

Выводы. Таким образом, действующий метод построения диаграммы натяжения гибкого тела в совокупности с приближенным уравнением гибких тел Эйлера не обеспечивает выполнения общепризнанных условий равновесия механической системы и современной редакции закона сохранения механической энергии в замкнутой механической системе.

Установлены закономерности реализации тягового усилия при трении замкнутого предварительно натянутого гибкого тела по блоку и распределения его натяжения.

Предлагается метод построения диаграммы натяжения гибкого тела ленточного конвейера, который соответствует условиям равновесия механической системы, закону сохранения механической энергии в замкнутой механической системе и представлениям о транспортировании распределенных грузов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи теорії та розрахунків засобів транспортування вантажів шахт: навч. посібник / М.Я. Біліченко. – Дніпропетровськ: Національна гірнича академія, Україна, 2002. – 103 с.
2. РТМ 24.093.04-80. Проектирование стационарных ленточных конвейеров общего назначения. - 1980.
3. Андреев А.В. Передача трением. – М.: Машгиз, 1963. – 112 с.
4. Лубенец Н.А. Зависимость натяжения идеальной нити вдоль линии контакта с неподвижным блоком при скольжении / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2010. – № 9-10. - С. 27 – 32.
5. Лубенец Н.А. Новое решение классической задачи Эйлера о скольжении гибкого тела по неподвижному блоку. / Лубенец Н.А. // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2014.

УДК 629.7.07

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО СТАРТА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ДАННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

С.С. Малтыз¹, А.А. Сидоров²

²старший преподаватель кафедры проектирования и конструкций летательных аппаратов, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара», г. Днепр, Украина, e-mail: lxsdry@gmail.com

¹студент кафедры проектирования и конструкций летательных аппаратов, Государственное высшее учебное заведение «Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара», г. Днепр, Украина, e-mail: stanislav.maltyz@mail.ru

Аннотация. В работе проведено теоретическое исследование воздушного старта, как перспективного и сравнительно недорогого проекта для создания космической транспортной системы. Используя описанный подход к решению задачи транспортных космических систем, можно определить сложность осуществления на практике проекта воздушного старта, спрогнозировать от чего зависит развитие этой темы в будущем, также определить проблематику проекта для более успешной разработки систем воздушного старта, что в свою очередь приведет к коммерциализации ближнего космоса и развития космических транспортных систем.

Ключевые слова: космическая транспортная система, воздушный старт, мобильный стартовый комплекс.

THE USING PROSPECTS OF AIR-LAUNCHED FOR TRANSPORT SPACE SYSTEMS AT THIS STAGE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT

Stanislav Maltzy¹, Alexey Sidorov²

¹Senior Lecturer, Department of Design and Constructions of Aircraft, State Higher Educational Institution "Dneprovsky National University named after Oles Honchar", Dnipro, Ukraine, e-mail: lxdrv@gmail.com

²Student of the Department of Design and Constructions of Aircrafts, State Higher Educational Institution "Dneprovsky National University named after Oles Honchar", Dnipro, Ukraine, e-mail: Stanislav.maltzy@mail.ru

Abstract. The theoretical study of air launch as a promising and relatively inexpensive project for the creation of a space transportation system was conducted in the work. Using the described approach to solving the problem of transport space systems, it is possible to determine the complexity of implementing an air start project in practice, to predict the development of this topic in the future, and also to identify the project problems for more successful development of air start systems, which in turn will lead to the commercialization of near Space and the development of space transport systems.

Keywords: space transportation system, air launch, mobile launch complex.

Введение. Покорение космоса, начавшееся в пятидесятые годы прошлого века, стало одной из технологий в решении ряда практических и научных задач. С развитием технологий и науки в целом возникли новые задачи, решение которых привело к потребности реализации космических транспортных космических систем (ТКС). Но для отработки технологии нужны хорошие площадки ими и стали космодромы, так как для реализации ТКС используют космодромы. Они занимают большую площадь и находятся на удалении от густонаселенных мест, чтобы отделяющиеся в процессе полета ступени не навредили жилым территориям или соседним стартовым площадкам. Поскольку страны, которые имеют возможность создания ТКС могут быть густонаселенными, не иметь отчужденных территорий или возле ее границ нет незаселенных территорий (океанов, пустынь и

