

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ТЯГОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ БУКСИРОВЩИКА, ОБОРУДОВАННОГО СТАРТОВЫМ УСТРОЙСТВОМ**

**Саяпин И. В., Великанов А. В.**

*ФГКВБОУ ВПО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)», Россия (394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А), e-mail: vaiu@mil.ru*

Проведен анализ современной наземной специальной авиационной техники, выявлены ее основные недостатки. Определена цель развития системы средств наземного обслуживания воздушных судов и их влияние на повышение боевой готовности авиационных частей. Рассмотрена роль буксировщиков воздушных судов в общей системе подготовительных средств авиационного комплекса с учетом особенностей эксплуатации аэродромных тягачей в различных погодных условиях. Проведен анализ результатов исследований отечественных и зарубежных ученых и сформулированы основные направления повышения эффективности использования буксировщиков воздушных судов. Предложена конструкция аэродромной буксировочной системы, оборудованной стартовым устройством. Рассмотрен способ регулирования начальной скорости движения ВС. Обоснована экономическая эффективность использования устройства. Описана методика осуществления процесса буксировки воздушных судов с использованием буксировщика, оборудованного стартовым устройством. Разработана методика оценки эффективности использования тормозных колодок для увеличения тяговых возможностей аэродромных колесных тягачей.

Ключевые слова: аэродромный тягач, воздушное судно, стартовое буксировочное устройство.

## **TECHNIQUE OF THE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF USE OF BRAKE SHOES FOR INCREASE IN TRACTION OPPORTUNITIES OF THE TOWER EQUIPPED WITH THE STARTING DEVICE**

**Sayapin I. V., Velikanov A. V.**

*FGKVOU VPO "Military educational scientific center of Military and air forces "Military and air academy of a name of professor N. E. Zhukovskogo and Yu. A. Gagarin" (Voronezh)", Russia (394064, Voronezh, Starykh Bolshevikov St., 54A), e-mail: vaiu@mil.ru*

The analysis of modern terrestrial specific aviation engineering, and identified its main weaknesses. The goal of the development of the system of means of ground handling of aircraft, and their influence on the increase of combat readiness of aircraft parts. Consider the role of tow-boats aircraft in the General system of preparatory funds aviation complex allowing for the use of aircraft tugs in different weather conditions. Analysis of the results of studies of domestic and foreign scientists and formulates the main directions of increase of efficiency of use of tow-boats aircraft. The design of airfield towing system equipped starting device. The method of regulation of the initial speed of movement of aircraft. Sound economic performance of the device. Describes the technique of realization of process of the towing aircraft, using a towing equipped starting device. The methodology to assess the effectiveness of the use of the brake pads to increase traction capabilities of the aerodrome wheeled actors ractors.

Keywords: aerodrome tractor, aircraft, starting towing device.

### **Введение**

В настоящее время Военно-воздушные силы РФ претерпевают значительные изменения, в первую очередь, связанные с проведением военной реформы. Большую роль в данных преобразованиях играет модернизация строевых летательных аппаратов и поставка новой авиационной техники [6].

В связи с этим обеспечение бесперебойности и безаварийности эксплуатации воздушных судов, базирующихся на аэродромах или совершающих транспортные операции, требует высокого качества аэродромно-технического обеспечения. На сегодняшний день в

авиационных подразделениях обеспечения существует большое количество разнотипных средств наземного обслуживания общего применения (СНООП). Среди них устаревшие образцы, которые по своим эксплуатационно-техническим характеристикам не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к воздушным судам (ВС) четвертого поколения, а тем более вновь разрабатываемым типам ВС пятого поколения [5].

Целью исследования является развитие системы средств наземного обслуживания общего применения, создание единого сбалансированного комплекса средств, позволяющих осуществлять аэродромно-техническое обеспечение всех типов летательных аппаратов ВВС и авиации других видов вооружённых сил в реальных условиях базирования и применения авиации.

