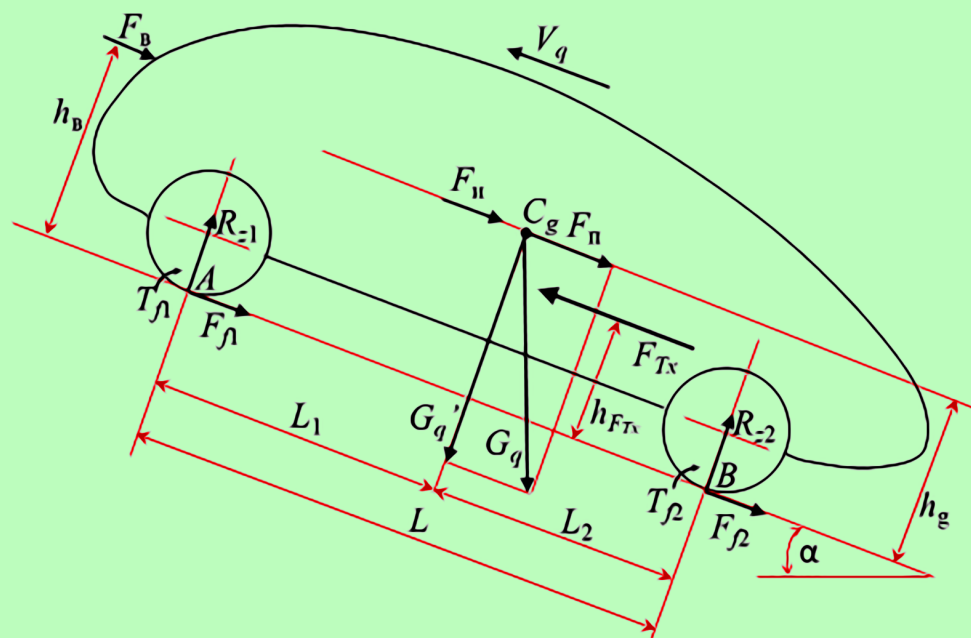


ОСНОВЫ ТЕОРИИ КВАНТОМОБИЛЯ



Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

**Ю. Г. Котиков**

# **ОСНОВЫ ТЕОРИИ КВАНТОМОБИЛЯ**

Монография

Санкт-Петербург  
2021

УДК 656.13 : 658.56 : 347.76

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, профессор *Р. Ю. Добрецов*;  
д-р техн. наук, профессор *Г. П. Поршнев*  
(Высшая школа транспорта Санкт-Петербургского  
политехнического университета Петра Великого);  
д-р техн. наук, профессор *И. М. Блянкинштейн*  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет)

**Котиков, Ю. Г.**

Основы теории квантомобиля : монография. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – 253 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1142-5

Рассмотрены достижения физики в области извлечения энергии физического вакуума квантовыми двигателями (КвД), перспективы внедрения КвД в объекты транспорта – квантомобили. Актуализировано формирование Теории квантомобиля.

Проведены общие структурные построения Теории квантомобиля. Далее поочередно рассмотрены отдельные аспекты Теории.

- Освещены понятия физического вакуума, концепции КвД, вопросы формирования и использования квантовой тяги (траста) КвД (трастера).
- Рассмотрены вопросы продольного движения наземного квантомобиля.
- Подключено рассмотрение движения квантомобиля в плоскости тангажа.
- Сформированы 3D-модели пространственного использования траста.
- Сформировано понятие Всесреднего мультимодального квантомобиля (ВМК), рассмотрено наследование им свойств традиционных транспортных средств, затронуты аспекты математического моделирования ВМК.
- Осуществлено расширение использования квантовой тяги КвД на класс подъемно-транспортных машин (портовых, карьерных), а также на железнодорожный транспорт.
- Рассмотрено размещение трастеров на опытных концептах квантомобилей.

Обобщены результаты, дан прогноз дальнейших исследований.

Книга предназначена для специалистов транспортной сферы. Может быть использована студентами вузов транспортного профиля.

Табл. 6. Ил. 83. Библиогр.: 240 назв.

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

ISBN 978-5-9227-1142-5

© Котиков Ю. Г., 2021

© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2021

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга сформирована под влиянием на автора успехов физики последних десятилетий и неуклонно увеличивающейся совокупности изобретений Вечных двигателей второго рода (ВД2). Движение этих двух ветвей деятельности направлено навстречу друг другу и, в конце концов, сольется в единое целое. И тогда, с одной стороны, ВД2 получат возможность теоретического обоснования реализуемых эффектов и признание состоятельности своего существования. А с другой стороны, физика преодолет ограниченность Второго начала термодинамики (2НТ) и предоставит теоретическую базу для моделирования открытых монотермических систем [138–140, 142–143].

Понятие КПД, привлеченное около двух столетий тому назад создателями термодинамики для оценки эффективности рабочих процессов замкнутых систем [44, 175, 176], в случае открытых систем (с вовлечением в рабочий процесс машины потоков мощности физического вакуума [13, 17, 39, 47, 48, 85, 89, 92, 95, 99, 134–137, 148–150, 155–157, 160, 185, 200–201, 215, 224–225]) теряет свою актуальность. По мнению автора, базисом алгоритмов оценки эффективности не только объемов затрачиваемой энергии, но и эффективности потоков мощности, в будущем для открытых систем станет коэффициент трансформации потока мощности (КТПМ) – так пока назовём величину, вовлеченную автором в работе [58] в обсуждение проблематики энергоэффективности открытых физических (технических) систем.

Принципы действия квантовых двигателей (КвД), использующих потоки мощности физического вакуума, все глубже проникают в деятельность исследовательских коллективов – и на теоретическом, и на лабораторном уровнях [68, 72–81, 104, 134–137, 166, 167, 172, 182, 183, 185, 187, 215, 217, 218, 221, 223, 224–225, 228–231, 235]. Все это предвещает приближение эры бестопливной энергетики и нового технологического уклада.

Автомобили с КвД и квантовой тягой – квантомобили – пока кажутся фантастикой. Ещё более иллюзорной представляется идея

всереднего мультимодального квантомобиля (ВМК) – унитарного транспортного средства (ТС), наследующего свойства множества видов ТС и способного перемещаться во всех природных средах – в воде, по земле, в воздухе и даже в космосе.

Но независимо от призрачности внедрения подобных ТС в жизнь, имеет смысл рассмотреть аспекты формирования такого вида транспортных средств на концептуальном уровне. Это будет способствовать осмыслению конфигурации транспортной отрасли в контуре ожидаемой научно-технической революции.

Автор рассматривает монографию как скромный вклад в решение обозначенной проблемы развития транспорта.

Замечания и пожелания, возникшие при прочтении книги, просьба присылать по адресу: 198103, Санкт-Петербург, Курляндская ул., д. 2/5, АДФ СПбГАСУ, кафедра транспортных систем, либо по адресу электронной почты: [cotikov@mail.ru](mailto:cotikov@mail.ru).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

1НТ	– Первое начало термодинамики
2НТ	– Второе начало термодинамики
АВП	– аппарат на воздушной подушке
АД	– автомобильная дорога
АТ	– автомобильный транспорт
АТП	– автотранспортное предприятие
АТС	– автотранспортное средство
БРХ	– базовая регуляторная характеристика
ББВ	– вес балластной воды
ВД2	– вечный двигатель второго рода
ВМК	– всесредный мультимодальный квантомобиль
ВСХ	– внешняя скоростная характеристика
ГТД	– газотурбинный двигатель
ДВС	– двигатель внутреннего сгорания
ДУ	– дифференциальное уравнение
ЖДТ	– железнодорожный транспорт
КвД	– квантовый двигатель
ККПТМ	– карьерная квантовая подъемно-транспортная машина
КПЭ	– коэффициент преобразования энергии
КПВ	– квантованное пространство-время
КПД	– коэффициент полезного действия
КПП	– коробка перемены передач
КПТМ	– квантовая подъемно-транспортная машина
ЛА	– летательный аппарат
ЛГОК	– Лебединский горнообогатительный комбинат
МВП	– машина на воздушной подушке
ММ	– математическая модель
МПХ	– многопараметровая характеристика
НА	– надводный аппарат
ОКС	– открытая квантовая система
ОП	– опорная поверхность
ОС	– окружающая среда
ОТО	– общая теория относительности

ПДУ	– предельно допустимый уровень
ПА	– подводный аппарат
ПЛ	– подводная лодка
ППП	– пакет прикладных программ
ПРР	– погрузочно-разгрузочные работы
ПРХ	– предельная регуляторная характеристика
ПТМ	– подъемно-транспортная машина
РД	– ракетный двигатель
СВЧ	– сверхвысокая частота
СВП	– судно на воздушной подушке
СК	– система координат
СТО	– специальная теория относительности
СУ	– силовая установка
СЭВ	– сверхсильное электромагнитное взаимодействие
ТД	– торможение двигателем
ТНВД	– топливный насос высокого давления
ТО	– техническое обслуживание
ТР	– текущий ремонт
ТС	– транспортное средство
ТСР	– транспортно-складские работы
УКС	– упругая квантованная среда
ФВ	– физическая величина
ХХ	– холостой ход
ЦТ	– центр тяжести
ЭМИ	– электромагнитное излучение
ЭП	– экраноплан
ЭСЭ	– энергосиловой элемент
ЭУ	– энергетическая установка
3D-МИТ	– трехмерная модель использования траста
<i>SNAME</i>	– <i>Society of Naval Architects and Marine Engineers</i> – Общество корабельных архитекторов и морских инженеров
<i>STOL</i>	– <i>Short Takeoff and Landing</i> – коротко-дистанционный взлет и посадка
<i>VTOL</i>	– <i>Vertical Takeoff and Landing</i> – вертикальный взлет и посадка.

Любая истина проходит три этапа.  
На первом её высмеивают.  
На втором яростно отвергают.  
На третьем её воспринимают  
как само собой разумеющееся.

*Артур Шопенгауэр*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Транспорт, являясь неотъемлемой частью экономики и жизнедеятельности, использует для своей работы более четверти всех используемых человечеством энергоресурсов.

Процесс продвижения энергии от первичных источников через множество промышленных преобразователей до парка транспортных машин с его инфраструктурой является затратным процессом, вовлекающим значительные материальные и людские ресурсы.

Одним из основных способов получения энергии в настоящее время является сжигание органического топлива. Несмотря на многочисленные работы по теории и практике горения, общепринятый физический механизм горения до сих пор не разработан. Теплотворную способность топлива до сих пор считают свыше данным свойством, количественные характеристики которого определяют экспериментально [32, 215].

Аккумулированная в веществе энергия высвобождается в результате частичного распада вещества на элементарные частицы. Реализуемый дефект массы при этом ничтожен [215].

Современная энергетика и транспорт базируются на тех фундаментальных знаниях, которые были получены в 19-м и начале 20-го веков. Открытия того времени позволяют использовать энергию химического топлива и атомного ядра для получения тепловой и электрической энергии, последующего использования этих видов энергии потребителями.

Транспорт до сих пор пользуется двигателями, конструкции которых были заложены более сотни лет назад. КПД двигателей



внутреннего сгорания (ДВС), газотурбинных установок (ГТУ), ракетных двигателей (РД) подошли к своим верхним пределам совершенства термодинамических циклов. Массовый электромобиль остается мечтой. Ракетный двигатель за полвека увеличил свой импульс всего в два раза – с 220 секунд (ФАУ-2) до 450 секунд (современные ракетносители). Ракетная техника достигла своего технического потолка и застряла на месте [81].

Раскрытие сущности Единого поля, структуры и энергоёмкости физического вакуума, сверхсильного электромагнитного взаимодействия (СЭВ) увенчало усилия физики 20 века в поиске новой парадигмы энергообеспечения человечества (Эйнштейн [152–153], Девис [178], Тесла [67, 102, 127–128], Паркер [101], Путхофф [224–225], Никитин [95], другие). Раскрытие названных сущностей, их идентификация, контент, системная взаимосвязь функционалов и другие особенности обеспечены, с большой долей уверенности, теорией Суперобъединения (*Theory of Superunification*), сформированной Леоновым В. С. на рубеже 20–21 веков [70–81, 215]. Эта теория, поддерживаемая патентами Леонова на соответствующие объекты [72] и результатами экспериментальных работ с этими объектами [73, 74, 81, 104], дает ключи к овладению способностью черпать энергию из мирового физического вакуума. Растет также число исследований в этой области других авторов и коллективов (Шойер [228–229], МакКаллох [217], Фетта [183], Таджмар [230–231], и др.).

Новые Фундаментальные открытия квантованного пространства-времени (КПВ) с его структурной частицей – квантоном, а также – сверхсильного электромагнитного взаимодействия (СЭВ) в совокупности с теорией Суперобъединения коренным образом могут изменить сами принципы получения энергии и ее преобразования, на фоне которых старые подходы к энергетике, в том числе транспортной, окажутся неконкурентоспособными на рынке обеспечения и услуг [215]. Одним из выводов теории Суперобъединения является возможность непосредственного извлечения энергии из физического вакуума посредством

энергоустановки единичного стационарного или мобильного объекта, в том числе транспортного средства. Это составит суть новой, бестопливной энергетики.

Практическая реализация названной способности приведет к формированию нового технологического уклада, который охватит и транспорт. На смену автомобилям придет новое поколение транспортных средств с квантовыми двигателями (КвД) – квантомобили. Термин «квантомобиль» (*quantomobile*) обоснован и введен автором в работе [206].

Основным отличием КвД от ДВС является то, что КвД создаёт непосредственно тяговую силу (траст), которую можно приложить к корпусу экипажа для осуществления движения. КвД отличается и от ракетного двигателя (РД) – тем, что нет струи сгораемого топлива, траст опирается на структуру физического вакуума [215].

Формирование этим двигателем вектора тяговой силы (траста), прикладываемой непосредственно к корпусу экипажа, позволило бы убрать из конструкции КПП, редукторы, валопроводы, ведущие мосты, улучшить за этот счёт аэродинамику экипажа, тем самым – повысить энергоэффективность ТС в целом.

Вывод вектора траста из горизонтального направления в наклонное обеспечит создание вертикальной составляющей тяговой силы. Вверх направленную составляющую траста (лифт) можно будет использовать для отрыва квантомобилья от опорной поверхности (ОП), обеспечивая ему режим Квантолёта.

Вниз направленную составляющую (антилифт) можно использовать в качестве топящей силы квантомобилья в режиме субмарины (квантомарины). На ж.д. локомотивах антилифт можно будет использовать для увеличения сцепного веса.

Поэтапное использование лифта и антилифта может оказаться полезным для реализации режимов будущих подъемно-транспортных машин (ПТМ).

Боковую составляющую траста можно будет использовать для бокового маневрирования квантомарины, а на наземном

транспорте, например, – для создания боковой силы, уравновешивающей центробежные силы при повороте (повышая устойчивость экипажа).

Комплексное использование всех трех координатных компонент основного траста, а также дополнительных трастеров на корпусе экипажа, приводит к идее создания всесредного мультимодального квантомобиля, способного двигаться и быть управляемым во всех трех природных средах. При этом, думается, понятие Квантомобиль станет обобщающим, отражающим смысл Движения (mobile) ТС любого вида посредством квантовой тяги.

Автор рассмотрел в публикациях [49–66, 202–214] отдельные аспекты в рамках затрагиваемой тематики. Крепнет мнение, что рано или поздно квантовая энергетика будет освоена с доведением её до массового потребления.

В связи с этим уже сейчас бесполезно актуализировать теоретические аспекты, рассмотреть особенности будущих квантомобилей, и мы с Вами, затронув теоретические основы КвД, рассмотрим базовые конструктивные и функциональные отличия квантомобиля от автомобиля и на базе этого спрогнозируем тягово-скоростные свойства и энергопотребление квантомобиля.

Внедрение КвД приведёт к научно-техническому перевооружению транспортной отрасли в целом – классический автомобиль при установке на нем КвД трансформируется в квантомобиль. В преддверии этого появляется необходимость формирования теории квантомобиля. Эта теория будет бесполезной при раннем формировании типажа квантомобилей, их конструктивных подклассов, последовательности НИОКР, развития инфраструктуры, технической и кадровой подготовки транспортной отрасли.