тп.) ей нужен космодром, который находится вне своей территории. Наиболее выгодное положение космодрома — на экваторе, чтобы стартующий носитель мог наиболее полно использовать энергию вращения Земли. Ракета-носитель (РН) при запуске с экватора может сэкономить около 10 % топлива по сравнению с ракетой, стартующей с космодрома, находящегося в средних широтах. Соответственно, тот же носитель может вывести на орбиту несколько большую полезную нагрузку. С экватора возможен запуск на орбиту с любым наклоном. Поскольку на экваторе не так много государств, способных запускать ракеты в космос, стала актуальна тема космодромов мобильного базирования, среди которых наиболее доступным и перспективным считается проект космодрома воздушного базирования (воздушного стартового комплекса). К примеру, для Украины после провала проекта стартовой площадки на космодроме «Алкантра» для РН «Циклон 4», перспективным направлением остается создание собственных космодромов. Потому что создание космодрома повысит статус и престиж страны, как космической державы, а также даст незаменимый опыт инженерам в создании мобильного космодрома.

Цель работы. Цель данного исследования рассмотреть есть ли перспектива воздушного старта на данном этапе развития науки и техники в области создания космических транспортных систем. Рассмотреть наиболее перспективные проекты воздушных стартов для определения негативных и позитивных сторон этого вопроса. Предложить наиболее перспективный вариант с минимизированными негативными аспектами, которые возникают при использовании воздушного старта на примере авиационной техники Украины. А также указать в каких областях должна вестись работа по развитию ТКС, которые используют этот метод реализации.

Материалы и результаты исследований. Для исследования этого вопроса были использованы теоретические наработки и данные по реальным проектам, которые эксплуатируются. Мобильные космодромы характерны, преимущественно, для РН сверхлегкого, легкого и среднего классов. Пуск с мобильного стартового комплекса (МСК) может осуществляться в любом месте, отвечающем требованиям безопасности и подходящим с точки зрения параметров целевой орбиты. В зависимости от места расположения МСК имеет одну или несколько трасс пуска (в их направлении проходит активный участок полёта ракет), вдоль которых расположены измерительные пункты. Наиболее перспективным считается воздушный стартовый комплекс. Воздушный старт (ВС) — способ запуска ракет или самолётов с высоты нескольких километров, куда доставляется запускаемый аппарат. Средством доставки чаще всего служит другой самолёт, но может выступать

и воздушный шар или дирижабль. Наиболее часто данный способ в настоящее время используется для запуска аппаратов по суборбитальной траектории, либо для вывода спутников на околоземную орбиту в системах, состоящих из самолёта-носителя и ракеты-носителя (РН) или крылатых авиационно-космических системах (АКС). Применение ВС делает более доступной организацию и эксплуатацию ТКС.

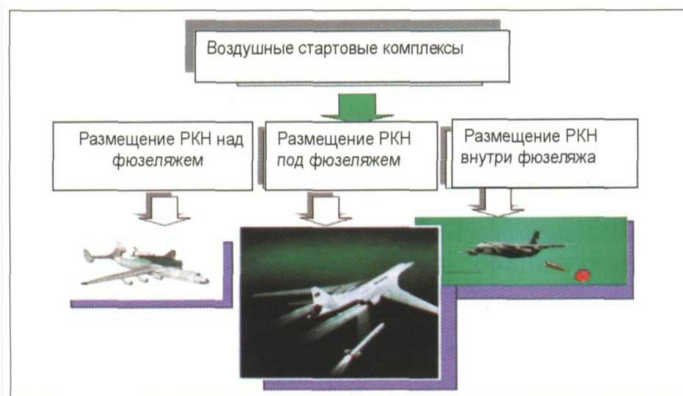


Рисунок 1 – Виды воздушных стартовых комплексов.

Воздушный старт реализован в американском космическом ракетном комплексе легкого класса «Пегас». В настоящее время (2017) существует одна ракета-носитель воздушного старта.

РН Pegasus

Первый пуск — 1990 год, всего было произведено 42 пуска, 3 неудачи, 2 частичных успеха (орбита чуть ниже требуемой), 443 кг на низкую орбиту. Запуски РН «Пегас» порозводились самолётом «Боллс 8» (Balls 8), созданным на базе бомбардировщика «Боинг»В-52В, а так же самолётом «Старгейзер»(модифицированный пассажирский самолет «Локхид» L-1011-100). Отделение от носителя производится на высоте 12 километров и скорости не выше 0,95М (1000 км/ч).



Рисунок 2 – Старт РН «Пегас» с самолета-носителя «Старгейзер».

