализации максимального тягового усилия.

В настоящее время в ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» проводится разработка перспективной аэродромной малогабаритной буксировочной системы дистанционного управления [4]. Следует отметить, что основными исходными данными служат масса ВС, мощностные характеристики трансмиссии и состояние аэродромной поверхности.

Обзор литературы позволил выявить отличия этой работы от ранее проведенных исследований. Немаловажным является анализ от-

клонения тягового усилия от нормальных реакций ведущих колес при функционировании аэродромной малогабаритной буксировочной системы, которая выполняет догрузку тягача за счет веса перемещаемого ВС, приходящегося на переднюю стойку при прямолинейном и криволинейном движениях.

Дальнейшие исследования позволили найти наиболее подходящее техническое решение малогабаритного устройства для буксировки ВС [5], содержащего: несущую раму, двигатель (силовой агрегат) с редуктором, гидравлический насос с распределителем, гидравлические цилиндры, механизм подъема и фиксации колес передней стойки ВС, рампу этого механизма, поворотную ось, фиксатор колес передней стойки ВС, направляющие рампы с прорезями и упор рампы для фиксации колес стойки ВС. К недостаткам такого устройства относится высокая трудоемкость процесса буксировки, так как при управлении тягачом водитель-оператор не обеспечивает полный контроль над транспортируемым средством. При этом вес ВС от передней стойки распределяется по осям тягача неравномерно, что влечет за собой быстрый износ и выход из строя частей и механизмов конструкции. Кроме того, находящийся в кабине водитель-оператор при буксировке подвергается воздействию вибрации.

В настоящее время нами проводится работа по созданию малогабаритного буксировщика ВС с дистанционным управлением, с помощью которого можно реализовать разработанный способ буксировки [6] и достичь:

- расширения функциональных возможностей буксировочного устройства путем его оборудования высокотехнологичным дистанционным управлением, удовлетворяющим общемировым стандартам безопасности;
- обеспечения максимальной эффективности при минимальных размерах устройства и парковочного пространства;
- полного визуального контроля за всеми частями ВС при буксировке, исключая возможность столкновения;
- унификации, позволяющей использовать буксировщик для всех типов ВС без переналадки и дооборудования;
- улучшения маневренности;
- исключения воздействия на оператора вибрационных нагрузок.

Предлагаемый способ наземной буксировки ВС реализуется применением малогабаритного

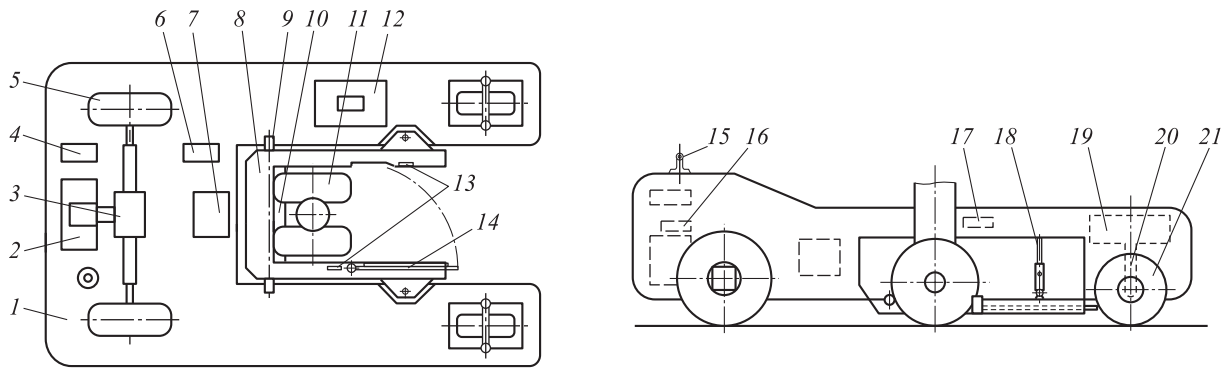


Рис. 1. Малогабаритный буксировщик ВС с дистанционным управлением [7]:

1 — несущая рама; 2 — силовой агрегат; 3 — трансмиссия; 4 — приемник сигнала; 5 — ведущие колеса; 6 — микроконтроллер управления; 7 — источник питания; 8 — рампа механизма подъема и фиксации колес передней стойки ВС; 9 — поворотная ось; 10 — упор для фиксации и центровки колес передней стойки ВС; 11 — колеса передней стойки ВС; 12 — гидравлический насос с распределителем; 13 — прижимные гидроцилиндры механизма фиксации колес передней стойки ВС; 14 — фиксатор колес передней стойки ВС; 15 — разъем резервного канала подключения кабеля к пульту управления буксировщиком; 16 и 17 — блоки управления силовым агрегатом и гидрораспределителем; 18 — гидроцилиндры механизма подъема; 19 и 20 — сервопривод и вилка управляемых колес; 21 — управляемые колеса

буксировщика с дистанционным управлением (рис. 1), который снабжен рампой механизма подъема и фиксации колес передней стойки ВС и фиксатором этих колес.