Большинство СНООП по своим техническим параметрам нуждаются в их дальнейшей модернизации, а том числе и буксировщики ВС как специального, так и общего назначения. Современный технический уровень тяговых колесных машин в значительной мере определяется ходовым оборудованием. Колесные тягачи при буксировке ВС используют силу тяги создаваемую колесным двигателем, но при этом обладают запасом не реализованной мощности из-за значительного уменьшения коэффициента сцепления в зависимости от погодных условий.

Для увеличения тягового усилия, развиваемого буксировщиком ВС, используется загрузка дополнительного балласта на шасси тягача, что ведет к резкому увеличению эксплуатационных затрат. Данный метод не достаточно эффективен и не позволяет обеспечить экономически выгодное и надежное использование колесных тягачей для буксировки ВС.

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что для эффективного функционирования аэродромному тягачу в начальный период буксировки ВС необходимо создать тяговое усилие по сцеплению с опорной поверхностью, в два раза превышающее усилие равномерного прямолинейного движения [1,2,4,7]. Оборудование аэродромного колесного тягача стартовым устройством для буксировки и эвакуации ВС позволяет решать эту проблему.

Схема аэродромной буксировочной системы оборудованной стартовым гидравлическим устройством представлена на рисунке 1.

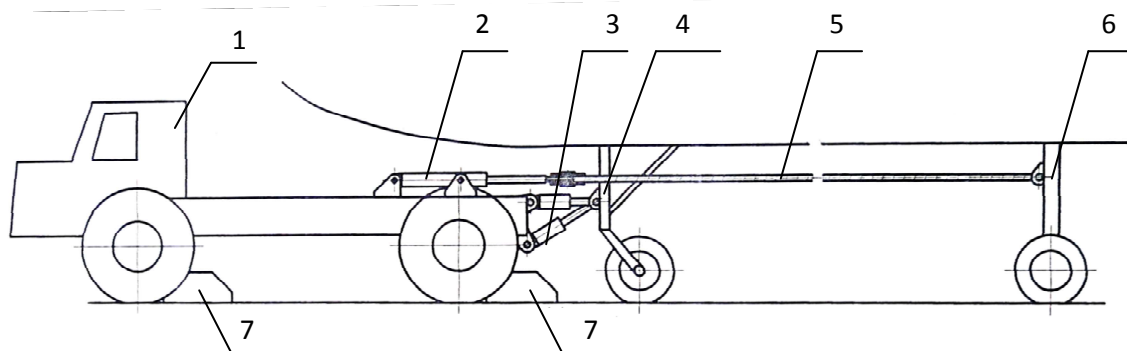


Рис.1. Аэродромная буксировочная система, оборудованная стартовым устройством

Аэродромная буксировочная система, оборудованная стартовым устройством, состоит из аэродромного колесного полноприводного тягача 1, на грузовой платформе которого закреплено стартовое устройство 2, выполненное в виде силового гидроцилиндра, взаимодействующего с основными стойками шасси 6 воздушного судна, через блок посредством тросового соединения 5.

Для увеличения сцепного веса тягача в задней его части консольно установлено направляющее догружающее устройство 3, взаимодействующее с передней стойкой воздушного судна 4. Для придания больших сцепных качеств тягачу под его колеса устанавливают съемные колодки 7.

Регулирование начальной скорости движения ВС, а соответственно и повышение стабильности разгона всего агрегата, может быть достигнуто путем установки под колеса буксировщика тормозных колодок. Воздушному судну сообщают движение относительно буксировщика, минуя колесный движитель, в направлении начала движения, после самостоятельного начала движения ВС убирают тормозные колодки и увеличивают сцепной вес буксировщика за счет вывешивания стойки шасси [3].

В данной статье рассмотрен вопрос эффективности использования тормозных колодок для увеличения тяговых возможностей буксировщика. При наличии тормозных колодок или отсутствии их определяющим фактором является сцепление с опорной поверхностью. Положительный эффект возникает, если колодка дает лучшее сцепление, чем само колесо. Поэтому прежде чем в деталях рассмотреть схему сил действующих при буксировке, следует показать, что здесь вообще может быть получен результат. Для того чтобы использовать тормозную колодку, нужно добиться того, чтобы у нее коэффициент трения с опорой был больше чем у колеса, для этого нужно подобрать материал и микрорельеф опорной части колодки с коэффициентом сцепления большим, чем у шин тягача.