Воздушные СК могут осуществлять пуски РН практически из любой точки воздушного океана, как над сушей, так и над морской (океанской) поверхностью, что позволяет выбирать точку старта, обеспечивающую максимальную энергетику по выведению космических аппаратов и грузов, а также оптимальную с точки зрения ограничений по трассам полета и полям падения отработавших ступеней РН. Что делает ТКС эргономичней. В последние годы данный способ запуска на низкие околоземные орбиты при соответствии некоторым условиям (для сравнительно небольших масс, выводимых на низкие орбиты) приобретает популярность (есть реализованные проекты и ещё больше проектов многих компаний рассматривают данный способ запуска) ввиду высокой экономической эффективности и мобильности (не требуется сооружение космодромов).

В прошлом разрабатывались так же проекты суборбитальных полетов на основе воздушного старта. В докосмическую эпоху было реализовано много проектов воздушного старта экспериментальных и прочих самолётов (в т.ч. некоторые как воздушный авианосец) и крылатых ракет. В 1960-е годы и позже в США были созданы запускаемые с самолётов-носителей экспериментальные ракетопланы, в т.ч. первый гиперзвуковой самолет - суборбитальный пилотируемый космолан North American X-15, также Bell X-1, Lockheed D-21, Boeing X-43 и др. Подобные (но не суборбитальные), системы были также во Франции (Ледюк) и других странах. Воздушный старт использовался для отработки космолана Энтерпрайз в масштабной программе многократной транспортной космической системы Спейс шаттл. Самой известной пример ТКС можно считать -многократную транспортную космическую систему «Спейс Шаттл», которая состоит из двух твердотопливных ускорителей подвесного бака и космического корабля. Эта машина имеет 2 млн. узлов и деталей и считается самой сложной машиной когда-либо созданной человечеством. «Спейс Шаттл» это практический проект многократного орбитального корабля, представляет собой гиперзвуковой летальный аппарат, является носителем полезного груза со средствами его развёртывания и обслуживания на орбите, обеспечивает необходимые условия для жизнедеятельности и работы экипажа из четырех человек. Было предусмотрено стократное использование орбитального корабля. Это делалось с целью не менее чем на 90% снизить стоимость транспортировки полезных грузов в космос по сравнению с одноразовыми ракетами. Но на состояние 2007 года реальная средней стоимости запуска этого ТКС превысила предполагаемую почти в 48 раз (500 млн. и 10,5 млн. долларов соответственно). Первым из детальных проектов АКС с воздушным стартом была нереализованная система СССР «Спираль» 1960-х—1970-х гг. из гиперзвукового самолёта-разгонщика, РН и орбитального самолёта. Воздушный

старт использовался для полётов дозвукового самолёта-аналога её орбитального самолёта. Воздушные стартовые комплексы должны иметь сеть аэродромов базирования, запасных и вспомогательных аэродромов для межполетного обслуживания и хранения запасов расходных элементов, РН, КА и топлива для базирования самолетов-лидеров, самолетов сопровождения, слежения и управления.

В настоящее время бум космических пусков прошел. Достаточно сказать, что если в 1998 году был запущен 81 космический аппарат, в 2002 году - 65, то в 2005 году - только 55. В основном это связано с миниатюризацией коммерческих спутников, что позволяет осуществлять «пакетные» запуски. Чтобы минимизировать потери в аварийных ситуациях, сделать вывод на орбиту более точным и относительно дешевым, нужно развивать небольшие РН, стартовой площадкой для которых будут служить МСК. Потому что перспективы рыночной ниши малых спутников эксперты оценивают более оптимистично. И вот здесь легкие, мобильные и недорогие средства вывода на орбиту могут составить конкуренцию «традиционным» космодромам. Впрочем, тяжелые космические аппараты, как коммерческие, так и «государственные», все равно останутся, востребованы для космических агентств. Оригинальным предложением по развитию ТКС можно считать теоретическое предложение Э.Зенгера и И.Бредт. В 1944 году доктор Зенгер в сотрудничестве с крупным математиком Ирэн Бредт предложил теорию возвращения ракеты на Землю под углом, близким к прямому. По этой теории если РН войдет в плотные слои атмосферы (на высоте 40 км) слишком быстро и слишком круто, то она должна рикошетировать. «Отскочив» от плотных слоев, ракета должна снова уйти вверх, в более разреженные слои атмосферы. «В целом траектория ее полета будет представлять волнистую линию с постепенно «затухающей» амплитудой. Концепция Эугена Зенгера получила практическое воплощение в американском проекте «Falcon Hypersonic Technology Vehicle»-гиперзвуковом бомбардировщике. Хотя этот подход более чем перспективен, так как уменьшает массу ТКС за счет снижения количества топлива, которое нужно для выполнения задания.