Особенностью предлагаемого способа является то, что оператор управляет процессом буксировки с помощью пульта дистанционного управления (рис. 2), осуществляя полный визуальный контроль над буксировщиком и ВС.

Кроме того, такой способ позволяет повысить тяговое усилие по сцеплению ведущих колес малогабаритного тягача с опорной поверхностью в начальный период буксировки ВС и при движении по аэродромному покрытию с низким коэффициентом сцепления, а также уменьшить пробуксовку колес и расход топлива, значительно сократить трудозатраты и исключить воздействие вибрации на оператора.

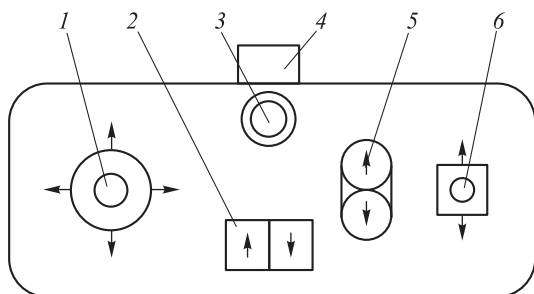


Рис. 2. Пульт дистанционного управления малогабаритным буксировщиком ВС [7]:

1 — джойстик ускорения и изменения направления движения; 2 — тумблер переключения передач; 3 — тумблер пуска и остановки силового агрегата; 4 — разъем резервного канала подключения кабеля к пульту управления буксировщиком; 5 — тумблер управления работой механизма фиксации; 6 — джойстик управления подъемом и опусканием рампы

Особенностью всех тягачей является крюковая нагрузка $P_{кр}$, развиваемая колесными двигателями и ограничивающая тяговое усилие T по сцеплению с опорной поверхностью [8]. Помимо этого, ВС имеют большую площадь крыльев и чутко реагируют на встречные ветровые потоки. При значительной скорости ветра может возникнуть существенная подъемная сила, из-за которой изменится вертикальная реакция опорной поверхности на колесо шасси ВС, что может привести к потере продольной устойчивости. Пренебречь этим обстоятельством нельзя. При этом одновременно возникает горизонтальное сопротивление воздуха ВС, увеличивающее необходимое тяговое усилие. В данном случае $P_{кр}$ будет формироваться в зависимости от силы сопротивления качению ведомых колес шасси ВС P_{fBC} и аэродинамической силы лобового сопротивления X .

Крюковая нагрузка $P_{кр}$ аэродромного малогабаритного буксировщика

$$P_{кр} = T = P_{fBC} + X.$$

Сила сопротивления качению ведомых колес шасси ВС в процессе буксировки

$$P_{fBC} = (G_{BC} - Y - G_{ПС})f = R_4 f,$$

где G_{BC} — вес ВС; Y — составляющая полной аэродинамической силы; $G_{ПС}$ — вес ВС, приходящий на переднюю стойку; f — коэффициент сопротивления качению колеса по опорной поверхности (для сухого цементобетонного аэродромного покрытия $f = 0,015$); R_4 — нормальная реакция опорной поверхности на основные стойки шасси ВС.



Рис. 3. Проведение экспериментальных исследований на сухом аэродромном покрытии

Чтобы тягач начал буксировку и развил необходимую скорость движения $v_{дв}$, ему необходимо преодолеть собственную силу сопротивления движению с загруженной передней стойкой и силу сопротивления движению ВС. При проведении натурных испытаний на учебном аэродроме в качестве буксируемого ВС был выбран учебно-боевой комплекс Як-130, сила сопротивления движению которого вместе с тягачом составляла 0,75 кН (рис. 3).

Согласно данным более ранних исследований, в начальный момент движения тягача указанная сила должна быть в 1,5–2 раза больше [9]. Этот факт подтвердили результаты эксперимента: в начальный момент движения мало-

габаритному буксировщику потребовалось развить тяговое усилие $T = 1,2$ кН (рис. 4).

Кроме того, экспериментальные исследования позволили определить максимальное тяговое усилие, развиваемое буксировщиком, путем использования тормозной системы ВС для создания дополнительной силы сопротивления до полной остановки тягача.