Для углубленного рассмотрения процессов взаимодействия колесного движителя, заблокированного тормозной колодкой, разработана методика оценки эффективности использования колодок для увеличения тяговых возможностей буксировщика.

К колесу, находящемуся на наклонной поверхности колодки, приложены: вертикальная сила  $G$ , сила  $F$ , образующая с горизонтом угол  $\beta$ , и реакция  $R$  (рисунок 2). В этой ситуации буксировку ЛА осуществляет горизонтальная составляющая силы  $F$ , при этом сила сопротивления со стороны колодки  $T_{\text{кол}}$  будет равна произведению

$$T_{\text{кол}} = F \cos \beta.$$

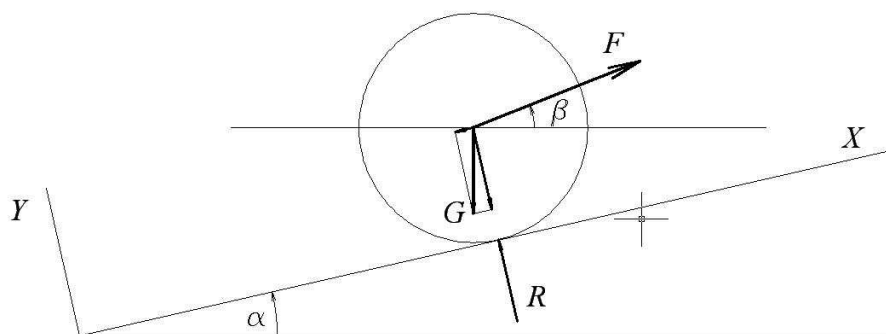


Рисунок 2. Схема взаимодействия колеса с колодкой

При традиционной буксировке максимальная тяга  $T_{\text{сц}}$ , передаваемая от колес тягача к ВС, определяется коэффициентом сцепления колес тягача с опорой  $\phi_{\text{сц1}}$ . Эта сила равна

$$T_{\text{сц}} = G \phi_{\text{сц1}}. \quad (1)$$

Применение колодок будет эффективно, если  $T_{\text{кол}}$  окажется больше  $T_{\text{сц}}$ , то есть при соблюдении неравенства

$$T_{\text{кол}} > T_{\text{сц}}. \quad (2)$$

При буксировке колодка не должна двигаться (скользить) относительно поверхности аэродрома, а колесо тягача не должно перемещаться по наклонной поверхности колодки.

Отсутствию скольжения колодки относительно поверхности аэродрома соответствует неравенство (рисунок 3)

$$R \sin \alpha \leq T_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{тр}}$  – сила трения колодки по опорной поверхности;  $R$  – нормальное давление колеса на колодку.

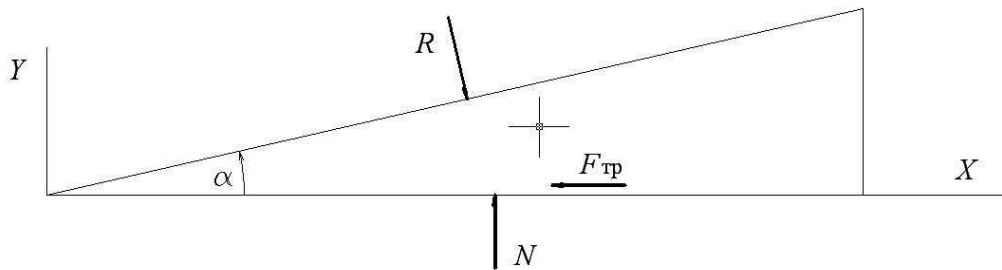


Рисунок 3. Схема равновесия колодки

Сила трения определяется равенством

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения между опорой и колодкой;  $N$  – сила нормального давления опорной поверхности на колодку.