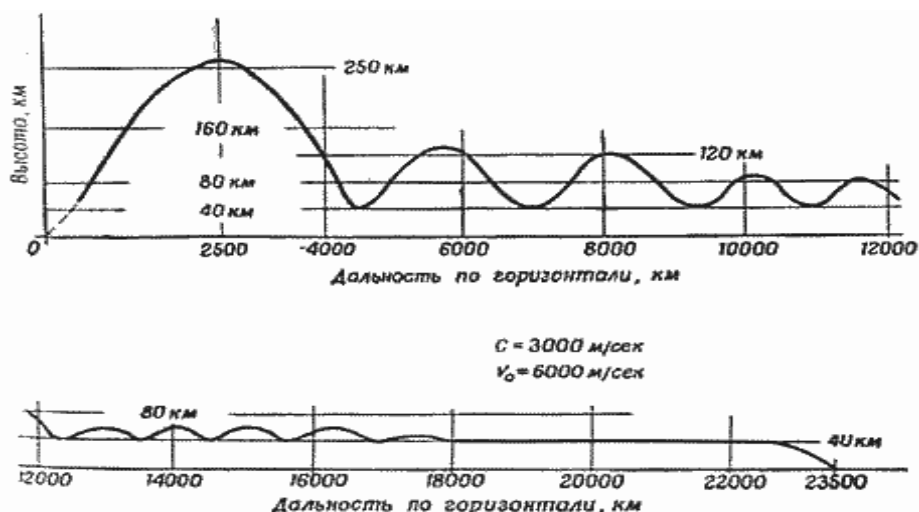


Рисунок 3 – Траектория полета летального аппарата Э. Зенгера.

Достоинства и недостатки воздушного старта. Расчеты выгоды воздушного старта на примере РН Pegasus дает нам очень удобную возможность определить степень выгоды воздушного старта. Дело в том, что РН Minotaur I имеет в качестве третьей и четвертой ступеней вторую и третью ступень «Пегаса», выводит такую же полезную нагрузку, но стартуется с земли. Сравнение масс вроде бы заметно в пользу «Пегаса» — ракета воздушного старта весит 23 тонны, а наземного — 36 тонн. Однако, чтобы полноценно сравнить эти ракеты-носители, надо посчитать запас характеристической скорости, которую дают ступени ракет. На материале Encyclopedia Astronautica (данные для Pegasus-XL, данные для Minotaur I) были рассчитаны запасы характеристической скорости ступеней ракет-носителей для одинаковой полезной нагрузки (табл. 1).

Результат показывает, что за счет воздушного старта экономится 12,6 процента характеристической скорости. С одной стороны, это достаточно заметная выгода. С другой стороны, это не так уж много, чтобы вызвать взрывной рост и развитие ТКС которые используют воздушного старта. Обратите внимание на гипотетическое сравнение со «Спиралью». Если бы «Пегас» стоял на самолёте-разгоннике «Спираль», то разделение бы происходило на скорости ~ 1800 м/с, и высоте 30 км, что экономило бы не менее 2000 м/с характеристической скорости. По такому же принципу идёт сравнение с «Минотавром». Обратите внимание, насколько возросла выгода. Отсюда следует вывод, что выгода воздушного старта в наибольшей степени определяется носителем — чем больше скорость и высота разделения, тем выше выгода.

Таблица 1 – Сравнительный расчет выгодности РН Pegasus-XL и РН Minotaur I.