Результаты испытаний показали, что разработанное устройство способно буксировать ВС с максимальным взлетным весом до 50 кН, а имеющийся запас мощности N_T (см. рис. 4) свидетельствует о его возможности транспортировать ВС с гораздо большим взлетным весом.

Малогабаритный буксировщик, представляющий собой сложное механическое устройство, имеет достаточно сложный характер взаимодействия шин с опорной поверхностью. При этом на него воздействуют силы, зависящие от множества факторов, возникающих при работе колесного движителя.

Выводы

1. Разработанная конструкция малогабаритного буксировщика при догрузке весом ВС, приходящимся на переднюю стойку, позволяет развить максимальное тяговое усилие и необходимую скорость для движения.

2. Использование предложенного устройства позволит начать новый этап развития средств транспортирования ВС.

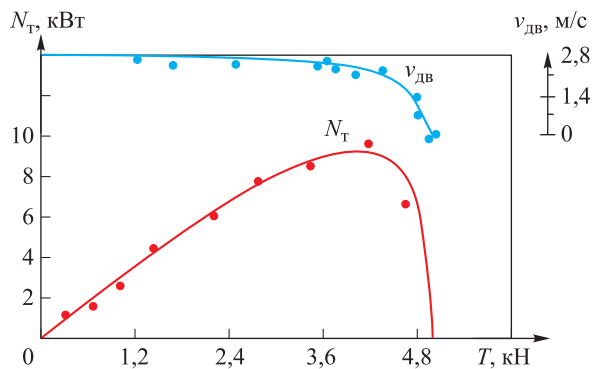


Рис. 4. Зависимость мощности N_T и скорости движения $v_{дв}$ буксировщика от тягового усилия T при его растормаживании:
 точки — экспериментальные данные;
 кривые — аппроксимация

Литература

- [1] Зацепин В.В., Лиховидов Д.В., Дьяков Д.Е., Мачехин Р.А. Проблемы эксплуатации аэродромных буксировщиков и пути их решения. *Современные проблемы науки и образования*, 2014, № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12123> (дата обращения 11 мая 2016).
- [2] Дьяков Д.Е., Лиховидов Д.В. Аспекты создания робототехнических средств буксировки самолетов. *Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты. Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф.*, Кемерово, 25–26 мая 2016 г., Кемерово, Западно-Сибирский научный центр, 2016, т. 3, с. 109–112.
- [3] Котровский М.Н., Тараканов А.Н. Дистанционно-автоматизированное управление машинами. *Горная Промышленность*, 2004, № 4, с. 2–4.
- [4] Великанов А.В., Германович А.С., Великанова Н.А., Проскурин Р.А. *Малогабаритное устройство для буксирования воздушных судов*. Пат. РФ 2365524, 2009, бюл. № 24, 7 с.
- [5] Великанов А.В., Германович А.С., Великанова Н.А., Проскурин Р.А. *Малогабаритное устройство для буксирования воздушных судов*. Пат. РФ 2483988, 2013, бюл. № 16, 7 с.
- [6] Плахотин А.А., Великанов А.В., Лиховидов Д.В., Заикин А.В., Дьяков Д.Е., Германович А.С., Носов Е.В. *Способ буксировки самолетов с использованием малогабаритного буксировщика с дистанционным управлением*. Пат. РФ 2618611, 2017, бюл. № 13, 9 с.
- [7] Дьяков Д.Е., Лиховидов Д.В., Великанов А.В. Модель буксировочной системы авиационного комплекса с дистанционным управлением. *Фундаментальные исследования*, 2015, № 10–3, с. 466–470. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39239> (дата обращения 05 сентября 2017).
- [8] Ульянов Н.А. *Основы теории и расчета колесного движителя землеройных машин*. Москва, Машгиз, 1962. 208 с.
- [9] Великанов А.В. *Повышение тяговых качеств аэродромных колесных тягачей*. Дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 1999. 176 с.