Сила нормального давления  $N$  удовлетворяет уравнению

$$N - R \cos \alpha = 0,$$

то есть  $N = R \cos \alpha$

Тогда неравенство (3) принимает вид

$$R \sin \alpha \leq \mu R \cos \alpha,$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu. \quad (4)$$

Таким образом, колодка неподвижна при соблюдении неравенства (4), и максимальный допустимый угол наклона колодки определяется величиной коэффициента трения  $\mu$  между колодкой и опорной поверхностью

$$\alpha = \operatorname{arctg} \mu.$$

Далее проверяется возможность соблюдения условия (2) для случаев свободного колеса и колеса, нагруженного крутящим моментом.

Свободное колесо не катится по колодке при равенстве нулю суммы проекций сил на наклонную поверхность колодки

$$F \cos(\beta - \alpha) - G \sin \alpha = 0. \quad (5)$$

Откуда

$$F = \frac{G \sin \alpha}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

Следовательно,

$$T_{\text{кол}} = F \cos \beta = \frac{G \sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

Если по аналогии с  $\varphi_{\text{сц}}$  ввести в рассмотрение величину, равную отношению тяговой силы к весу, приходящемуся на колесо

$$\varphi_{\text{кол}} = \frac{T_{\text{кол}}}{G} = \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}, \quad (6)$$

то тяга, создаваемая при наличии колодок, запишется в виде

$$T_{\text{кол}} = G\varphi_{\text{кол}}. \quad (7)$$

Величину  $\varphi_{\text{кол}}$  естественно назвать коэффициентом сцепления колодки.

Из сопоставления соотношений (1), (2) и (7) следует, что эффект от применения колодок достигается в случае

$$\varphi_{\text{кол}} > \varphi_{\text{сц1}}. \quad (8)$$

Угол  $\beta$ , обеспечивающий максимум  $\varphi_{\text{кол}}$ , определяется из уравнения

$$\frac{d\varphi_{\text{кол}}}{d\beta} = \sin \alpha \cdot \frac{d}{d\beta} \left[ \frac{\cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right] = 0.$$

После вычисления производной получается

$$\frac{-\sin \beta \cos(\beta - \alpha) + \cos \beta \sin \beta}{\cos^2(\beta - \alpha)} = 0.$$

$$\sin \beta \frac{\cos \beta - \cos(\beta - \alpha)}{\cos^2(\beta - \alpha)} = 0.$$

Отсюда вытекают два решения

$$\sin \beta = 0 \text{ и}$$

$$\frac{\cos \beta - \cos(\beta - \alpha)}{\cos^2(\beta - \alpha)} = 0.$$

Первому решению соответствует  $\beta = 0$ .

Второе решение имеет место при  $\alpha = 0$ , что не соответствует наличию колодки.

Следовательно, максимальное значение  $\varphi_{\text{кол}}$  равно

$$\varphi_{\text{кол}} = \frac{\sin \alpha \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

А с учетом четности косинуса и того, что  $\beta = 0$

$$\varphi_{\text{кол}} = \text{tg } \alpha.$$

Поскольку в соответствии с (4)  $\text{tg } \alpha \leq \mu$ , то неравенство (8) принимает вид

$$\mu > \varphi_{\text{сц1}}. \quad (9)$$

Это значит, что требуемый эффект достигается в случае, когда коэффициент трения колодки по опорной поверхности аэродрома  $\mu$  превышает коэффициент сцепления колес тягача  $\varphi_{\text{сц1}}$  с той же опорой. Очевидно, что выполнение неравенства (9) в общем случае не обеспечивается, а если оно и выполнится, то эффект от колодки не будет значительным.

При этом можно отметить, что в условие (9) угол наклона колодки  $\alpha$  вообще не входит, а это значит, что вместо колодки может использоваться плоская прокладка с высоким коэффициентом трения.

Таким образом, использование колодок со свободными колесами нецелесообразно, хотя с точки зрения управления тягачом в момент трогания с места это было бы удобно.

Колесо, нагруженное крутящим моментом, не скользит по колодке при соблюдении равенства

$$F \cos(\alpha - \beta) - G \sin \alpha - \varphi_{\text{сц}2} G \cos \alpha = 0, \quad (10)$$

где  $\varphi_{\text{сц}2}$  – коэффициент сцепления заторможенных колес тягача с наклонной поверхностью колодки.