Следует отметить, что понятие класса Квантомобиль (как наследника надкласса транспортных средств Автомобиль) с квантовым двигателем – движителем, использующим энергию квантованного физического вакуума – является правомерным.

На этом фоне использование названия Квантомобиль для электро-автомобиля с проточными жидкими батареями фирмы *Nano-Flowcell* (<https://www.drive2.ru/b/2849445/>) или доменное имя *Quantomobile.ru* (<https://www.runfo.ru/quantomobile.ru>) – представляется неадекватным.

Формируемые ниже концепции опираются на 30 приводимых авторских статей, являясь своеобразным обобщением наработок в этой области. Отметим, что на эти работы имеются отклики, но сведений о публикации другими исследователями работ как по концепциям, так и по элементам теории квантомобиля у автора пока нет.

Целью книги является формирование структуры теории квантомобиля и концептуальное наполнение ее отдельных элементов.

Представился следующий сценарий разворачивания повествования по главам.

**Глава 1** посвящается общим структурным построениям теории квантомобиля и ее основным особенностям.

В **главе 2** освещаются понятия физического вакуума, концепции квантового двигателя (КвД), вопросы формирования и использования квантовой тяги (траста) КвД (трастера).

В **главе 3** рассматриваются элементы теории наземного квантомобиля.

В **главе 4** подключается рассмотрение движения квантомобиля в вертикальной плоскости тангажа.

**Глава 5** посвящена формированию 3D-моделей использования вектора тяги.

В **главе 6** формируется понятие Всесреднего мультимодального квантомобиля (ВМК), рассматривается наследование им свойств традиционных транспортных средств, затрагиваются аспекты математического моделирования ВМК, выбор адекватных систем координат.

В **главе 7** осуществляется расширение использования квантовой тяги КвД на класс подъемно-транспортных машин (ПТМ): портовых, карьерных, а также – на ЖДТ.

В **главе 8** затронуты вопросы проведения расчетно-экспериментальных работ с первыми концептами квантомобилей – оптимизации числа и мест размещения трастеров на корпусе квантомобиля.

**Заключение**, естественно, осмыслит затронутые аспекты с общих позиций и сформирует рекомендации на дальнейшее.

Общий характер книги – сослагательный, условный. Гипотетический образ квантомобиля, да ещё всесредного, строится на предположениях, кажущихся фантастическими.

Конечно, для создания теории предварительно должен быть накоплен определенный материал об исследуемых объектах и явлениях – ведь полноценные теории появляются на достаточно зрелой стадии развития научной дисциплины.

Однако почему бы не вспомнить Жюль Верна, а ещё лучше – Циолковского! Pourquoi pas! (фр.) – Почему бы и нет!

# Глава 1. ОБЩИЕ СТРУКТУРНЫЕ ПОСТРОЕНИЯ ТЕОРИИ КВАНТОМОБИЛЯ

## 1.1. Общая структура теории квантомобиля

Формирование структуры теории квантомобиля производим на основе устоявшейся теории автомобиля, добавляя опционально теоретические положения других видов транспорта, наследуемые для сборки концепта всесреднего квантомобиля.

Отталкиваясь от хорошо отработанной за столетие теории автомобиля [3, 8, 28, 40, 41, 84, 93, 120, 133, 144, 159, 222 и др.], также с учетом привлечения и воплощения новых физических открытий, необходимым будет наполнение будущей теории квантомобиля следующими компонентами [214]:

1. Предмет теории квантомобиля.
2. Идеи теории Суперобъединения и их реализация.
3. Концептуальная основа квантового двигателя.
4. Конструктивная схема квантомобиля.
5. Тягово-скоростные свойства квантомобиля.
  - 5.1. Продвижение потока энергии и формирование силового баланса экипажа.
  - 5.2. Характеристики силовой установки квантомобиля.
  - 5.3. Режимы движения квантомобиля.
  - 5.4. Управление курсовым движением.
  - 5.5. Приемистость квантомобиля.
  - 5.6. Управление боковым движением.
  - 5.7. Вывешивание и отлёт квантомобиля.
  - 5.8. Приводнение, погружение и взлет из воды.
  - 5.9. Тормозная динамика.
6. Аэродинамика и гидродинамика квантомобиля.
7. Управляемость.
8. Устойчивость.
9. Проходимость.

10. Маневренность.
11. Плавность движения.
12. Экономичность (энергоэффективность).
13. Безопасность.
14. Особенности инфраструктуры и технической эксплуатации.
15. Расчетно-экспериментальные работы по созданию квантомобилей.

## **1.2. Конспективное представление компонентов теории квантомобиля**

В этой главе осветим конспективно упомянутые компоненты теории. В последующих главах пункты 1–6 и 15 обозначенной структуры рассмотрим более детально.

### *1.2.1. Предмет теории квантомобиля*

Слово «квантомобиль» появилось в авторской работе [206] и происходит от греч. *quantum* – квант, квантовый, и лат. *mobilis* – движущийся; оно означает транспортную и/или подъемно-транспортную машину с квантовым двигателем, предназначенную для доставки грузов, пассажиров и специального оборудования. В узком смысле, квантомобиль – наземное транспортное средство (ТС). В широком смысле – это всесредное ТС, способное перемещаться во всех природных средах: по земле, в воздухе и воде.

*Теория квантомобиля* – наука, которая изучает механику движения квантомобиля, его взаимодействие с опорной поверхностью, водой и воздухом, эксплуатационные свойства этого транспортного средства.

*Объектом* теории квантомобиля является машина – квантомобиль – с опорой на колеса, сани, поплавки и иные поддер-

живающие средства, способная к самовывешиванию и отлету от опорной поверхности, а для всесредного квантомобиля – также к погружению в воду.

*Предметом* теории квантомобиля являются закономерности, описывающие механику движения квантомобиля, его взаимодействие с земной поверхностью, водой и воздухом, эксплуатационные свойства квантомобиля.

*Задачей* теории квантомобиля, на ближайшем этапе её развития, является математизация и моделирование механики движения квантомобиля, как сложной механической системы, функционирование его механизмов и систем, формирующих его эксплуатационные свойства.

Подобно тому, как наземный квантомобиль наследует множество свойств классического автомобиля (добавляя при этом новые свойства), теория квантомобиля наследует, в первую очередь, множество понятий теории автомобиля (добавляя новые понятия), а всесредный квантомобиль наследует также необходимые свойства других видов ТС [65–66].

Возникновение новых свойств и понятий обусловлено реализацией нового принципа движения посредством квантового движителя. Кроме того, всесредный квантомобиль наследует свойства классических летательных аппаратов (ЛА) – самолетов, вертолетов, дронов, свойства надводных (НА) и подводных (ПА) аппаратов, привлекая тем самым понятия и терминологию авиационной техники и плавательных средств [66].

Потребность научно-обоснованных разработок квантомобилей, их систем и узлов, удовлетворяющих новым эксплуатационным требованиям, приведет к становлению теории квантомобиля как самостоятельной науки, содержащей такие научные направления как: механика опорных элементов, механика движения в комбинированной среде, управляемость, устойчивость, проходимость, плавность движения, тормозная динамика, экономичность (энергоэффективность), безопасность квантомобиля и другие аспекты.



### ***1.2.2. Идеи теории Суперобъединения и их практическая реализация***

В теории Суперобъединения Леонова В. С. [215] рассматривается процесс квантования эйнштейновского пространства-времени. Процесс квантования – это процесс, связанный с заполнением объема пространства квантонами. В состав квантона включены четыре целых кварка: два электрических ( $+1e$  и  $-1e$ ) и два магнитных ( $+1g$  и  $-1g$ ), образующих тетраэдр с двумя ортогональными диполями. Эти два диполя образуют электромагнитный квадруполь квантона. Названные четыре кварка в составе квантона объединяют электричество и магнетизм в виде единой субстанции электромагнетизма, носителем которой является четырёхмерное квантованное пространство-время (КПВ) [70, 71]. Мировой физический вакуум плотно заполнен подвижными квантонами, в своём множестве представляющими «кипящий бульон». Взаимодействие между квантонами происходит непрерывно, исходя из близости, знака заряда прилегающих кварков соседних квантонов и ориентации осей диполей (см. [215]).

В равновесном состоянии фрагмента КПВ суммарные векторы осевых сил диполей кварков равны нулю в любом направлении (нуль-векторы). Появление во фрагменте свободных кварков возмущает электромагнитное поле, искривляя его относительно исходного равновесного состояния – суммарный силовой нуль-вектор при этом приобретает величину и направление. Управляя вбросом ансамбля свободных кварков, можно влиять на изменение этого вектора [215]. Детализацию этого осуществим в главе 2.

### ***1.2.3. Концептуальная основа квантового двигателя***

При вращении электромагнитного квадруполья возникает сила Лоренца, создающая реактивную осевую тягу. Квадруполь при этом как бы ввинчивается в среду и за счет этого движется вперед, аналогично воздушному винту [70–72]. Величина тяги квадруполья определяется величиной заряда  $e(g)$  и частотой вращения.

Если квантон с его структурой квадруполь заставить вращаться, то возникает полевая тяга, которая может заставить его перемещаться в пространстве (вместе с конструктивной оболочкой рабочей камеры, в которой происходит процесс). Физика процесса держится на взаимодействии полей: вращающегося поля электромагнитного квадруполь и знакопеременного поля квантованной среды. Таким образом, квантовые двигатели – это двигатели, реактивная тяга которых создается взаимодействием полей [81].

Теория Суперобъединения утверждает, что если рассматривать космический вакуум как упругую квантованную среду, то от неё можно отталкиваться [81, 215].

Дальнейшую детализацию осуществим в главе 3.

#### ***1.2.4. Конструктивная схема квантомобиля***

Простейший квантомобиль – наземный с одним тяговым КвД, установленным жестко в/на корпусе экипажа [56]. В конструкции экипажа отсутствует трансмиссия, ведущие колёса и элементы подвески, передающие тяговую силу. Усложнение конструкции может производиться за счёт увеличения числа тяговых КвД и/или дополнительных управляющих КвД (трастеров). Возможно совмещение в одной КвД-установке вертикальной и горизонтальной составляющих силы тяги (траста) с регулированием направления траста. Также возможно использование на одном экипаже нескольких КвД со специальным назначением каждого из них (генерация подъемной силы, горизонтальной тяги, боковой силы, маневрового импульса, стабилизирующего воздействия и пр.) [206]. Усложнение конструкции также возможно при сохранении свойств классического автомобиля реализации тяговой силы на опорных колесах для маневрирования.

Предельным совершенствованием и усложнением является Всесредный квантомобиль [65], который должен наследовать структурное и конструктивное воплощение других видов транспортных средств [66], что отражено в главе 6.

### 1.2.5. Тягово-скоростные свойства квантомобиля

*Продвижение потока энергии и формирование силового баланса экипажа.* При переходе от автомобиля к квантомобилю полезно сравнить генерацию каждой из тяговых сил:  $P_T$  (у автомобиля) и  $F_T$  (у квантомобиля) – рис. 1.1. Отсутствие трансмиссии, ведущих колёс и элементов подвески, передающих тяговую силу, упрощает конструктивную схему квантомобиля, повышает КПД силовой установки (системы двигатель-двигатель) [57–60, 208–211].

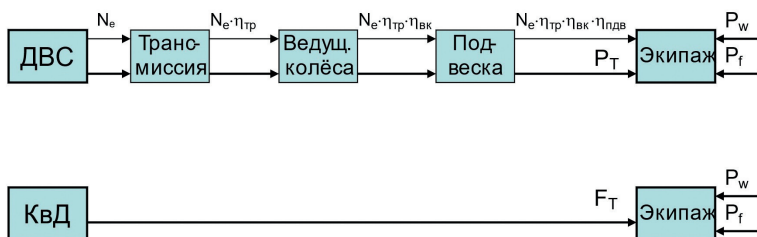


Рис. 1.1. Сравнение схем формирования тяговой силы у автомобиля ( $P_T$ ) и квантомобиля ( $F_T$ )

Развернутая картина формирования тягового баланса приведена в главах 3 и 4.

Возможность поворота вектора тяги  $F_T$  в плоскостях тангажа и рыскания позволяет создавать непосредственно подъемную и боковую силу, чего нет у автомобиля. Последнее обстоятельство приводит к качественной разности уравнений силового баланса, обусловленной необходимостью перехода от скалярных величин (для автомобиля) к векторным величинам и действиям над ними (в случае квантомобиля).

Основная детализация этих утверждений проведена в главе 4.

Для всерядного квантомобиля аналогичные утверждения помещены в главе 6.

*Характеристики силовой установки квантомобилия*

Аналогично многопараметровой (минимум двухпараметровой) характеристике автомобильного двигателя с двухрежимной, многорежимной или всережимной регуляторной и предельной характеристиками должен иметь место регулятор управления трастом КвД.

Насколько изоощренным может быть регулятор траста  $F_T$  КвД квантомобилия, говорить сложно. Пока ясно одно – неотъемлемо будет иметь место Базовая Регуляторная характеристика (БРХ) [210], представляющая собой каркас преобразования управляющих воздействий водителя (или автомата) в реализуемые величины траста:

$$L = f_L(F_T, V_q), \quad (1.1)$$

где  $L$  (*lever*) – положение рычага управления водителя.

Детализация будет рассмотрена в главе 3.

*Режимы движения квантомобилия*

Совокупность режимов движения наземного квантомобилия разнообразнее автомобильных; лишь в плоскости тангажа выделим 5 режимов [60]:

1) только продольного – в режиме поддавливания экипажа, при вертикальной составляющей траста  $F_{Tz} < 0$ , то есть направлении её вниз;

2) только продольного – в режиме классического автомобиля в отсутствие вертикальной составляющей траста,  $F_{Tz} = 0$ ;

3) только продольного – в режиме частичного подвешивания экипажа, без отрыва колёс от опорной поверхности, когда  $0 < F_{Tz} < G_q$  ( $G_q$  – вес квантомобилия);

4) продольного граничного – с отрывом колёс от опорной поверхности, но без отлёта экипажа вверх, когда  $F_{Tz} = G_q$ ;

5) продольно-вертикального – когда  $F_{Tz} > G_q$ .

Более подробно эти режимы рассмотрены в главе 3.

Для всережимного квантомобилия можно выделить 10 режимов движения – они охарактеризованы в главе 6.

*Управление курсовым движением.* Наличие подъемной силы, которая при вывешивании экипажа способствует снижению сопротивления дороги, но требует энергозатрат на вывешивание, обуславливает необходимость оптимизации траекторий движения по критериям энергозатрат и/или быстродействия и/или других ресурсов. Эти вопросы затронуты в главе 5.

*Преимущество квантомобиля.* Есть возможность реализации значительных курсовых ускорений (более  $1 g$ ) – как положительных, так и отрицательных (при этом их максимум будет ограничиваться биомеханическими пределами пассажиров и водителей). В общих чертах это затронуто в главе 3.

*Управление боковым движением.* Требуется оценка действительности этого свойства в сочетании с курсовым движением, управляемостью, проходимостью и маневренностью. Для всесреднего квантомобиля ближайшими аналогами по реализации этого свойства являются машины на воздушной подушке (МВП) и субмарины – см. главу 6.

*Вывешивание и отлёт квантомобиля.* Возможность вывешивания экипажа над опорной поверхностью означает путь к реализации концепции «автолета» («квантолета»). Руководящими здесь являются технологии *STOL (Short Takeoff and Landing* – Короткокодиционный взлет и посадка и *VTOL (Vertical Takeoff and Landing* – Вертикальный взлет и посадка [10–11, 107, 164, 168, 219, 233–234]), используемые в авиации. Эти технологии реализуют и инверсные способы приземления. Подробности рассмотрены в главах 4 и 6.

*Приводнение, погружение и взлет из воды.* Приводнение, как с воздуха, так и с земли, требует притормаживания экипажа – для безударного входа в новую среду. Обратные режимы – взлета из воды – освоены в гидросамолетах и гидроамфибиях [1, 30]: требуют набора скорости взлета. Однако всесреднему квантомобилю можно будет взлетать из воды на любой скорости. Затронуто в главе 6.

*Тормозная динамика.* Система экстренного торможения будет эффективнее: колеса для сохранения курсовой устойчивости

при торможении в повороте могут подавливаться вертикальным силовым вектором, причем с оптимизацией развесовки составляющих вектора по осям и колесам.