References

- [1] Zatsëpin V.V., Likhovidov D.V., D'iakov D.E., Machekhin R.A. Problemy ekspluatatsii aerodromnykh buksirovshchikov i puti ikh resheniia [Problems of operation of the aerodrome tow-boats and ways of their solution]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia* [Modern problems of science and education]. 2014, no. 1. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12123> (accessed 11 May 2016).
- [2] D'iakov D.E., Likhovidov D.V. Aspekty sozdaniia robototekhnicheskikh sredstv buksirovki samoletov [Aspects of creating robotic vehicles towing aircraft. Fundamental research: theoretical and practical aspects]. *Fundamental'nye nauchnye issledovaniia: teoreticheskie i prakticheskie aspekty. Sb. mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Fundamental research: theoretical and practical aspects. Proceedings of the international scientific-practical conference]. Kemerovo, 25–26 May 2016, Kemerovo, West-Siberian scientific center publ., 2016, vol. 3, pp. 109–112.
- [3] Kotrovskii M.N., Tarakanov A.N. Distantcionno-avtomatizirovannoe upravlenie mashinami [Remote automated control of machines]. *Gornaia Promyshlennost'* [Mining]. 2004, no. 4, pp. 2–4.
- [4] Velikanov A.V., Germanovich A.S., Velikanova N.A., Proskurin R.A. *Malogabaritnoe ustroistvo dlia buksirovaniia vozdushnykh sudov* [A small-size device for aircraft towing]. Patent RF no. 2365524, 2009. 7 p.
- [5] Velikanov A.V., Germanovich A.S., Velikanova N.A., Proskurin R.A. *Malogabaritnoe ustroistvo dlia buksirovaniia vozdushnykh sudov* [A small-size device for aircraft towing]. Patent RF no. 2483988, 2013. 7 p.
- [6] Plakhotin A.A., Velikanov A.V., Likhovidov D.V., Zaikin A.V., D'iakov D.E., Germanovich A.S., Nosov E.V. *Sposob buksirovki samoletov s ispol'zovaniem malogabaritnogo buksirovshchika s distantcionnym upravleniem* [Method of towing aircraft using tow small with remote control]. Patent RF no. 2618611, 2017. 9 p.

- [7] D'iakov D.E., Likhovidov D.V., Velikanov A.V. Model' buksirovochnoi sistemy aviatsionnogo kompleksa s distantsionnym upravleniem [Model of towing system of aviation complex with remote control]. *Fundamental'nye issledovaniia* [Fundamental research]. 2015, no. 10–3, pp. 466–470. Available at: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39239> (accessed 05 September 2017).
- [8] Ul'ianov N.A. *Osnovy teorii i rascheta kolesnogo dvizhitelia zemleroinykh mashin* [Fundamentals of theory and calculation of wheel mover machinery]. Moscow, Mashgiz publ., 1962. 208 p.
- [9] Velikanov A.V. *Povyshenie tiagovykh kachestv aerodromnykh kolesnykh tiagachei*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the traction qualities of the airfield wheeled tractor. Cand. tech. sci. diss.]. Voronezh, 1999. 176 p.

Статья поступила в редакцию 10.10.2017

Информация об авторах

ДЬЯКОВ Денис Евгеньевич (Воронеж) — адъюнкт кафедры автомобильной подготовки. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394000, Воронеж, Российская Федерация, ул. Старых Большевиков, д. 54а, e-mail: snooker646@rambler.ru).

ВЕЛИКАНОВ Алексей Викторович (Воронеж) — кандидат технических наук, профессор, начальник факультета беспилотной авиации. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394000, Воронеж, Российская Федерация, ул. Старых Большевиков, д. 54а, e-mail: snooker646@rambler.ru).

ЛИХОВИДОВ Дмитрий Викторович (Воронеж) — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильной подготовки. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394000, Воронеж, Российская Федерация, ул. Старых Большевиков, д. 54а, e-mail: likhvid2008@rambler.ru).

РАЧИНСКИЙ Олег Валериевич (Воронеж) — преподаватель кафедры автомобильной подготовки. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394000, Воронеж, Российская Федерация, ул. Старых Большевиков, д. 54а, e-mail: snooker646@rambler.ru).

Information about the authors

DYAKOV Denis Evgenievich (Voronezh) — Postgraduate, Department of Automotive Training. Military Educational and Scientific Center — Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin (394000, Voronezh, Russian Federation, Starykh Bolshevikov St., Bldg. 54a, e-mail: snooker646@rambler.ru).

VELIKANOV Aleksey Viktorovich (Voronezh) — Candidate of Science (Eng.), Professor, Head of Faculty of Unmanned Aircraft. Military Educational and Scientific Center — Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin (394000, Voronezh, Russian Federation, Starykh Bolshevikov St., Bldg. 54a, e-mail: snooker646@rambler.ru).

LIKHOVIDOV Dmitriy Viktorovich (Voronezh) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Automotive Training. Military Educational and Scientific Center — Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin (394000, Voronezh, Russian Federation, Starykh Bolshevikov St., Bldg. 54a, e-mail: likhvid2008@rambler.ru).

RACHINSKIY Oleg Valerievich (Voronezh) — Lecturer, Department of Automotive Training. Military Educational and Scientific Center — Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovskiy and Y.A. Gagarin (394000, Voronezh, Russian Federation, Starykh Bolshevikov St., Bldg. 54a, e-mail: snooker646@rambler.ru).