Откуда

$$F = \frac{G(\sin \alpha + \varphi_{\text{сц}2} \cos \alpha)}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

По аналогии со случаем качения определяется тяговая сила с применением колодок

$$T_{\text{кол}} = \frac{G(\sin \alpha + \varphi_{\text{сц}2} \cos \alpha) \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)},$$

коэффициент сцепления колодок

$$\varphi_{\text{кол}} = \frac{(\sin \alpha + \varphi_{\text{сц}2} \cos \alpha) \cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)}.$$

Максимум  $\varphi_{\text{кол}}$  вычисляется из условия

$$\frac{d\varphi_{\text{кол}}}{d\beta} = (\sin \alpha + \varphi_{\text{сц}2} \cos \alpha) \cdot \frac{d}{d\beta} \left[ \frac{\cos \beta}{\cos(\beta - \alpha)} \right] = 0,$$

он, как и в предыдущем случае, достигается при  $\beta = 0$ .

В результате

$$\varphi_{\text{кол}} = \frac{\sin \alpha + \varphi_{\text{сц}2} \cos \alpha}{\cos(-\alpha)} = \text{tg} \alpha + \varphi_{\text{сц}2}.$$

Или

$$\varphi_{\text{кол}} = \mu + \varphi_{\text{сц}2}.$$

После чего неравенство (8), характеризующее эффективность применения колодок при заторможенных колесах, принимает вид

$$\mu + \varphi_{\text{сц}2} > \varphi_{\text{сц}1}. \quad (11)$$

В дальнейшем полезно воспользоваться отношением

$$k_{\text{кол}} = \frac{\varphi_{\text{кол}}}{\varphi_{\text{сц}1}} = \frac{\mu + \varphi_{\text{сц}2}}{\varphi_{\text{сц}1}},$$

которое можно назвать коэффициентом эффективности колодок.

Этот коэффициент показывает, во сколько раз увеличивается тяга по сцеплению за счет использования колодок. Тогда наибольшее значение силы тяги тягача с колодками можно записать в виде

$$T_{\text{кол}} = G\varphi_{\text{сц1}}k_{\text{кол}}$$

Таким образом применение стартовых устройств при буксировке ВС с тормозными колодками обеспечивает экономически выгодное и надежное использование аэродромных колесных тягачей.

### Список литературы

1. Барбашин С. В., Великанов А. В., Пурусов Ю. М. Основы теории и расчёта аэродромных колёсных тягачей: Учебное пособие. ВВВАИУ. – Воронеж, 2000. – 119 с.
2. Великанов А. В. Повышение тяговых качеств аэродромных колесных тягачей: Дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, 1999.
3. Зацепин В. В., Саяпин И. В. Повышение эффективности работы аэродромного буксировщика в начальный период движения: Сборник статей по материалам XXII межвузовской НПК Перспектива – 2013. – Воронеж: ВУНЦ ВВС “ВВА”, 2013.
4. Канарчук Г. Н. Авиационная наземная техника. – М.: Транспорт, 1989. – 407 с.
5. Концепция развития системы средств наземного обслуживания летательных аппаратов общего применения. – М.: 30 ЦНИИ МО РФ, 2006.
6. Око планеты информационно – аналитический портал. Перспективы развития ВВС РФ. Категория: Политика “Политика” Оружие и конфликты 10-04-2012 год. – URL: <http://oko-planet.su/politik/politikarm/111779-perspektivy-razvitiya-vvs-rossii-chast-i.html>
7. Страхов Л. Н. Справочное пособие по средствам аэродромно-технического обеспечения полётов. – М.: Воениздат, 1973. – 280 с.

### Рецензенты:

Барабаш Д. Е., д.т.н., профессор, начальник кафедры изыскания и проектирования аэродромов Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил (Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина), г.Воронеж.

Федюнин П. А., д.т.н., профессор, начальник кафедры управления воинскими частями С и РТО авиации Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил (Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина), г.Воронеж.