Сложные системы помощи при спуске существующих автомобилей (с задействованием основной тормозной системы, моторного тормоза, *ABS*) становятся ненужными. При движении квантомобиля нужно будет развернуть назад тяговый вектор и регулировать его величину. Система помощи при спуске будет проще (если вообще понадобится) [56, 58, 205].

### *1.2.6. Аэродинамика и гидродинамика квантомобиля*

Отсутствие карданных валов, картеров и дифференциалов дает возможность установки обтекаемого днища, что уменьшает сопротивление воздуха [22, 93, 111] и воды [19]. Идеальной для продольного движения является оживальная форма экипажа [98] – при этом с разными параметрами для воды и для воздуха. Однако для реализации больших боковых скоростей эта оживальная форма корпуса должна стремиться к дисковой. Пробразом является форма «скользящего крыла» [123, 125, 227].

Требуется изучение специфики сочетания формы кузова, днища, оперения квантомобиля для воды и для воздуха. Причем это в новой постановке – когда наличие вертикальной компоненты траста снижает роль крыльев и фюзеляжа в образовании подъемной силы, и оперению остается функция элемента управления и обеспечения устойчивости.

Частично эти вопросы затронуты в главе 6.

### *1.2.7. Управляемость*

Ориентация силы тяги лишь по продольной оси экипажа приведет к недостаточной поворачиваемости из-за больших углов увода передних колес наземного квантомобиля. Это потребует реализации поворачиваемого вектора тяговой силы [197, 219],

создаваемой КвД. И по всей видимости, – применения системы дополнительных управляющих трастеров.

Внедрение шарнирного варианта КвД-установки делает возможным применение штурвального механизма управления, что будет способствовать улучшению эргономичности, управляемости, маневренности и проходимости [56].

Автоматический круиз-контроль будет осуществляться проще (нет КПП; не нужен привод сервомотора к сектору газа; не нужно подтормаживание водителем) [56].

Управляемость всесреднего квантомобиля в воздухе и в воде будет обеспечиваться основным трастом КвД, дополнительными управляющими трастерами и оперением [66].

На концептуальном уровне это затронуто в главе 6. Требуются, однако, фундаментальные разработки данного вопроса.

#### ***1.2.8. Устойчивость***

У наземного квантомобиля нет пробуксовки колес на любой дороге и любых продольных силах. В условиях недостаточного сцепления вертикальный вектор может быть направлен на подавливание колес. Опасность опрокидывания устраняется/снижается при задействовании поперечного силового вектора автоматической системой регулирования и/или связью с шарниром управления КвД-установки. Квантомобиль сможет передвигаться по крутым косограм [56].

Устойчивость всесреднего квантомобиля в воде и в воздухе обеспечивается системой дополнительных трастеров и оперением [66].

#### ***1.2.9. Проходимость***

Отсутствие карданных валов, картеров главных передач и дифференциалов дает возможность установки обтекаемого днища, что улучшает проходимость наземного квантомобиля. Он может преодолевать крутые подъемы (даже не используя скоростную динамику). Наличие управляемой вертикальной составляющей

тяговой силы КвД-установки (лифта) даст возможность «подвесить» квантомобиль, улучшая проходимость на бездорожье [56].

#### ***1.2.10. Маневренность***

Конструктивно наземный квантомобиль легче реализует поворот управляемых колес вокруг вертикальной оси одновременно на всех мостах, что хорошо для маневрирования. Квантомобиль может все же требовать частного привода на колеса – для маневрирования. В таком случае связь с парковочным радаром квантомобиля будет осуществляться конструктивно легче, чем на традиционном автомобиле [56].

#### ***1.2.11. Плавность движения***

Плавность хода наземного квантомобиля, как и у классического автомобиля [41], определяется сочетанием упруго-массовых характеристик компонентов экипажа, рельефом и морфологией опорной поверхности. В частично вывешенном состоянии экипажа, по всей видимости, колебательная и ударная нагрузка на экипаж будет снижаться. Необходимо учитывать возможность внезапного воздействия внешних сил на квантомобиль [26]. Для всесреднего квантомобиля возникает возможность удара на экипаж при переходе с земли на воду и особенно с воздуха на воду – что должно учитываться и снижаться путем заблаговременного снижения скорости движения [1, 30, 66].

#### ***1.2.12. Экономичность (энергоэффективность)***

КвД позволяет автомобилю стартовать с постоянной тягой, максимально используя его мощность, и избегать потерь, свойственных ДВС на неустановившихся режимах. Обеспечивается автоматическая рекуперация мощности при циклическом движении. Износ шин будет меньше [56, 215].



Существует, однако, необходимость фундаментальной разработки принципиально новой методики расчета энергоэффективности КвД и квантомобиля в целом. Поскольку КвД является энергетическим объектом нового, бестопливного типа, показатель КПД (введенный Карно [175] и Клаузиусом [176], и оценивающий долю энергии сгораемого топлива, направленную на совершение полезной работы) – здесь неприемлем. Необходима методическая парадигма, учитывающая также переход от замкнутых систем (ДВС, РД и подобных) к открытым системам [13, 58, 99, 215], использующим энергию внешней среды (чем является КвД, использующий энергетический поток ориентированных квантов физического вакуума). Автор, в русле решения этой проблемы, возлагает надежды на использование *LT*-подхода Р. Бартини [15–17, 51–54, 58, 145–146, 161–162, 165, 169–171, 202–204, 207].

### ***1.2.13. Безопасность***

Уровень шума: колеса (в ведомом режиме) будут шуметь меньше. Не будет вибрации от элементов силового привода (а, следовательно, и шума от них). Существует пока неясность с охлаждением КвД, его тепловым воздействием на экипаж и необходимостью тепло- и СВЧ-защиты. Химических выбросов будет меньше. Уровень и биовлияние высокочастотных колебаний КвД пока сложно спрогнозировать [56].

### ***1.2.14. Особенности инфраструктуры и технической эксплуатации***

Не будет необходимости в регулярных дозаправках квантомобиля топливом. Претерпит изменение вся система технического обслуживания транспортных средств. Изменятся и дороги, и нормативы движения транспортных средств по ним [56, 205]. Для массовых ВМК потребуются нормативы движения в воде и воздухе.

**1.2.15. Расчетно-экспериментальные работы  
по созданию квантомобилей**

Попытка планирования НИОКР для ранних стадий создания квантомобилей – исследования формирования и приложения тяговой силы КвД и установки на экипаже трастеров (одного или нескольких) – привела автора к следующей условной последовательности комплекса НИОКР [206].

Этап 1 – опробование первых опытных тяговых КвД и схем установки этих КвД на шасси существующих автомобилей.

Этап 2 – проработка схем подвеса квантомобиля на двух тяговых КвД.

Этап 3 – проработка схем подвеса квантомобиля на трех КвД (тяговых и векторно-управляемых по горизонту).

Этап 4 – проработка схем подвеса квантомобиля на четырех КвД (тяговых, векторно-управляемых по горизонтали и вертикали).

Этап 5 – проработка концептов квантомобилей на множестве КвД разной функциональности.

Более подробно см. в главе 9.

**1.3. Заключение по главе**

Таким образом, сформирована структура теории квантомобиля. Основная часть позиций, разделов наследует понятия теории автомобиля. Несмотря на гипотетический характер теории, есть ещё возможность заполнения структуры функционалом. Необходимо также подключение теории летательных аппаратов, надводных судов, подводных лодок, понятий реактивной техники. Востребованность теории квантомобиля будет возрастать с накоплением материалов практической реализации проектов этих перспективных объектов.

## Глава 2. КОНЦЕПЦИИ КВАНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

### 2.1. Предпосылки теории Суперобъединения

Современная энергетика базируется на фундаментальных знаниях, которые были получены еще в XIX–XX вв.: закон электромагнитной индукции Фарадея, уравнения Максвелла [86], Хевисайда [190], открытие и становление молекулярно-кинетической теории тепла [175–176], кванта излучения [152–153, 178–179], структуры атомного ядра и радиоактивности, другие. Перечисленные открытия позволили использовать энергию химического топлива и атомного ядра для получения механической и тепловой энергии, последующего преобразования последней в электрическую энергию и доставки энергии потребителю [32]. Однако новейшие достижения физики ([13, 15–17, 37, 39, 47–48, 67–68, 77–78, 85, 95, 99, 101, 102, 117, 118, 127–128, 134–137, 138–140, 142, 148–150, 152–153, 155–157, 160, 165, 167, 169–171, 172, 174, 178–179, 182, 183, 185, 187, 200–201, 215, 217–218, 221, 223, 224–225, 226, 228–229, 230–231, 235]) вплотную подвели к реализации качественно нового уровня развития энергетике — квантовой энергетике, которая составит основу нового технологического уклада мирового хозяйства.

Техническая физика XX века (опираясь на практические результаты и достижения теоретической физики предшествующих и сопутствующих десятилетий) рассматривала пространство-время как абсолютную пустоту, не имеющую структуры [78] – и это обеспечивало создание и использование технических объектов прошедшего века в достаточной мере.

Эйнштейн, выдвинув в Общей теории относительности (ОТО) концепцию Единого поля (введя концепцию четырехмерного пространства-времени как единого поля [152, 153]), не считал пространство абсолютной пустотой. Он считал, что *«существование пустого пространства должно быть исключено»* [101].

Эйнштейн мечтал об одной объединяющей теории, которая охватывала бы все физические явления – Единой теории поля. Но создать такую теорию, объединяющую все физические явления и преодолевающую разрыв между ОТО и квантовой теорией, дающую единое толкование всех полей и их взаимодействий с элементарными частицами, Эйнштейну так и не удалось. Другие крупные ученые – Гейзенберг, Эддингтон, Паули [102] – также посвятили много лет достижению этой, для них недостижимой, цели. И объясняется это тем, что для их провидения и формализации новых знаний не хватило наработок теоретической и экспериментальной физики их времени.

Идея Эйнштейна о полевой структуре пространства-времени как едином поле [101], идея Девиса о существовании «суперсилы», объединяющей во Вселенной всё и вся [178], и идея Путхоффа о колоссальной энергоёмкости физического вакуума [224–225] на теоретическом уровне были комплексно реализованы В. С. Леоновым в теории упругой квантованной среды (УКС) [70, 71] и теории Суперобъединения (*Theory of Superunification* [215]) после открытия им кванта пространства-времени – квантона.

УКС определяет структуру вакуумного пространства, плотно заполненного нулевым элементом Периодической таблицы Менделеева [79] (поскольку Менделеев Д. И. не смог определить и формализовать существование нулевого элемента, этот гипотетический элемент был удален из варианта Периодической таблицы, принятого для практического использования). Нулевой элемент, которого недостает в Периодической таблице, был вызван В. С. Леоновым к жизни снова в 1996 г. и назван им квантоном [70], в качестве мельчайшего «кирпичика» материи.

Приведем авторскую попытку упрощенного (инженерного) представления о концепциях теории Суперобъединения, работающих на преодоление гравитации и сил инерции – в объеме, необходимом для обоснования последующих схемных построений и расчетных исследований автомобиля с квантовым двигателем (КвД) – квантомобилia.

## 2.2. Квантовая модель электромагнетизма и гравитации теории Суперобъединения

Теория Суперобъединения [215] исследует свойства пространства-времени в диапазоне  $10^{-25} \dots 0 \dots 10^{25}$  м, от размеров квантона –  $10^{-25}$  м до размеров Вселенной –  $10^{25}$  м, и в настоящее время предстаёт мощным аналитическим средством исследования материи.

В теории Суперобъединения [215] рассматривается процесс квантования эйнштейновского пространства-времени. Процесс квантования — это энергетический процесс, связанный с заполнением объема пространства квантонами. Квантон не является элементарной частицей и имеет сложную структуру, в состав которой входят четыре целых кварка: два электрических ( $+1e$  и  $-1e$ ) и два магнитных ( $+1g$  и  $-1g$ ), образующих тетраэдр с двумя ортогональными силовыми осями (диполями): электрической и магнитной. В целом два диполя образуют электромагнитный квадруполь квантона. Названные четыре кварка, входящих в состав квантона, объединяют электричество и магнетизм в виде единой субстанции электромагнетизма, носителем которой является четырехмерное квантованное пространство-время (КПВ) (рис. 2.1) [75].

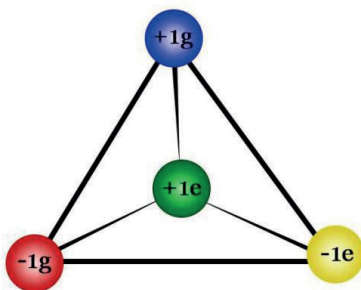


Рис. 2.1. Тетраэдр квантона [75]

Расчетный диаметр квантона по Леонову В. С. составляет порядка  $10^{-25}$  м (на десять порядков меньше радиуса электрона). Внутри квантона аккумулируется энергия порядка  $10^{-2}$  Дж [215].

Мировой вакуум (включая и все вещественные объекты-вставки) плотно заполнен подвижными квантонами, в своем множестве представляющими «кипящий бульон» [37, 148, 150, 226].

Взаимодействие между квантонами происходит непрерывно, исходя из близости, знака заряда прилегающих кварков соседних квантонов и ориентации осей диполей (рис. 2.2) [149–150]. Предельная частота колебаний квантона  $4 \cdot 10^{33}$  Гц (напомним, у гамма-излучения  $\sim 10^{23}$  Гц) [215].

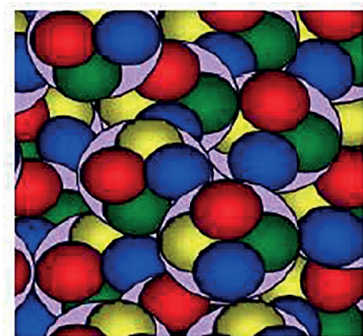


Рис. 2.2. «Бульон» из квантонов  
(по Дираку [178–179]) –  
квантованное пространство-время

КПВ в равновесном состоянии есть электромагнитное статическое поле, являющееся носителем сверхсильного электромагнитного взаимодействия (СЭВ) – пятой фундаментальной силы (которую искали Эйнштейн и другие). СЭВ – это то единое поле, объединяющее гравитацию и электромагнетизм, которое предрекал Эйнштейн в ОТО.

Концентрация квантонов (квантовая плотность среды) в одном кубометре квантованного пространства-времени составляет  $10^{75}$  шт./м<sup>3</sup>. Квантованное пространство-время, как носитель СЭВ, обладает колоссальной энергоемкостью, порядка  $10^{73}$  Дж/м<sup>3</sup> [215].

В равновесном состоянии фрагмента КПВ суммарные векторы осевых сил диполей кварков этого фрагмента равны нулю (нуль-векторы). Появление во фрагменте вещественного объекта (содержащего множество свободных кварков) возмущает электромагнитное поле, искривляя его относительно исходного равновесного состояния – суммарный силовой нуль-вектор при этом приобретает величину и направление. Управляя вбросом свободных кварков, можно влиять на изменение этого вектора [215].

Представление квантона в виде четырехмерной частицы кванта пространства-времени позволило придать ОТО квантовый характер и дало возможность В. С. Леонову представить квантовую теорию гравитации, опираясь на концепцию Эйнштейна – искривленное четырехмерное пространство-время как основа гравитации [215].

Интересна схема теории Суперобъединения волновых возмущений в упругой квантованной среде физического вакуума: 1) электромагнитные волны обусловлены поперечной электромагнитной поляризацией квантонов в пространстве; 2) гравитационные волны обусловлены продольной деформацией УКС; 3) крутильные колебания обусловлены вращением электромагнитных суперструн в упругой квантованной среде [71].

Генерация или проводка электромагнитной волны осуществляется путем изменения осевых расстояний (плеч) между зарядами (кварками) каждого из диполей [215] – см. рис. 2.3. Проводка гравитационной волны происходит за счёт смещения квантонов в малой окрестности фрагмента КПВ.

Леоновым экспериментально установлено пондеромоторное (преобразовательно-силовое) взаимодействие между электромагнетизмом и гравитацией (с реализацией силы Лоренца). Обнаружены достоверные антигравитационные эффекты. Экспериментальные исследования показали, что со структурой КПВ можно

взаимодействовать внешними полями, наблюдая устойчивые антигравитационные эффекты [71].