	А	В	С	Д	Е
1		УИ из с в м/с		ПН	
2		9,8		443	
3	Pegasus XL				
4		УИ	m1	m2	delta-V
5	Ступень 3	2871.4	1428	646	2277.68245716035
6	Ступень 2	2842	5759	1844	3236.54554787476
7	Ступень 1	2871.4	23693	8645	2894.9412496499
8					
9				Сумма	8409.169254685
10					
11				ПН	
12	Minotaur I			443	
13					
14		УИ	m1	m2	delta-V
15	Ступень 4	2871.4	1428	646	2277.68245716035
16	Ступень 3	2842	5759	1844	3236.54554787476
17	Ступень 2	2822.4	12791	6554	1887.2436193166
18	Ступень 1	2567.6	35868	15083	2224.25347044734
19					
20				Сумма	9625.72509479905
21					
22				Выгода	12.64%
23					
24				Спираль/Pegasus	23.79%
25				Спираль/Minotaur	33.42%

Достоинства

- Возможность старта с нужной широты. Если самолёт-носитель имеет значительную дальность, можно стартовать с меньшей широты для увеличения грузоподъемности или сместиться на нужную широту для создания нужного наклона орбиты.
- Воздушно-реактивный двигатель имеет более высокий удельный импульс. Поскольку окислитель берется «бесплатно» из окружающего воздуха, его не нужно везти с собой, что повышает удельный импульс системы за счет самолёта-носителя.
- Снижение гравитационных потерь. Чем больше начальная скорость, тем меньше начальный угол тангажа ракеты. Гравитационные потери считаются как интеграл от функции угла тангажа, поэтому, чем меньше тангаж к горизонту, тем меньше потери.
- Возможность использования существующей инфраструктуры. Система воздушного старта может использовать существующие аэродромы, не нуждаясь в стартовых сооружениях. Но системы подготовки к старту (монтажно-испытательный комплекс, склады компонентов топлива, здания управления полётом) строить всё равно нужно.
- Снижение потерь на аэродинамическое сопротивление. Давление убывает с высотой экспоненциально. На высоте 12 км, где стартует «Пегас», давление примерно в 5 раз меньше, чем на уровне моря

(~200 миллибар). На высоте 30 км — уже в сто раз меньше (~10 миллибар).

- Снижение потерь на противодействие. Ракетный двигатель эффективнее работает в вакууме, где нет внешнего давления, препятствующего расширению и отбрасыванию топлива. УИ одного двигателя на поверхности меньше, чем в вакууме, поэтому старт в разреженной атмосфере снизит потери на противодействие.

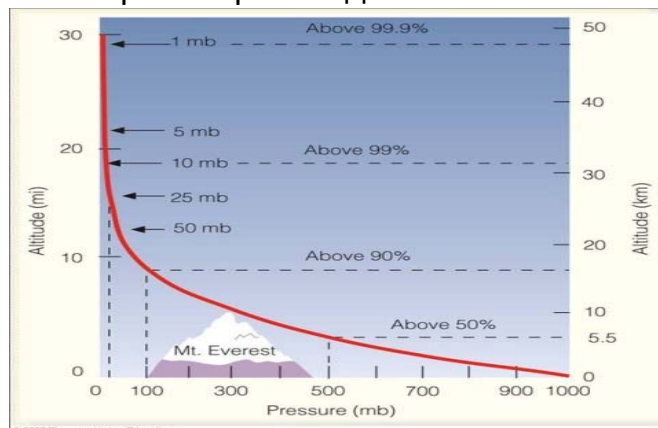


Рисунок 5 - Экспоненциальный график убывания давления с высотой.

Недостатки

- Очень плохая масштабируемость. Ракета, которая выводит на НОО 443 кг и весит комфортные 23 тонны, которые без особых проблем можно прицепить/подвесить/поставить на самолёт. Однако ракеты, которые выводят хотя бы 2 тонны на орбиту, начинают весить уже 100-200 тонн, что близко к пределу грузоподъемности существующих самолётов: Ан-124 поднимает 120 тонн (некоторые модификации до 150 тонн), Ан-225 — 247 тонн, но он в единственном экземпляре, и новые самолёты фактически уже невозможно построить. Boeing 747-8F — 140 т, Lockheed C-5 — 122 т, Airbus A380F — 148 т. Для более тяжелых ракет нужно разрабатывать новые самолёты, которые будут дорогими, сложными и монструозными.
- Жидкое топливо потребует доработки носителя. Криогенные компоненты будут испаряться за длительное время взлета и набора высоты, поэтому нужно иметь на носителе запас компонентов. Особенно плохо с жидким водородом, он очень активно испаряется, нужно будет везти большой запас.
- Проблемы структурной прочности полезной нагрузки и ракеты-носителя. На Западе спутники достаточно часто разрабатываются с требованием выдерживать только осевые перегрузки, и даже горизонтальная сборка (когда спутник лежит «на боку») для них недопустима. Например, на космодроме Куру РН «Союз» вывозят горизонтально



без полезной нагрузки, ставят в стартовое сооружение и присоединяют полезную нагрузку уже там. Что же касается самолёта-носителя, то даже взлет создаст комбинированную осевую/боковую перегрузку. Я уж не говорю о том, что в нестабильной атмосфере т.н. «воздушные ямы» могут серьезно встряхивать комплекс. Ракеты-носители тоже не рассчитывались на полёты «на боку» в заправленном состоянии, наверняка, ни одну существующую РН на жидком топливе нельзя просто погрузить в грузовой люк и выбросить в поток для старта. Нужно будет делать новые ракеты, более прочные, — а это лишний вес и потеря эффективности.