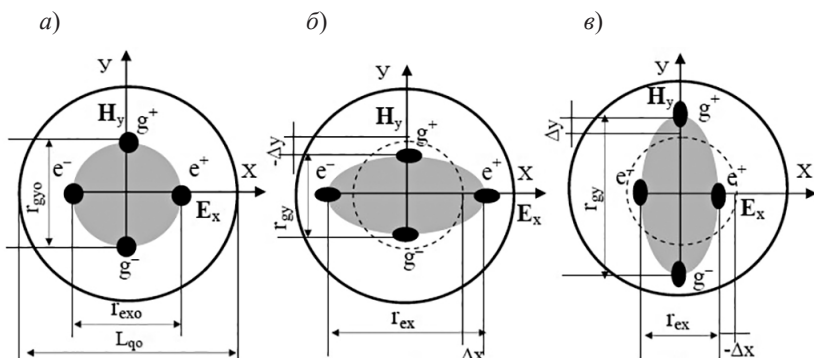


Рис. 2.3. Электромагнитная поляризация квантона при прохождении электромагнитной волны: равновесное состояние квантона (а); возбужденные поляризованные состояния квантона (б) и (в) [215]

Космос можно рассматривать как упругую суперэнергоёмкую среду, имеющую электромагнитную структуру, в которой везде есть опора и достаточно энергии. Взаимодействие со средой и управление этим взаимодействием [71] – задача практической физики и техники ближайших десятилетий.

В теории Суперобъединения показано, что невесомое КПВ пронизывает все весомые (вещественные) тела. При этом все весомые тела являются составной и неразрывной частью невесомого КПВ. Масса тела формируется в результате сферической деформации (искривления по Эйнштейну) невесомого КПВ элементарными частицами, входящими в состав тела. При этом масса тела является составной частью упругой квантованной среды, ее энергетическим сгустком [215].

Сферическая деформация КПВ по Эйнштейну – это искривление его «плотности», которое представимо изосферами



Лобачевского различной кривизны, нанизанными непрерывным образом одна на другую на неравно отстоящем расстоянии – представлено рис. 2.4 [215].

Гравитационные трансформации единого поля КПВ представляют собой сферические эйнштейновские искривления КПВ за счёт смещения квантонов в малой окрестности: стягивания их во фрагменте к некоему коротко-временному полюсу при одновременном разрежении периферии фрагмента [215].

При вбросе в КПВ электрического заряда квантоны начинают стягиваться к этому заряду, сжимая КПВ вблизи заряда и растягивая КПВ на удалении от заряда. Между зонами сжатия и растяжения появляется некая гравитационная граница. Происходит процесс сферической деформации квантованной среды [215].

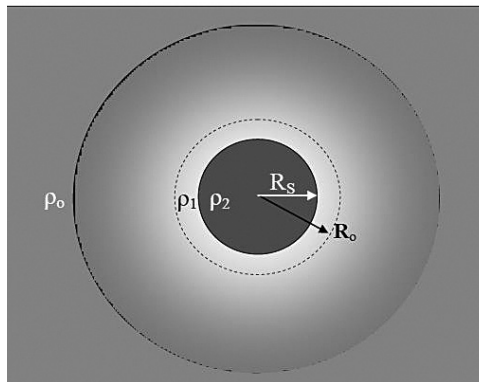


Рис. 2.4. Моделирование элементарной частицы в виде областей сферически деформированного КПВ:  $R_s$  – гравитационная граница раздела среды;  $\rho_1$  – область растяжения (светлая) и  $\rho_2$  – область сжатия (темная) [215]

Леонов В. С. характеризует КПВ как скалярное поле с распределением квантовой плотности среды  $\rho(x, y, z)$ . Тогда процесс

сжатия-растяжения среды с позиций векторного анализа может быть представлен дивергенцией градиента квантовой плотности КПВ [215]:

$$\operatorname{div}(\operatorname{grad}\rho) = k_0\rho_m, \quad (2.1)$$

где  $k_0$  – коэффициент пропорциональности;  $\rho_m$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>.

Входящий в (2.1) градиент  $\operatorname{grad} \rho$  представляет собой вектор деформации  $\mathbf{D}$  среды, когда скалярное поле  $\rho(x, y, z)$  при деформации преобразуется в векторное поле, отображая наличие гравитации [215].

В теории Суперобъединения эквивалентность тяготения и инерции определена способностью КПВ к деформации, при наличии которой возникает неуравновешенная сила тяготения или инерции. Отличие тяготения от инерции заключается в том, что деформация поля внутри пробной массы (фрагмента КПВ) при тяготении обусловлена внешним возмущающим полем, а при инерции – воздействием возмущающей силы [215].

По теории Суперобъединения все виды энергии (химическая, ядерная, электромагнитная, гравитационная, механическая и др.) сводятся к извлечению из вакуума и преобразованию единой глобальной энергии, открывая этим новое направление в энергетике – квантовую энергетику [215].

### 2.3. Генерация квантовой тяги

В теории УКС огромна значимость силы Лоренца [70, 71] (направленной в область минимальной напряженности магнитного поля). Ее природа связана с деформацией пространства в локальной области. Эту деформацию можно создать искусственно, как это достигается в контуре с током. Особый интерес представляет действие силы Лоренца при вращении электромагнитного квадруполья,

который при этом испытывает реактивную осевую тягу. Квадруполь как бы ввинчивается в среду, отталкивается от нее и за счет этого движется вперед аналогично воздушному или гидравлическому винту [70]. Величина тяги квадруполя определяется величиной заряда  $e(g)$ , частотой вращения и коэффициентом  $K_R$  (*проявляющимся, однако, при релятивистских скоростях*).

Таким образом, если квантон с его структурой электромагнитного квадруполя заставить вращаться, то возникает полевая тяга, которая может заставить его перемещаться в пространстве (вместе с конструктивной оболочкой рабочей камеры КвД) с высокой скоростью. То есть физика процесса держится на взаимодействии полей: вращающегося поля электромагнитного квадруполя и знакопеременного поля квантованной среды. Таким образом, квантовые двигатели — это двигатели, реактивная тяга которых создается взаимодействием полей [72, 81].

В квадрупольной ячейке происходит удержание и вращение квадруполя без излучения энергии за пределы конструктивной оболочки. Это является конструктивной особенностью КвД и основой того, что в КвД почти 100 % энергии преобразуется в движение. Такое невозможно получить для традиционных двигателей на химическом топливе, КПД преобразования которых низок [70].

В соответствии с третьим законом Ньютона, когда сила действия равна силе противодействия, тяга создается при отталкивании от другой массы или тела. Колеса автомобиля отталкиваются от дорожного покрытия [144]. В реактивном двигателе сила тяги создается в результате выброса реактивной массы, как бы отталкиваясь от этой массы [143]. Воздушный и гидравлический винты, ввинчиваясь в воздушную и гидравлическую среду, отбрасывают массу этой среды, отталкиваясь от нее [19, 38, 58].

Теория Суперобъединения утверждает, что можно отталкиваться и от вакуума, рассматривая физический вакуум как упругую квантованную среду (КПВ, имеющее первичный характер), являющуюся опорой для отталкивания [215].

В теории Суперобъединения утверждается, что невесомое квантованное пространство-время пронизывает все весоные тела. При этом все весоные тела являются составной и неразрывной частью невесомого КПВ. Масса тела формируется в результате сферической деформации (искривлением по Эйнштейну) невесомого КПВ элементарными частицами, входящими в состав тела. При этом масса тела является составной частью упругой квантованной среды, ее энергетическим сгустком. Масса, как гравитационный заряд, является вторичным образованием в КПВ [215].

Все известные ныне способы создания тяги основаны на внешнем воздействии при отталкивании от известных сред. При этом все известные аппараты для создания тяги необходимо рассматривать как закрытые квантомеханические системы.

В соответствии с теорией Суперобъединения квантовый двигатель представляет собой открытую квантомеханическую систему [99, 134, 136], в которой сила тяги создается внутри тела рабочего органа (активатора) квантового двигателя. Открытость системы обеспечивается единством и неразрывностью поля (КПВ) внутри активатора и вне его.

Таким образом, чтобы создать силу тяги без выброса реактивной массы, необходимо перейти к открытым квантомеханическим системам, используя взаимодействие с КПВ как упругой квантованной средой, от которой можно отталкиваться. В этом случае нет противоречий с третьим законом Ньютона, фундаментальность которого полностью подтверждается в теории Суперобъединения [81, 215].

Сам процесс создания силы тяги внутри рабочего органа квантового двигателя связан с эйнштейновским «искривлением» квантованного пространства-времени. С позиций теории Суперобъединения эйнштейновское КПВ выглядит как реальная деформация упругой квантованной среды внутри рабочего органа КвД [215]. Такая деформация производит перераспределение квантовой плотности КПВ внутри тела рабочего органа КвД. Это ведет к возникновению градиентных сил тяги внутри рабочего органа [74].

Деформация КПВ в локальной области внутри рабочего органа (активатора) КвД соответствует энергии, которая тратится телом на равномерное движение (при наличии сопротивлений среды) и разгон/торможение (в общем случае). При этом обеспечивается классический закон сохранения энергии. В теле рабочего органа КвД, активно взаимодействующего с вакуумной средой, пронизывающей тело, осуществляется деформация вакуумной среды. Возникает внутренняя сила тяги внутри тела рабочего органа. Это не внешнее, как у реактивного двигателя, а внутреннее отталкивание (от фрагмента КПВ, пронизывающего активатор). Если классическая теория отрицает движение без выброса реактивной вещественной массы, то теория Суперобъединения такое движение признает, подтверждает [215].

В качестве авторской ремарки к этой концепции Леонова В. С., рабочий фрагмент КПВ, определяемый наличием динамического изменения его плотности, по всей видимости, может и выходить за пределы активатора (в силу единства и неразрывности КПВ). Вероятно, это вызовет две проблемы: 1) дополнительная термонагрузка граничных конструктивных элементов активатора; 2) обеспечение дополнительного контура безопасности для персонала, оборудования и среды движения машины.

Итак, квантовые двигатели — это двигатели, реактивная тяга которых создается взаимодействием полей [70].

В КвД могут активно использоваться инерционные режимы с рекуперацией энергии. Способность квантовых двигателей к рекуперации энергии при создании тяги обеспечит экономичные энергетические циклы КвД. Необходимо компенсировать только потери энергии на трение в механизмах двигателя и омические потери в электрических проводах и обмотках активаторов [74].

Экономичность КвД при создании силы тяги, по мнению Леонова В. С., может превышать в 20 и более раз экономичность традиционных двигателей. Однако для активации энергии СЭВ в КвД требуется дополнительное питание, которое компенсирует тепловые потери в проводах и подшипниках. Но эти потери, по Леонову, составят не более 5 % [74].

Ещё авторская ремарка: если экономичность традиционных двигателей со сгоранием топлива определяется с помощью КПД (например, 30 % извлечения энергии из топлива на полезную работу), то как эту долю извлечения энергии из вещества можно сравнивать с эффективностью извлечения энергии из фрагмента КПВ – при колоссальной энергоемкости фрагмента КПВ (с плотностью  $10^{73}$  Дж/м<sup>3</sup>) энергия, извлекаемая для движения экипажа, будет лишь малой толикой всей энергии, содержащейся во фрагменте КПВ. Вопрос непростой – требует создания новой парадигмы оценки энергоэффективности открытых квантомеханических систем.

#### 2.4. Прототипы технических решений и образцы аппаратов с КвД

Прототипы квантовых (полевых, вакуумных) двигателей и источников энергии были описаны в работах Н. Теслы [67, 127–128], С. Флойда, Т. Брауна, В. Щабетника, В. Леонова, В. Прокопьева, Б. Игнатова, Ю. Иванова, В. Ацюковского, А. Митешова и других изобретателей [92, 134–137].

Весьма успешным и многообещающим является КвД Леонова, идея, способ, конструктивная схема которого защищены патентом России № 2185526 [72]. Есть по крайней мере уже две лабораторные реализации этого изобретения [73, 74, 104].

Технический результат в КвД достигается следующим образом: при создании тяги в вакууме путем воздействия на рабочее тело системой вращающихся неоднородных электрических и магнитных скрецающихся полей этому рабочему телу задают одновременно электрические и магнитные свойства. При этом внутри рабочего тела происходит перераспределение квантовой плотности среды вакуумного поля в направлении, противоположном вектору силы тяги, обусловленной деформацией вакуумного поля. Одновременно происходит вращение рабочего тела. Кроме того, вектор

силы тяги расщепляют на два вектора: нормальный и тангенциальный вектора. Нормальный вектор силы направляют на создание силы тяги, а тангенциальный – на создание вращающего момента, обеспечивающего производство электрической энергии для питания системы неоднородных электрических и магнитных скрещивающихся полей и системы их вращения [72].

Свидетельством практической реализации Леоновым В. С. принципа, заложенного в патенте, являются следующие факты. При массе аппарата 50 кг (вместе с шасси) ему сначала удалось выйти на тягу в 0,1 Н, а по мере продвижения разработки в 2009 г. увеличить эту тягу до 500 Н [73]. Опытный образец КвД образца 2014 года на 1 кВт мощности создал тягу в 5000 Н в импульсе (современный ракетный двигатель на 1 кВт мощности создает тягу всего в 1 Н) [104].

По утверждению В. С. Леонова, особых ограничений по силе тяги квантовых двигателей нет. Им разработана методика расчета конструктивных параметров квантового двигателя на любую силу тяги, в том числе на 1000 Н, 10 000 Н и более [215].

Следует отметить при этом, что приведенные значения тяги носят импульсный, кратковременный характер и обозначают пока принципиальные возможности достижения уровня тяги.

## 2.5. Концепции формирования тяговых сил в КвД

С раскрытием квантовой природы гравитации в теории Суперобъединения технология создания силы искусственного тяготения приобрела реальные черты. Она уже реализована Леоновым В. С. в ряде конструкций КвД, создающих импульс силы тяги за счет взаимодействия рабочих органов КвД с квантованным пространством-временем без отброса реактивной массы [73, 74, 76, 80, 81].

Ниже дано упрощенное и сжатое представление концепции формирования тяговых сил в КвД, опубликованной Леоновым В. С. в трудах [70–72, 81, 215]. Такая интерпретация на инженерном

уровне будет полезной как для последующего сравнительного количественного анализа свойств квантомобиля и автомобиля-аналога, так и для подготовки будущих инженеров-квантомобилистов, транспортников.

Одним из положений теории поля является то, что направление и величина вектора силы  $\mathbf{F}$ , определяемая пространственным градиентом ( $\text{grad}$ ) энергии  $W$ , обращены в сторону уменьшения энергии [81]:

$$\mathbf{F} = \text{grad}W. \quad (2.2)$$

Формула (2.2) представляет собой главную формулу в теории Суперобъединения для вычисления силы. Из этой формулы вытекают все остальные формулы для силы, в том числе и для сил тяготения. Перепады энергетических уровней в пространстве, определяемые градиентом энергии (2.2), ведут к появлению силы, силовому взаимодействию.

Если глобальное энергетическое поле  $W$  – это скалярное поле, то градиент (2.2) описывает уже векторное силовое поле, которое имеет направление и величину наискорейшего изменения энергии  $W$  в частных производных и записывается с помощью оператора Гамильтона [81]:

$$\text{grad}W = \nabla W = \frac{\partial W}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial W}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial W}{\partial z} \mathbf{k}, \quad (2.3)$$

где  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ ,  $\mathbf{k}$  – единичные векторы по осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно.

Формула (2.3) классической теории поля [190] справедлива только в том случае, если энергия разлита по пространству в виде энергетического поля. Отсутствие перепадов уровней энергии в однородном энергетическом поле, записывается условием:

$$W = \text{const}. \quad (2.4)$$

Уровень энергии в соответствии с условием (2.4) остается постоянным (константой) независимо от координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  в пространстве. И, как известно, производная от константы равна нулю:



$$\text{grad}W = \frac{\partial(W = \text{const})}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial(W = \text{const})}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial(W = \text{const})}{\partial z} \mathbf{k} = 0. \quad (2.5)$$

Чтобы появились силы, нужно в энергетическом поле создать перепады уровней энергии, когда  $W \neq \text{const}$ . Поскольку градиент (2.5) – векторная функция, то модуль силы её определяется выражением

$$|\text{grad}W^2| = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2}. \quad (2.6)$$

Направление единичного вектора градиента (направление силы)  $\mathbf{n}$  определяется отношением функции (2.3) к ее модулю (2.6) [190]:

$$\mathbf{n} = \frac{\text{grad}W}{|\text{grad}W^2|} = \frac{\frac{\partial W}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial W}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial W}{\partial z} \mathbf{k}}{\sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial z}\right)^2}}. \quad (2.7)$$

Формулы (2.2)–(2.7) справедливы для расчетов силы, когда известна функция распределения энергии в пространстве  $W = f(x, y, z)$ , то есть энергия неравномерно разлита по пространству с перепадами энергии.

Вектор  $\mathbf{n}$  (2.7) силы земного тяготения направлен к центру. Теория Суперобъединения дает научную базу для создания искусственной силы тяги (нужно изменить направление вектора силы  $\mathbf{n}$ ), независимо от действия внешней гравитации.

Далее Леонов записывает, с использованием формулы (2.2), силу  $\mathbf{F}_n$  земного тяготения через градиент энергии для пробной массы  $m$ , находящейся в поле тяготения с гравитационным потенциалом действия  $C^2$  [81]:

$$\mathbf{F}_n = \text{grad}W = \text{grad}(mC^2). \quad (2.8)$$

Выражение (2.8) отражает тот факт, что поле земного тяготения ведет к градиентному перераспределению энергии внутри пробного тела  $m$  и созданию силы в соответствии с законом тяготения Ньютона. Посредником в создании силы тяготения выступает деформированное (по Эйнштейну) КПВ [81].

Чтобы создать силу искусственной тяги (тяготения), необходимо внутри тела (рабочего органа) создать градиент энергии за счет перераспределения квантовой плотности среды [81].

Леонов В. С. в своем патенте 2002 г. [72] градиент энергии создал за счет формы рабочего органа в виде конуса и воздействия на конусное рабочее тело внешним электромагнитным полем со скрещивающимися электрическими и магнитными полями. В настоящее время он реализовал десяток различных способов создания силы искусственной тяги в различных конструкциях КвД: с вращающимися рабочими органами (конусными, дисковыми, линейными, магнитными и немагнитными, и другими), а также – с невращающимися рабочими органами (конусными, линейными, с подводом электромагнитной энергии в широком диапазоне частот, СВЧ-энергии, тепловой энергии, с градиентной плотностью вещества и др.) [81].

Примером приложения теории Суперобъединения к анализу конструктивной схемы КвД может служить обоснование действия двигателя *EmDrive* конструкции Р. Шойера [228–229]. Принцип работы этого двигателя (рис. 2.5) связан с созданием градиента энергии (2.2) в рабочем органе конусного типа (резонаторе), который и определяет направление силы тяги в область уменьшения концентрации энергии. Сила тяги  $F$  создается за счет взаимодействия градиентного СВЧ-поля с КПВ. При этом градиентное поле СВЧ создает градиент квантовой плотности среды и энергии внутри конусного резонатора [167].

И магнетрон (генератор микроволн), и конусный резонатор являются неразрывной частью КПВ, свободно проникающим сквозь них. Под действием градиентного поля наблюдается эффект «втягивания» квантонов КПВ в диффузор конусного резонатора.

Поскольку КПВ неподвижно (относительно инерциальной системы координат), то эффект «втягивания» проявляется как движение КвД в пространстве под действием силы тяги  $F_T$  (рис. 2.5). Получается, что КвД, создавая силу тяги  $F_T$ , как бы наезжает на КПВ (спереди), отталкиваясь от этого пространства как от упругой квантованной среды (сзади).

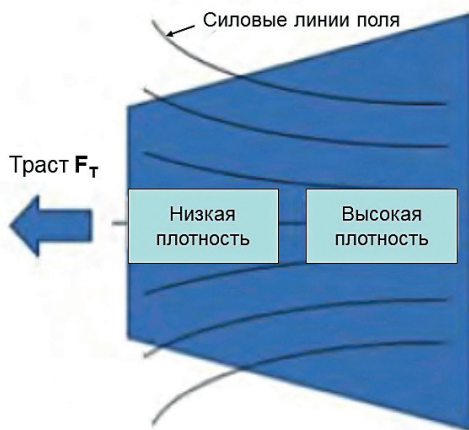


Рис. 2.5. Градиент плотности поля в конусном резонаторе, приводящий к возникновению траста  $F_T$  [167]

Направление тяговой силы на рис. 2.5 условно. Оно может меняться, вплоть до обратного, в зависимости от исполнения резонатора, размещения каналов из магнетрона в резонатор, характеристик СВЧ-поля [217, 218, 235]. Аналитически это отображается/рассчитывается с привлечением уравнений (2.2)–(2.8).

Отметим, что силу  $F$  будем называть тяговой силой (обозначив её даже через  $F_T$ ) – в контексте её приложения к конструктивному элементу – экипажу, но также и трастовой силой (траст, англ.

*thrust*) – в контексте реакции поля на его возмущения в резонаторе (термин из реактивной техники). При жестком креплении резонатора к корпусу экипажа и отсутствии каких-либо промежуточных преобразователей силы – это будет одним и тем же. Однако при наличии промежуточных звеньев-преобразователей (демпферов, редукторов и т. п.) эти силы могут различаться.

Также отметим, что сила (вектор) разложима по ортам:

$$F_T = F_{T_x} + F_{T_y} + F_{T_z} \quad (2.9)$$

Формула (2.9) важна для расчёта режимов движения и подвешивания (или поддавливания), а также боковой коррекции экипажа в варианте квантолёта (или квантомарины).

Приведённые выкладки будем считать необходимыми и достаточными для формирования методики анализа и синтеза энергосилового привода гипотетического транспортного средства.

Несмотря на то, что рассмотренные теоретические концепции ещё требуют всесторонней технической апробации и верификации со стороны научной общественности, всё же возрастающее число патентов и действующие лабораторные образцы антигравитационных устройств с квантовой тягой вселяют уверенность в появлении в обозримом будущем ТС с КвД – квантомобилей. И это определяет необходимость встречного движения со стороны автопрома: проведение расчетных и экспериментальных исследований тяговых сил КвД, мест установки КвД в/на корпусе транспортного средства, прогнозирование многофункциональности КвД и управления ими [206].

## **Глава 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАЗЕМНОГО КВАНТОМОБИЛЯ**

Поскольку ближайшим прототипом квантомобиля является автомобиль, будем опираться на хорошо известные концепции классического автомобиля – как с точки зрения базовых представлений, так и с точки зрения сравнения гипотетических оценок свойств квантомобиля с достаточно выверенными показателями свойств автомобиля.

Для этого нужно начать с представления базовых конструктивных и функциональных различий этих двух видов ТС.

### **3.1. Базовые различия конструкции и силовых схем квантомобиля и автомобиля**

Контент этого пункта направлен на подготовку к построению методики сравнения энергозатрат и получение сравнительной количественной оценки энергопотребления современного автомобиля с ДВС и гипотетического квантомобиля с КвД. Начнем со схемы элементов и связей автомобиля в нотации *UML* [53, 58] (рис. 3.1).

ДВС (или РД) заменяется на КвД (один – основной, единственный; либо – несколько, с добавлением к основному вспомогательных – маневровых) [206]. КвД создаёт тяговое усилие (траст), непосредственно передаваемое на конструкцию подрессоренной массы экипажа.

Установка основного КвД может быть передней (тянущей), задней (толкающей), либо серединной – все три варианта размещаются в центральной вертикальной плоскости симметрии экипажа. В этой вертикальной плоскости расположение основного КвД может быть верхним, нижним, либо серединным (зависит от типа ТС и результатов будущих исследований) [206].

3.1. Базовые различия конструкции и силовых схем квантомобиля и автомобиля

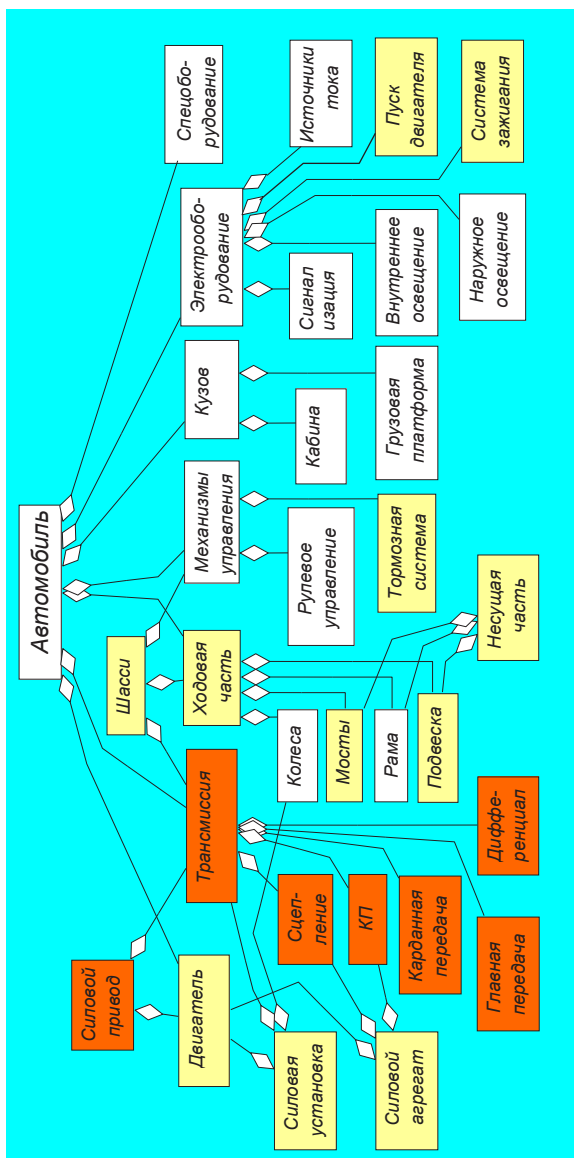


Рис. 3.1. Элементы и компоненты автомобиля. коричневым цветом закрашены полностью ликвидлируемые в квантомобиле элементы базового автомобиля; желтым цветом –частично ликвидлируемые, либо существенно видоизменяемые элементы базового экипажа [58]

Силовая схема и нагрузки на компоненты экипажа изменяются – подвеска может быть слабее, а корпус – должен быть более прочным. У автомобиля тяговая сила реализуется в виде суммарного толкающего усилия на продвижение как неподдрессоренной, так и водруженной поддрессоренной массы. У квантомобиля же тяговая сила (траст) реализуется как толкающее/тянущее усилие на продвижение поддрессоренной массы (с заднерасположенным/переднерасположенным КвД), но всегда – с усилием, непосредственно прикладываемым к поддрессоренной массе, которая увлекает за собой неподдрессоренную массу. То есть, приводная роль колесного движителя передается КвД (либо его подвеске на корпусе экипажа) [56].

Если для современного легкового автомобиля кузов проектируются специально таким образом, чтобы передняя и задняя части несущей конструкции легко деформировались при столкновении, то для квантомобиля конструкция рамы, кузова должна быть жесткой и прочной (во всяком случае, в компонентах, передающих тяговую силу).

Убираются элементы традиционного силового привода: КПП, карданные валы, главные и бортовые редукторы, межколесные и межосевые дифференциалы, дифференциалы свободного хода, шарниры для переднеприводных автомобилей. Ведущие мосты заменяются на ведомые [56, 58].

Элементы колесного движителя автомобиля объединены несущей частью. Эта объединенная конструкция наводит паразитную циркуляцию мощности в системе «трансмиссия – ходовая часть». Энергетически весомым является колебательный процесс подвески. Подвеска призвана обеспечивать плавное движение рамы с кузовом, грузом, людьми в процессе движения колес с мостами по неровной дороге – и это возможно только с реализацией колебаний неподдрессоренной массы относительно поддрессоренной. Эти колебания нужно непрестанно гасить. На демпфирование уходит часть энергии.

При переходе на конструкцию квантомобиля убираются топливные баки с топливопроводами, также глушители.

Вводится обтекаемое днище, учитывающее отсутствие устроенных элементов ДВС и традиционного силового привода автомобиля.

Для реализации режима квантолёта (если он обеспечивается) может быть введён механизм убора колёс с мостами.

Точка приложения тяговой силы – выше осей колес, а тем более точек контакта с дорогой, что меняет механику движения.

Для режима квантолёта необходима способность основного КвД создавать вертикальную (антигравитационную) составляющую траста  $F_{Tz}$ , превосходящую вес экипажа с грузом.

Система управления поворотом экипажа – как традиционная посредством опорных колёс, так и трастовая – посредством поворота траста основного КвД и/или маневровых КвД. Возможен поворотный привод управляемых опорных колёс – для маневрирования на малых ограниченных площадках [56].

### **3.2. Функциональные отличия формирования и управления тягово-скоростными свойствами автомобиля и квантомобиля**

За базовые знания для рассмотрения намеченных отличий привлечём хорошо известные сведения о формировании силового и мощностного баланса автомобиля с ДВС. И, по возможности, перенесём понятия и терминологию теорий автомобиля и ДВС на формируемое понятийное поле квантомобиля. При этом используем многопараметровый подход, исходящий по ДВС от Сороко-Новицкого В. И. [124], а по автомобилю – от работы Янте А. [159], и подхваченный автором в работах [49, 50, 53].

Темп энергопотребления определяет мощность машины, энергосилового объекта – и рассчитывается как произведение силового параметра на скоростной. Мощность ДВС определяется произведением реализуемого крутящего момента вала двигателя  $M_e$  на частоту вращения этого вала  $n_e$ :  $N_e = M_e \cdot n_e$ .



Зависимости снимаемого крутящего момента  $M_e$  (и других параметров: положения регулирующих органов, подачи топлива и пр.) от частоты  $n_e$  являются скоростными характеристиками. При этом зависимость  $M_e = f(n_e)$  при предельных положениях регулятора называется Внешней скоростной характеристикой (ВСХ). ВСХ при реализации ограничений скоростного режима ДВС переходит в Предельную регуляторную характеристику (ПРХ). Скоростные характеристики, снятые при промежуточных положениях регулятора, являются Частичными скоростными характеристиками.

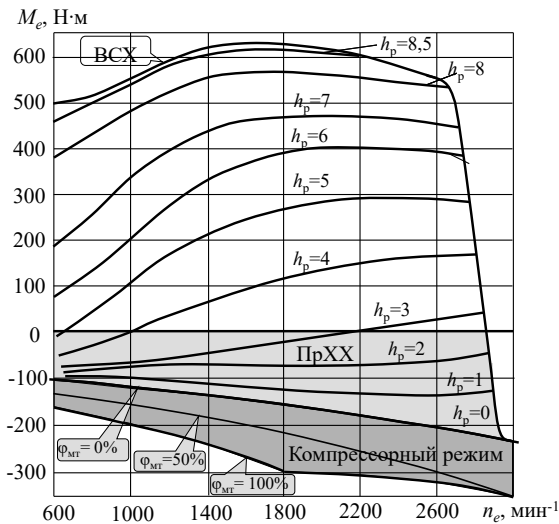


Рис. 3.2. Семейство скоростных характеристик  $M_e = M_e(n_e)$  двигателя КамАЗ-740 по ходу рейки ТНВД  $h_p$  (в мм);  $\varphi_{MT}$  – положения заслонки моторного тормоза [53]

На рис. 3.2 приведено семейство скоростных характеристик дизеля КамАЗ-740 [53]. Если значения положения рейки топливного насоса  $h_p$  положить на ортогональную ось аппликат

(по направлению к читателю), то получим трехмерное отображение зависимости  $h_p = f(M_e \cdot n_e)$ . Можно осуществить аналогичные действия для цикловой подачи топлива  $q_{ц}$  и других параметров двигателя. Таким образом, на базе параметров  $n_e$  (на оси абсцисс) и  $M_e$  (на оси ординат) строится Многопараметровая характеристика ДВС, являющаяся его функциональным паспортом. Силовые, скоростные и мощностные показатели посредством трансмиссии и колесного движителя далее формируют кинематику и динамику движения экипажа.