- Необходимость разработки мощных гиперзвуковых двигателей. Поскольку эффективный носитель — это быстрый носитель, обычные турбореактивные двигатели плохо подходят. L-1011 даёт только 4% высоты и 3% скорости для «Пегаса». Но новые мощные гиперзвуковые двигатели находятся на грани нынешней науки, их ещё не делали. Поэтому они будут дорогими и потребуют много времени и денег на разработку.

В заключение из вышесказанного аэрокосмические системы могут стать очень эффективным средством доставки грузов на орбиту. Но только если эти грузы будут небольшими (наверное, не больше пяти тонн, если предсказывать с учетом достижений прогресса), а носитель — гиперзвуковым. Предложен детально разработанный проект «Воздушный старт». Основным элементом второго проекта является специально переоборудованный тяжёлый самолёт Ан-124-100ВС «Руслан», с борта которого на высоте примерно 10 км осуществляется так называемый «миномётный» старт ракеты-носителя, доставляющей на расчётную орбиту полезную нагрузку. Захват вызывает проект Stratolaunch System который в качестве РН будет использовать разработанную для него ракету компании SpaceX, который станет наибольшей системой ВС в мире. На Украине с использованием самолёта-носителя Ан-225 разработаны проекты АКС «Свитязь» (РН Зенит) и «Лыбидь» (крылатый космоплан). Перспективной разработкой в организации ТКС можно считать украинский воздушно-космический самолет «Сура».

Вывод. В самом деле, если страна, к примеру, выбрала в качестве основы ТКС легкие РН воздушного старта, то для неё космодром, по сути, будет представлять собой аэродром. Из выше сказанного проект мобильного космодрома воздушного базирования есть самым распространённым и оптимальным для осуществления. Поэтому и для Украины, и для других стран мобильный космодром воздушного базирования есть перспективным проектом. К примеру, для Украины он может представлять собой аэродром с



необходимой инфраструктурой, на котором могут базироваться до трёх самолётов-носителей Ан-124. Предполагается осуществление коммерческих запусков спутников при помощи легкой РН воздушного старта, в том числе и на солнечно-синхронные и геостационарные орбиты. Масса полезного груза РН не будет превышать 2 тон, а масса РН не будет превышать 100-110тон. В будущем разработки этого типа ТКС будут продолжаться. А скорость продвижения в этом направлении зависит от нескольких факторов.

- Разработка РН, который будет способен выдерживать комбинированную осевую/боковую перегрузку.
- Применение более мощного жидкого топлива потребует доработки носителя.
- Разработка гиперзвуковых двигателей или использование ракетных двигателей.
- Применение новых траекторий полета самолета-носителя для увеличения массы полезного груза.

По моему мнению, эффективная ТКС будет представлять собой ракетоплан с борта которого будет осуществляться запуск твердотопливной ракеты, которая и будет осуществлять вывод полезного груза в космос, траектория для ракетоплан может быть той, которую предложили Э. Зенгер вместе с И. Бредт. Именно такое сочетание разных характеристик дает возможность создать мощную и конкурентоспособную ТКС, которая использует воздушный старт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушно-космический самолет. Время поиска и свершений/А.С.Левенко, В.И. Кукушкин// – Д, Проспект, 2007. –108 с.
2. Проектування і конструкція ракет-носіїв: Підручник / В.В. Близниченко,Є.О. Джур, Р. Д.Красніков,Л.Д. Кучма, А.К. Линник та ін.; за ред. акад. С .М. Конюхова. -Д.: Вид-во ДНУ,2007.-504 с.
3. Вступ до ракетної техніки та космонавтики / А. К. Линник ; ДНУ ім. О. Гончара. – Д. : Вид-во ДНУ ім. О. Гончара, 2010. – 112 с.