### 3.3. Отличия в продвижении потока энергии и формировании тягового баланса у квантомобиля в сравнении с автомобилем

Эти зависимости, составляющие основу силового, мощностного и энергетического баланса автомобиля и его энергосилового тракта, приведены нами, чтобы заявить – ничего этого в случае использования КвД нет и не нужно. Нет кинематической увязки скоростного и нагрузочного режимов в силовом агрегате. В случае КвД всё по-другому, и, наверное, проще – есть прикладываемый к конструкции экипажа вектор тяговой силы (траст), которым (и, наверное, только им одним) и предстоит управлять [58].

Однако, как увидим ниже, картине управления тяговым балансом автомобиля в расчетном поле ( $M_e \cdot n_e$ ) можно сопоставить отображение управления вектором тяги (трастом) КвД квантомобиля в расчетном поле ( $F_T \cdot V_q$ ).

Поскольку у КвД скоростного режима, по сути дела, нет, то основным средством расчета и управления продольным движением является уравнение тягового баланса [58]:

$$F_T = F_f + F_i + F_e + F_j = F_{\psi} + F_e + F_j. \quad (3.1)$$

Аналитические возможности уравнения (3.1) графически представлены на рис. 3.3, где отображена сравнительная картина

для автомобиля (чёрным цветом) и квантомобиля – наследника свойств (веса, формы и пр.) (синим).

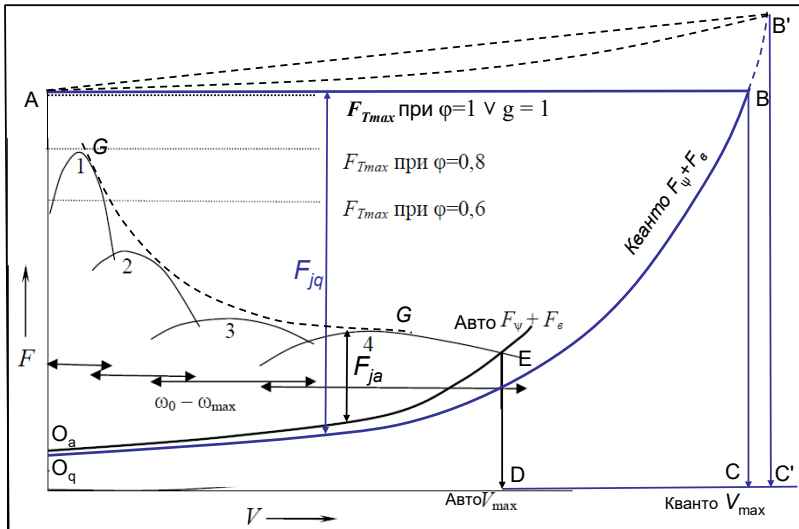


Рис. 3.3. Тяговый баланс автомобиля и квантомобиля [59, 210]

Вспомним, что для автомобиля при силовых расчетах условия движения по сцеплению чаще всего ограничивают силой  $F_{Tmax}$  при  $\varphi = 0,8$  [120], и гиперболу  $GG$ , огибающую графики тяговой силы по передачам КПП, чертят сверху с уровня  $\varphi = 0,8$ . В случае квантомобиля разгон условиями сцепления колес с дорогой не ограничен – на рис. 3.3 силовой предел отображен постоянной силой  $F_{Tmax}$  (при  $\varphi = 1$ ), соответствующему ускорению экипажа  $a_q$ , дозволению по биомеханическому пределу.

Далее видим, что у автомобиля на динамику остаётся остаток от тяговой силы  $F_{ja}$ , у квантомобиля же составляющая  $F_{jq}$  – в несколько раз больше, чем  $F_{ja}$ . Более того, при меньших затратах тяговой силы квантомобиля на качение колес и преодоление

сопротивления воздуха ( $F_{\psi} + F_{\nu}$ ) (см. кривые  $O_aE$  и  $O_qB$ ) и постоянстве силы  $F_{Tmax}$  (см. синюю горизонталь  $AB$ ) – максимальная скорость разгона квантомобиля (абсцисса  $C$  точки встречи кривых  $B$ ) намного больше максимальной скорости автомобиля (сравните точки  $C$  и  $D$ ).

И дальше – увеличивая в ходе разгона тяговую силу (управляемый траст  $F_T$ ) КвД по прямолинейному либо криволинейному закону (см. линии  $AB'$ ), можно добиться еще большей скорости разгона  $C'$ .

Таким образом, двухканальная (сила и скорость) многоступенчатая (регулятор ТНВД, собственно ТНВД, камера сгорания, муфта сцепления, КПП, главная передача, бортовые редукторы, ведущие колеса) система преобразования управляющего воздействия водителя в тяговую силу – заменяется у квантомобиля на одноканальное регулирование интенсивности рабочего процесса рабочего органа (резонатора) КвД, производящего непосредственно тяговую силу (траст), непосредственно прикладываемую к корпусу экипажа [59].

С точки зрения предельных возможностей, внешняя скоростная характеристика ДВС автомобиля заменяется Предельной регуляторной характеристикой (ПРХ) КвД, представляющей собой зависимость скаляра  $F$  траста  $F_T$  от предельного по биомеханике (либо конструктивным ограничениям управляемого или автономного ТС) ускорения экипажа. ПРХ должна настраиваться на оперативную массу экипажа (жесткая настройка ПРХ на полную массу ТС может приводить к недопустимым ускорениям незагруженного ТС) [59].

### **3.4. Влияние отличий экипажей с ДВС и с КвД и сопротивления их движению на энергопотребление**

#### **3.4.1. Влияние различия концептуальных схем экипажей на генерацию тяговой силы**

Цель анализа – оценить уровни требуемых энергозатрат двух вариантов силовых установок (с ДВС и КвД) для идентичных режимов движения АТС.

Ограничимся базовым режимом движения магистрального АТС: движение с постоянной скоростью на горизонтальном участке дороги.

Аналитические цепочки начинаем с маховика коленчатого вала ДВС и резонатора КвД.

Классическое уравнение тягового баланса автомобиля для установившегося движения на горизонтальном участке дороги:

$$P_T = P_f + P_w, \quad (3.2)$$

где  $P_T$  – тяговая сила, образованная поступающим на ведущие колёса крутящим моментом и приложенная через ось (ступицу) колес к раме автомобиля;  $P_f$  – сопротивление качению;  $P_w$  – сопротивление воздуха.

Модифицируем (3.2) для квантомобиля, заменив  $P_T$  на  $F_T$  (см. рис. 3.4), где  $F_T$  – тяговая (трастовая) сила, генерируемая КвД и приложенная к раме квантомобиля (в месте установки КвД):

$$F_T = F_f + F_w. \quad (3.3)$$

Прежде чем рассматривать изменения для каждой составляющей этого уравнения силового баланса при переходе от автомобиля к квантомобилю, полезно сравнить генерацию каждой из тяговых сил:  $P_T$  и  $F_T$  (левая часть уравнений). Привлечем на помощь схему рис. 3.4 [58].

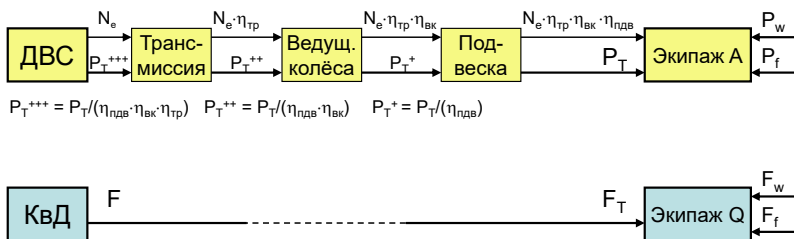


Рис. 3.4. Схемы генерации тяговых сил для автомобиля (экипаж А) и квантомобиля (экипаж Q)

ДВС производит эффективный крутящий момент  $M_e$  (с реализацией на заданной скорости эффективной мощности  $N_e$ ), который до формирования тяговой силы  $P_T$ , воздействующей на раму (корпус) со стороны подвески, ещё должен претерпеть цепь преобразований в сцеплении, коробке передач, дифференциалах, раздаточных коробках, бортовых редукторах, валопроводах, колёсах (в непростом контакте их с дорогой) – и в каждом из этих звеньев идут преобразования с потерей энергии и значениями КПД (трансмиссии –  $\eta_{тр}$ , ведущих колёс –  $\eta_{вк}$ , подвески –  $\eta_{пдв}$ ), зависящими от многих условий.

Потери накапливаются, что аналитически учитывается величинами соответствующих КПД. В конечном итоге на осуществление движения экипажа  $A$  остаётся мощность  $N_T = N_e \eta_{тр} \eta_{вк} \eta_{пдв}$ . Этой мощности (на данной скорости) соответствует сила тяги  $P_T$ .

Силу  $P_T$  можно привести к коленчатому валу ДВС, учитывая обратные значения КПД силовых элементов, а именно:  $P_T^{+++} = P_T / (\eta_{пдв} \eta_{вк} \eta_{тр})$ .

КвД, в отличие от силовой установки с ДВС, непосредственно генерирует тяговую силу  $F_T$  (см. на рис. 3.4; здесь  $F_T = F$ ).

Отметим, что в отличие от академических курсов (где тяговая сила возникает на оси ведущего колеса), в нашем случае воздействие  $P_T$  на экипаж  $A$  рассматриваем со стороны подвески. Во-первых, подвеска является важным элементом колёсного движителя с энергозатратами на колебания АТС и циркуляцию мощности. А во-вторых, и здесь это главное, – для обеспечения идентичности мест приложения этой силы для обоих рассматриваемых экипажей.

### 3.4.2. Отличие сил сопротивления движению экипажей

О глубине поиска отличий свидетельствует, например, схема (рис. 3.5) оценки  $\eta_{вк}$  колесного движителя, поскольку роль колес весьма значима в оценке различий между автомобилем (где колеса работают в ведущем режиме) и квантомобилем (где колеса оказываются ведомыми) [58]. На этом рисунке желтым цветом отмечены

составляющие, частично уменьшающиеся у квантомобиля, а коричневым цветом — полностью исчезающие у этого ТС.

КвД (при отсутствии закрашенных элементов на рис. 3.5) в данном анализе непосредственно генерирует тяговую силу  $F_T$  (см. рис. 3.4; здесь  $F_T = F$ ). Дросселирующая и демпфирующая роль системы управления КвД — обеспечить величину  $F_T$ , достаточную для выполнения тягового баланса по выражению (3.1), — пока не рассматривается, однако возможность внесения такого элемента с осуществлением  $F_T \neq F$  учтена на рис. 3.4 пунктиром.

С учетом основного условия сравнения вариантов  $F_T = P_T$  можно посредством величины  $F_T/P_T^{+++}$  оценить энергоэффективность внедрения квантомобиля по сравнению с автомобилем. Другими словами, оценить, насколько мощность КвД может быть меньше/больше мощности ДВС для обеспечения предусмотренного режима установившегося движения.

Из семи режимов качения колеса автомобиля (см. [53]) у квантомобиля останется только ведомый режим. Подвод энергии, уходящей на гистерезисные потери шины, работу сил внешнего трения шины о дорогу, на циркуляцию мощности, — отсутствует; вентиляционные потери — снижаются. Тормозной же режим колёс квантомобиля в основном не будет отличаться от автомобильного варианта.

Для ведущих колес автомобиля в упрощенном анализе можно использовать коэффициент сопротивления качению шины ведущего колеса  $f_{ш}$  [53]:

$$f_{ш} = P_f/Z = a_c / r_d + M_k (r_d - r_k) / (Z r_d r_k) = \frac{a_c}{r_d} + \frac{M_k}{Z r_k} \delta_k = f_c + f_k, \quad (3.4)$$

где  $f_c = a_c / r_d$  — составляющая коэффициента  $f_{ш}$ , характеризующая силовые потери, связанные со смещением  $a_c$  вертикальной реакции  $Z$ ;  $f_k = ((M_k / r_k) / Z)$ ;  $\delta_k$  — составляющая коэффициента  $f_{ш}$ , характеризующая кинематические потери, связанные со скольжением колеса  $\delta_k = (r_d - r_k) / r_d$ , приводящим к уменьшению скорости движения автомобиля  $v$ . Коэффициенты  $f_{ш}$ ,  $f_c$  и  $f_k$  являются соответственно энергетическим, силовым и кинематическим коэффициентами сопротивления качению.

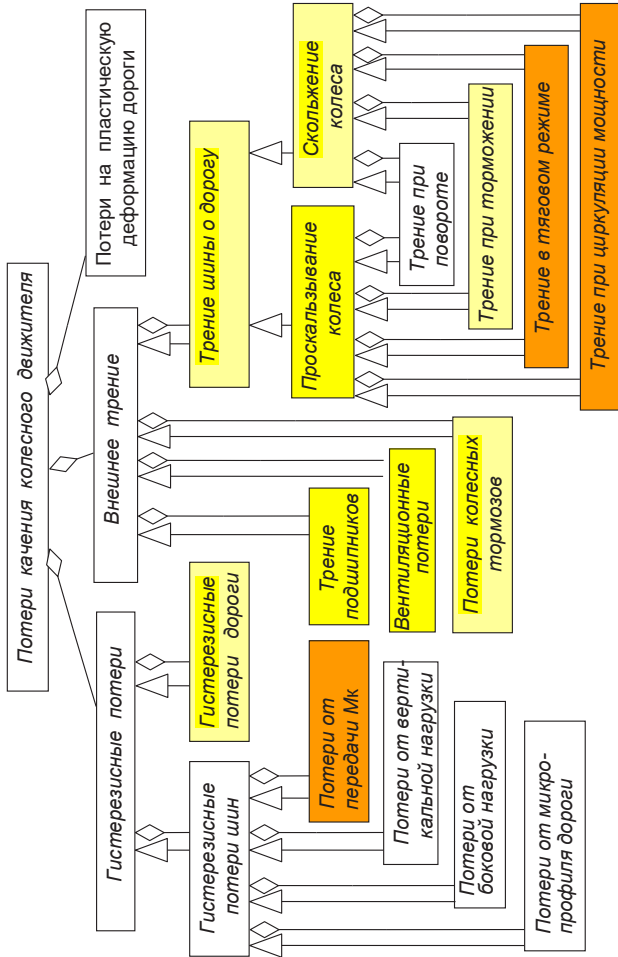


Рис. 3.5. Структура потерь качения колесного двигателя: коричневым цветом закрашены полностью ликвидлируемые в квантовом элементе базового автомобиля; желтым цветом – либо частично ликвидлируемые, либо существенно видоизменяемые элементы базового экипажа [58]



Величина  $((M_k/r_k)/Z)(r_d - r_k)$  определяет дополнительный снос нормальной реакции  $Z$ . С учетом  $(a_c + a_k) = a_{ш}$  можно записать:

$$f_{ш} = (a_c + a_k) / r_d = (P_{fc} + P_{fk}) / Z = (M_{fc} + M_{fk}) / Z r_k = (N_{fc} + N_{fk}) / Z v, \quad (3.5)$$

где  $P_{fc}$ ,  $P_{fk}$ ,  $M_{fc}$ ,  $M_{fk}$ ,  $N_{fc}$  и  $N_{fk}$  – силовые и кинематические составляющие силы  $P_f$ , момента  $M_f$  и мощности  $N_f$  сопротивления качению колеса.

При переходе колеса из ведущего режима в ведомый скольжение колеса практически исчезает – величины  $(r_d - r_k)$ ,  $\delta_k$ ,  $f_k$ ,  $a_k$  зануляются. Смещение  $a_c$  вертикальной реакции  $Z$  уменьшается (допустим, вдвое – более подробные выкладки см. в [53]).

Аэродинамическое сопротивление представим известной формулой

$$P_w = k_w F_{\text{лоб}} v_w^2, \quad (3.6)$$

где  $k_w$  – коэффициент обтекаемости,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$ ;  $F_{\text{лоб}}$  – площадь миделевого сечения,  $\text{м}^2$ ;  $v_w$  – скорость АТС относительно воздуха,  $\text{мс}^{-1}$ .

В случае квантомобиля из профиля миделя убираются выступающие части: ведущие мосты, карданные валы, картер КП, глушитель, топливный бак.

На аэродинамические характеристики колесного транспорта существенно влияет характер течения воздушного потока в подднищевой зоне. Для квантомобиля и автолёта учитываем снижение потерь под днищем соответствующим уменьшением коэффициента  $k_w$ .

### 3.5. Пример оценки энергетики квантомобиля на фоне автомобиля-аналога

С целью оценки энергетики квантомобиля на фоне современного автомобиля-аналога, рассмотрим гипотетический численный пример сравнения тяговых сил и энергозатрат автомобиля КамАЗ-4326 [43] (рис. 3.6) и квантомобиля-лаборатории на его базе. Траст КвД – только лишь продольный.

Ограничимся базовым режимом работы магистрального АТС: движение с постоянной скоростью на горизонтальном участке дороги – установившийся режим движения с постоянной скоростью 100 км/ч (27,8 м/с).



Рис. 3.6. Автомобиль КамАЗ-4326  
(участник гонки «Дакар») [43]

Груз – постоянный во всех расчётных вариантах; снижение общей массы экипажа – за счёт облегчения конструкции при переходе от базового автомобиля КамАЗ-4326 к квантомобилю, а затем – квантолёту (что соответствует смыслу модернизации).

Рассмотрим пять расчетных вариантов [58, 208].

1. Автомобиль КамАЗ-4326 с ДВС ЯМЗ-7Э846.10-07 – на дороге с предельно низким дорожным сопротивлением  $f = 0,01$ .

2. Автомобиль КамАЗ-4326 с ДВС ЯМЗ-7Э846.10-07 – на дороге с достаточно высоким дорожным сопротивлением  $f = 0,1$ .

3. Квантомобиль-лаборатория на базе КамАЗ-4326 с КвД (вместо ДВС с условно той же массой), без штатной трансмиссии, с облегченной подвеской с бескартерными мостами-балками и исключительно ведомыми опорными колесами, без топливных баков,

глушителей (экипаж не догружаем грузом до первоначального номинала) – на дороге с дорожным сопротивлением  $f = 0,01$ .

4. Квантомобиль-лаборатория на базе КамАЗ-4326 с КвД (вместо ДВС) в комплектации по п. 3 – на дороге с дорожным сопротивлением  $f = 0,1$ .

5. Квантолёт-лаборатория на базе КамАЗ-4326 с КвД (вместо ДВС) с выводом из комплектации по п. 3 опорных колёс, с обтекающим днищем. В расчёт берется только горизонтальная курсовая тяговая сила  $F_{Tx}$  (см. (2.9)).

В каждом из пяти названных вариантов расчета добиваемся равенства скоростного режима сопоставляемых экипажей. При этом условии определяем разницу необходимых тяговых сил  $P_T$  и  $F_{Tx}$ , а также разницу значений необходимой эффективной мощности ДВС  $N_{e,ДВС}$  и КвД  $N_{e,КвД}$ .

Результаты расчётов помещены в табл. 3.1. В ней  $G_{эк}$  – вес экипажа с постоянным грузом для всех пяти вариантов: варианты 1 и 2 – полный вес 10 т; варианты 3 и 4 – облегчение конструкции на 1,2 т (из-за вывода трансмиссии, ведущих мостов и топливного бака); вариант 5 – облегчение ещё на 1 т (из-за вывода опорных колёс с их мостами) (см. в авторских работах [57, 208]).

Анализ показателей таблицы позволяет сделать следующие выводы.

Энергозатраты квантомобиля с опорными колёсами на скорости 100 км/ч в полтора-два раза меньше, нежели у базового автомобиля КамАЗ-4326 (см. строку  $N_e(N_{Tx})$  в табл. 3.1).

Энергозатраты квантолёта на горизонтальную составляющую силу тяги  $F_{Tx}$  в три раза меньше, нежели для базового автомобиля в условиях движения с минимально возможным сопротивлением горизонтальной дороги  $f = 0,01$  и в 10 раз меньше для дороги  $f = 0,1$  (сравните столбцы 1, 2 и 5 табл. 3.1).

Отсутствие в мире данных по энергозатратам на вертикальное вывешивание квантолёта (составляющая  $F_{Tz}$  траста (2.9)) не позволяет пока сравнить квантолёт с базовым автомобилем в условиях продолжительного движения.

Таблица 3.1

Результаты сравнения тяговых сил и энергозатрат автомобиля КаМАЗ-4326 и квантомобиль-лаборатории на его базе в установившемся режиме движения с постоянной скоростью 100 км/ч [58]

Показатель	Варианты расчёта				
	1. Автомобиль, ДВС, $f=0,01$ , $P_T$	2. Автомобиль, ДВС, $f=0,1$ , $P_T$	3. Квантомобиль, КВД, $f=0,01$ , $F_T$	4. Квантомобиль, КВД, $f=0,1$ , $F_T$	5. Квантолёт, КВД, $F_{Tx}$
1	2	3	4	5	6
$G_{эк}, Н$	100 000	100 000	88 000	88 000	78 000
$F_{лоб}, М^2$	7,0	7,0	6,5	6,5	5,5
$k_{вп}, Н \cdot с^2/М^4$	0,6	0,6	0,55	0,55	0,45
$\eta_{гр}$	0,85	0,92	–	–	–
$\eta_{вк}$	0,9	0,7	–	–	–
$\eta_{плв}$	0,97	0,9	–	–	–
$\eta_{вст}$	0,74	0,58	–	–	–
$P_f, Н$	1000	10 000	880	8800	0
$P_{в}, Н$	3240	3240	2760	2760	1910

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
$P_T(F_T, F_{Tx}),$ H	4240	13 240	3640	11 560	1910
$N_T(N_{Tx}),$ кВт/л.с.	118/160	368/500	101/137	321/437	53/72
$P_e^{+++}(F_T,$ $F_{Tx}),$ H	5730	22830	3640	11560	1910
$N_e(N_{Tx}),$ кВт/л.с.	159/216,5	634/862	101/137	321/437	53/72

## 3.6. Обобщенная картина тягового баланса

Полная картина тягового баланса во всём диапазоне скоростей до 100 км/ч приведена на рис. 3.7. Поле тяговых сил автомобиля окрашено желтым цветом. Кривые по передачам соответствуют максимальным тяговым усилиям. Обратим внимание на силу  $F_{ja}$  – это доля тяговой силы, остающаяся на реализацию ускорения автомобиля [58].

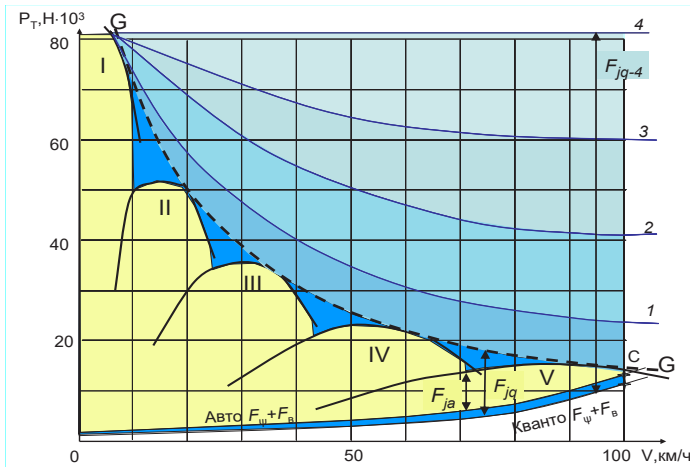


Рис. 3.7. Тяговый баланс автомобиля (желтый цвет) и квантомобиля-наследника (синий) для  $f = 0,1$ :  $GG$  – гипербола, огибающая передаточные графики тяговых сил автомобиля; кривые 1, 2, 3, 4 – в роли возможных регуляторных характеристик КвД

Обратим внимание на силы  $F_{ja}$  и  $F_{jq}$  – это доля тяговой силы, остающаяся на реализацию ускорения, соответственно, автомобиля и квантомобиля. Как видим,  $F_{jq} > F_{ja}$ . Аналитически это можно подтвердить следующей выкладкой для ускорения экипажа  $a$ :

$$a = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (3.7)$$

где  $D$  – динамический фактор экипажа;  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;  $\delta$  – коэффициент учета инерции вращающихся масс экипажа.

Динамический фактор  $D = (F_T - F_B) / G_{\text{кв}}$  квантомобиля больше, поскольку сопротивление воздуха  $F_B$  у него меньше, а общий вес его  $G_{\text{кв}}$  также меньше. Коэффициент  $\psi$  для квантомобиля меньше (из-за отсутствия ведущего режима колес).

Для автомобиля  $\delta = 1 + \delta_1 i_{\text{кп}}^2 + \delta_2$ , где  $\delta_1$  – коэффициент учета инерции вращающихся масс двигателя и трансмиссии, а  $\delta_2$  – коэффициент учета инерции вращающихся колес.

Поскольку у квантомобиля вращающихся масс двигателя и трансмиссии нет, то член уравнения  $\delta_1 i_{\text{кп}}^2$  в его случае выпадает и для него  $\delta$  в уравнении (3.7) всегда меньше, чем у автомобиля.

Таким образом, несколько факторов работают в пользу больших значений ускорения квантомобиля в сравнении с автомобилем-прототипом.

Пунктирная огибающая  $GG$  является геометрическим местом точек максимальных тяговых сил при произвольном варьировании ряда передаточных чисел возможных КПП автомобиля – это отражает и вариант применения вариатора с непрерывной сменой передаточного числа.

Если огибающую кривую  $GG$  выбрать за Регуляторную характеристику траста квантомобиля, то получим вариант движения квантомобиля с силовой нагрузкой его конструкции, равноценной варианту автомобиля-прототипа. Но, обратим теперь внимание на силу  $F_{jq}$  – она больше силы  $F_{ja}$  (в основном по причине меньших сопротивлений качению колёс и воздуха) – стало быть, квантомобиль может двигаться с большим ускорением, нежели сравниваемый с ним автомобиль-прототип.

Гиперболы 1, 2, и 3 могут выступать в роли Регуляторных характеристик КвД для реализации значительно больших ускорений, нежели у автомобиля-прототипа. Гиперболический характер этих кривых отвечает тенденции снижения ускорения

ТС на высоких скоростях, т. е. реализации «осмотрительности» с точки зрения безопасности движения. Вероятно, их можно будет выбирать, исходя из условий эксплуатации. Прямая 4 является Предельной регуляторной характеристикой КвД, отвечающей предельным возможностям КвД (если не введен форсаж  $AB'$  по рис. 3.3) [58].

### 3.7. О топографии регуляторных характеристик квантомобилия

Насколько изощренным может быть регулятор траста  $F_T$  КвД квантомобилия, пока говорить сложно. Но уже сейчас ясно одно – неизбежно будет иметь место Базовая Регуляторная характеристика (БРХ), представляющая собой каркас преобразования управляющих воздействий водителя (или автомата) в реализуемые величины траста [210]:

$$L = f_L(F_T, V_q), \quad (3.8)$$

где  $L$  (*lever*) – положение рычага управления водителя.

Возможно использование и обратного функционального (и графического) отображения

$$F_T = f_F(V_q, L). \quad (3.9)$$

В смысл опции «Базовая» автором вкладывается отсутствие учета гистерезиса, каких-либо регуляторов ( $PID$ -,  $LQR$ -,  $Fuzzi$ - и иных регуляторов), а также – корректоров (прямых и обратных для снятия жесткости в углах Регуляторной характеристики).

Взяв за прототип графического построения БРХ регуляторную характеристику центробежного двухрежимного регулятора (рис. 3.2), произведем аналогичные построения для БРХ (рис. 3.8, *a*).



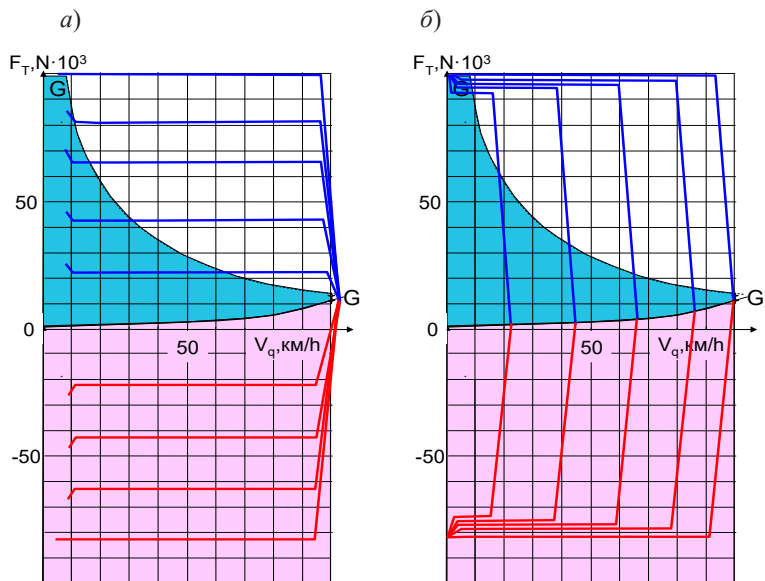


Рис. 3.8. Базовые регуляторные характеристики квантомобиля:  
*a* – двухрежимная; *b* – всережимная [210]

Отметим особенности этих БРХ. У двухрежимного регулятора ДВС (см. рис. 3.2) выпуклый характер кривых объясняется нелинейным выпуклым характером скоростных характеристик крутящего момента двигателя (в свою очередь зависящих от нелинейной выпуклости КПД в пределах рабочего поля двигателя). Поскольку Коэффициент преобразования (КП) КвД (выступающий для КвД заменителем КПД) независим от скоростного режима квантомобиля, и кроме того – в отсутствие конкретных характеристик КвД, на принципиальном уровне в БРХ можно отобразить двухрежимный характер регулирования серией горизонтальных прямых (синие линии на рис. 3.8).

Далее, компрессорный режим ДВС при торможении автомобиля двигателем отображается семейством кривых, близких к горизонтальным (см. рис. 3.2 в его нижней части). Углы ухода кривых

от горизонтального направления и их нелинейность объясняется зависимостью сопротивлений движению воздуха во впускной-выпускной системах от скоростного режима. Поскольку подобной зависимости у КвД нет, уместно представить тормозные БРХ сериями горизонталей (красные линии). Стыковка регуляторных характеристик тягового и тормозного режимов происходит на линии ( $F_{\psi} + F_{\text{в}}$ ) (см. рис. 3.3), поскольку при отсутствии тяги экипаж начинает замедляться именно на этой линии. Эта же линия является границей между зоной тяги (голубой цвет) и зоной торможения (розовый цвет на рис. 3.8). На рисунке также, для ориентации и сравнения, синим цветом отмечено поле тяговых режимов автомобиля-прототипа (см. его образ на рис. 3.7).

На рис. 3.8, б помещена БРХ со всережимным характером регулирования. Такой тип регулирования применим для круизного движения с необходимостью поддержания сравнительно постоянной скорости, не зависящей от изменения сопротивления дороги. Также, в отсутствие конкретных данных о КвД (и на первых порах его появления) графики прямолинейны.

Характер кривых в тормозной зоне (розовой) – автором заложен зеркальным относительно кривых тяговой зоны (голубой). На практике, скорее всего, этой зеркальности не будет. Более того, возможно комбинирование двухрежимной и всережимной топологии семейства кривых для одного КвД [210].

### 3.8. Нормальные реакции на колесах квантомобиля

Взяв за основу схему определения нормальных реакций  $R_z$  на колесах автомобиля по работе Волкова Е. В. [28], но в нотации Селифонова В. В. [120], рассмотрим ее преобразование для квантомобиля. На рис. 3.9 представлены:  $V_q$  – вектор скорости движения по участку опорной поверхности (ОП) (под углом  $\alpha$  к горизонту);  $C_g$  – центр тяжести (ЦТ);  $G_q$  и  $G_q'$  – сила тяжести и ее проекция на вертикальную ось экипажа;  $F_{Tx}$ ,  $F_{\text{в}}$ ,  $F_{\text{и}}$ ,  $F_{\text{п}}$ ,  $F_{\text{л}}$  и  $F_{\text{р2}}$  – продольная

сила тяги КвД, сила сопротивления воздуха, приведенная сила инерции, сила преодоления подъема, силы сопротивления качению передних и задних колес, соответственно;  $T_{f1}$  и  $T_{f2}$  – моменты сопротивления качению колес;  $h_b$ ,  $h_g$ ,  $h_{FTx}$  – расстояния векторов соответствующих сил от ОП;  $L$ ,  $L_1$  и  $L_2$  – расстояния базовое и от осей колес до проекции ЦТ на ОП;  $A$  и  $B$  – центральные точки пятен контакта колес с ОП;  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  – искомые нормальные реакции.

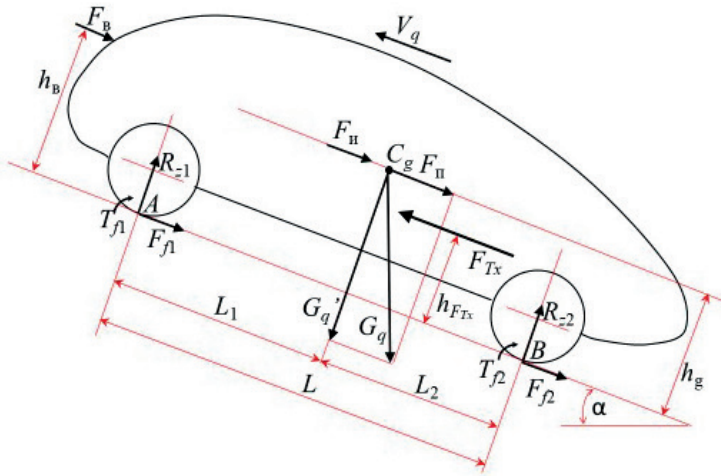


Рис. 3.9. Расчетная схема нормальных реакций колес квантомобиля

Сумма моментов относительно точки  $B$  задних колес:

$$\sum T_B = R_{z1} \cdot L + G_q \cdot \sin \alpha \cdot h_g + m' \cdot a \cdot h_g + 0,5 \cdot c_x \cdot \rho \cdot F_{front} \cdot V_q^2 \cdot h_b - G_q \cdot \cos \alpha \cdot L_2 + T_{f1} + T_{f2} - F_{Tx} \cdot h_{FTx} = 0, \quad (3.10)$$

где  $c_x$  – коэффициент обтекаемости воздуха;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $F_{front}$  – лобовая площадь квантомобиля, м<sup>2</sup>;  $m'$  и  $a$  – приведенная масса и ускорение квантомобиля.

Учитывая, что  $T_{f1} + T_{f1} = fR_{z1} r_d + fR_{z2} r_d = (R_{z1} + R_{z2})fr_d = G_q \cos \alpha fr_d$ , из суммы моментов можно выразить  $R_{z1}$ :

$$R_{z1} = \frac{G_q \cdot L_2}{L} \left( \begin{array}{l} (\cos \alpha - \frac{h_g}{L_2} \cdot \sin \alpha) - (\frac{c_x \cdot \rho \cdot F_{front} \cdot V_q^2}{2 \cdot G_q \cdot L_2} \cdot h_b) - \\ - (\frac{a}{g} \cdot \frac{h_g}{L_2}) - (\cos \alpha \cdot f \cdot \frac{r_d}{L_2}) + (\frac{F_{Tx} \cdot h_{FTx}}{G_q \cdot L_2}) \end{array} \right). \quad (3.11)$$

Для дальнейшего рассмотрения более удобна запись:

$$R_{z1} = \frac{G_q}{L} \left( \begin{array}{l} (\cos \alpha (L_2 - f \cdot r_d) - h_g \cdot \sin \alpha) - (\frac{c_x \cdot \rho \cdot F_{front} \cdot V_q^2}{2 \cdot G_q} \cdot h_b) - \\ - (\frac{a}{g} \cdot h_g) + (\frac{F_{Tx} \cdot h_{FTx}}{G_q}) \end{array} \right) = \quad (3.12)$$

$$= \frac{G_q}{L} (k_{v2} - k_b - k_n + k_{FTx}).$$

Здесь введены обозначения (с существенным отличием от [120]):

$k_{v2} = (\cos \alpha (L_2 - f \cdot r_d) - h_g \cdot \sin \alpha)$  – комплекс величин, представляющий взаимодействие колес и ОП;

$k_b = (\frac{c_x \cdot \rho \cdot F_{front} \cdot V_q^2}{2 \cdot G_q} \cdot h_b)$  – комплекс, представляющий сопротивление воздуха;

$k_n = (\frac{a}{g} \cdot h_g)$  – комплекс, представляющий динамику движения;

$k_{FTx} = (\frac{F_{Tx} \cdot h_{FTx}}{G_q})$  – комплекс, представляющий продольную силу тяги и высоту расположения траста КвД.

Представляет интерес последний комплекс – видим, что сила «клевка» экипажа прямо пропорциональна тяге КвД и высоте действия траста. Если раскроем все скобки в уравнении (3.12) и рассмотрим фрагмент  $R_{z1} = \dots + \frac{F_{Tx} \cdot h_{FTx}}{L}$ , то увидим, что доля силового воздействия тяги КвД в «клевке экипажа на нос» обратно пропорциональна базе колесного шасси квантомобиля.

Аналогичен вывод для реакции  $R_{z2}$ , но, однако, через сумму моментов относительно точки  $A$ . В итоге получим:

$$R_{z2} = \frac{G_q}{L} \left[ \begin{aligned} &(\cos \alpha(L_1 + f \cdot r_d) + h_g \cdot \sin \alpha) + \left( \frac{c_x \cdot \rho \cdot F_{front} \cdot V_q^2}{2 \cdot G_q} \cdot h_b \right) + \\ &+ \left( \frac{a}{g} \cdot h_g \right) - \left( \frac{F_{Tx} \cdot h_{FTx}}{G_q} \right) \end{aligned} \right] = \quad (3.13)$$

$$= \frac{G_q}{L} (k_{\psi 1} + k_b + k_n - k_{FTx}).$$

Отметим, что отражение результата взаимодействия колес второй оси с наклонной ОП отличается от предыдущего, а именно:

$$k_{\psi 1} = (\cos \alpha(L_1 + f \cdot r_d) + h_g \cdot \sin \alpha).$$

*Обсуждение.* Относительно траста, видим: насколько он нагружает передние колеса, настолько разгружает задние (см. последние члены уравнений (3.12) и (3.13)).

Коэффициенты  $k_i$  представляют собой удобные комплексы для качественного анализа влияния силовых факторов на загрузку шасси квантомобиля. Они могут явиться основой расчетных блоков для более детализированного программирования, анализа и синтеза конструкции экипажа с КвД, оптимизации размещения этого двигателя в корпусе квантомобиля.

Рассмотрена схема сил, действующих на квантомобиль, включающая тяговую силу одного КвД (единственного трастера), расположенного над опорной поверхностью. Квантомобиль, од-

нако, должен иметь не менее трех трастеров – для осуществления не только продольного движения в плоскости тангажа, но для реализации управления по крену и рысканию [56]. Рассмотренная схема должна стать основой для формирования мультитрастерных схем движения и управления.

Представленная схема сил, действующих на квантомобиль, включающая тяговую силу КвД (траст), реализуемую над опорной поверхностью, должна стать родовой для формирования силовых схем наземных квантомобилей с множеством трастеров в экипаже.

## Глава 4. ПРОДОЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ПЛОСКОСТИ ТАНГАЖА

Углубим представления о формировании силового баланса и вариантах его использования по тангажу продольного движения экипажа, в том числе, с отрывом от опорной поверхности и вывешиванием над ней. Сформируем обобщенное уравнение силового баланса для совокупности режимов движения квантомобиля, включающей и отрыв от опорной поверхности. Обеспечим графическое отображение – как часть совокупности аналитических действий, направленных на фиксацию и осмысление характерных граничных точек и кривых. Представим численные и графические примеры. Обсудим результаты и обозначим перспективу развития темы.

### 4.1. Компоненты вектора траста

Итак, в теле рабочего органа КвД, активно взаимодействующего с вакуумной средой, пронизывающей КвД, осуществляется деформация вакуумной среды [215]. Внутри КвД возникает сила тяги (траст  $F_T$ ), опирающаяся на задействованный упругий фрагмент среды вакуума (поля), которая при приложении к конструкции КвД заставляет его двигаться относительно поля [72, 81]. Этой доктрины придерживаются и Митешов А. А. [92], Фролов А. В. [134–137], *Brandenburg J.* [167], *Card J.* [174], *Fearn H.* [182], *Fetta G.* [183], *Froning H.* [185], *McCulloch M.* [217], *Shawyer R.* [228–229], *Tajmar M.* [230–231] и др.

Как отмечалось в главе 2, 3D-пространственный вектор траста раскладывается по осям:

$$\mathbf{F}_T = \mathbf{F}_{Tx} + \mathbf{F}_{Ty} + \mathbf{F}_{Tz}. \quad (4.1)$$

В скалярной записи это:

$$F_T = \sqrt{F_{Tx}^2 + F_{Ty}^2 + F_{Tz}^2}. \quad (4.2)$$

Если допустить возможность направления вектора траста по всем направлениям 3D-пространства, то область реализации этого вектора представима сферой радиуса  $F_T$ .

Формулы (4.1) и (4.2) являются общими исходными для расчёта движения квантомобиля как по опорной поверхности, так и в отрыве (отлёте) экипажа от этой поверхности (в варианте квантолёта), а также в режиме боковой коррекции движения.

В рамках лишь продольного движения экипажа в плоскости развёртывания угла тангажа  $\beta$  – формулы (4.1) и (4.2) принимают вид

$$\mathbf{F}_T = \mathbf{F}_{Tx} + \mathbf{F}_{Tz}. \quad (4.3)$$

В скалярной записи это:

$$F_T = \sqrt{F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2}. \quad (4.4)$$

При этом  $\beta = \arctg (F_{Tz} / F_{Tx})$ . (4.5)

Графически это представлено на рис. 4.1.

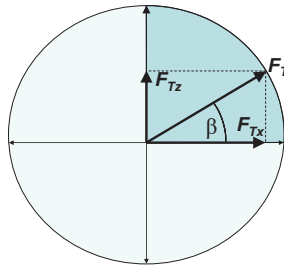


Рис. 4.1. Разложение траста  $\mathbf{F}_T$  на горизонтальную  $\mathbf{F}_{Tx}$  и вертикальную  $\mathbf{F}_{Tz}$  компоненты:  $\beta$  – угол наклона траста  $\mathbf{F}_T$  относительно горизонта

Введем также показатель степени вывешивания экипажа

$$\gamma = F_{Tz} / F_T. \quad (4.6)$$



Вывешивание экипажа используется квантомобилем. Это же может оказаться полезным и для железнодорожных ТС в левитационном [9], монорельсовом и трубно-вакуумном вариантах [58].

Представление значения траста  $F_T$  арифметической суммой скалярных величин горизонтальной тяги  $F_{Tx}$  и вертикальной подъемной силы  $F_{Tz}$  (т. е.  $F_T = F_{Tx} + F_{Tz}$ ) будет принципиально неправильным (поскольку здесь совершается геометрическое сложение векторов). Поэтому анализ силового баланса квантомобиля будет отличаться от привычного силового баланса автомобиля, что увидим далее.

Продольному поступательному движению квантомобиля вперед соответствует первый выделенный квадрант круга обметания вектора траста (см. рис. 4.1).

Анализ силового баланса квантомобиля отличается от канонического анализа автомобиля, что обусловлено вовлечением в уравнение силового баланса квантомобиля новых для наземного ТС сущностей, проявляющихся при учете вертикальных сил: тяжести, вывешивания, воздушного сопротивления вертикальному перемещению, вертикальные ускорения.

Эти аспекты рассматриваются в авиа- и вертолетостроении при моделировании и осуществлении вертикальных взлетов (*Vertical Takeoff and Landing, VTOL*) и взлетов с коротким разбегом (*Short Takeoff and Landing, STOL*) [10, 11, 20, 168, 219, 233, 234]. Используем имеющийся опыт, накопленный в этих отраслях, привнеся при этом авторский графоаналитический подход.

## **4.2. Уравнение силового баланса квантомобиля и его сечения**

### **4.2.1. Формирование обобщенного уравнения силового баланса квантомобиля**

Вывод обобщенного уравнения силового баланса квантомобиля начнём с известного уравнения движения автомобиля [120, 144, 159, 196] (которое соответствует движению квантомобиля со

всеми ведомыми колесами, только лишь с горизонтальной тягой КВД – без какого-либо вертикального вывешивания экипажа):

$$F_{Tx} = P_T = P_k + P_B + P_{и} = G_q f_{к0} (1 + f_{кV} V_x^2) + k_{в.х} S_{лоб} V_x^2 + \frac{G_q}{g} a_x (1 + \delta_k), \quad (4.7)$$

где  $P_T$  – сила тяги, Н;

$P_k$  – сила сопротивления качению ведомых колес, Н;

$P_B$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$P_{и}$  – сила инерции экипажа, Н;

$G_q$  – вес квантомобиля, Н;

$f_{к0}$  – «основной» коэффициент сопротивления качению ведомых колес при скорости, близкой к нулю, и  $F_{Tz} = 0$  (в отсутствие какого-либо вывешивания или поддавливания экипажа);

$f_{кV}$  – скоростной коэффициент сопротивления качению ведомых колес,  $c^2/m^2$  [53, 120, 159, 196, 222];

$V_x$  – текущая скорость продольного (курсового) движения экипажа, м/с;

$k_{в.х}$  – коэффициент горизонтальной обтекаемости экипажа воздухом (ниже применяется также  $k_{в.х}$ ),  $H \cdot c^2/m^4$ ;

$S_{лоб}$  – лобовая площадь экипажа,  $m^2$ ;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$a_x$  – продольное ускорение экипажа, м/с<sup>2</sup>;

$\delta_k$  – коэффициент инерции вращения колес экипажа.

При реализации вертикальной составляющей траста  $F_{Tz}$  раскрытие и детализация формулы (4.4) в общем случае приводит к выражению:

$$F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = (P_f + P_{a,x} + P_{j,x})^2 + (P_{a,z} + P_{j,z} + P_g)^2 = \left( f_{к0} (1 + f_{кV} V_x^2) \cdot (G_q - F_{Tz}) \Big|_{F_{Tz} \leq G_q} + k_{в.х} S_{лоб} V_x^2 + \frac{G_q}{g} a_x (1 + \delta_k) \right)^2 + \left( (k_{в.з} S_{план} V_z^2 + \frac{G_q}{g} a_z) \Big|_{F_{Tz} > G_q} + \min(F_{Tz}, G_q) \right)^2, \quad (4.8)$$

где  $F_T, F_{T_x}, F_{T_z}$  – траст и его координатные составляющие, соответственно, Н;

$P_f$  – сила сопротивления качению колес, Н;

$P_{в.х}$  – сила сопротивления воздуха горизонтальному движению, Н;

$P_{j.x}$  – сила сопротивления горизонтальному ускорению, Н;

$P_{в.z}$  – сила сопротивления воздуха вертикальному движению, Н;

$P_{j.z}$  – сила сопротивления вертикальному ускорению, Н;

$P_g = \min(F_{T_z}, G_q)$  – часть вертикальной составляющей траста, идущей на нейтрализацию доли  $\gamma$  силы тяжести вывешиваемого экипажа ( $\gamma = F_{T_z} / G_q$ ), Н;

$f_{к0}$  – коэффициент сопротивления качению ведомых колес при скорости, близкой к нулю, и  $F_{T_z} = 0$ ;

$f_{кV}$  – скоростной коэффициент сопротивления качению ведомых колес,  $c^2/m^2$ ;

$V_x$  – текущая скорость продольного движения экипажа, м/с;

$G_q$  – вес квантомобиля, Н;

$k_{в.х}$  – коэффициент горизонтальной обтекаемости экипажа воздухом,  $H \cdot c^2/m^4$ ;

$S_{люб}$  – лобовая площадь экипажа,  $m^2$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;

$a_x$  – продольное ускорение экипажа,  $m/c^2$ ;

$\delta_k$  – коэффициент инерции вращения колес экипажа;

$k_{в.z}$  – коэффициент вертикальной обтекаемости экипажа воздухом,  $H \cdot c^2/m^4$ ;

$S_{план}$  – площадь экипажа в плане,  $m^2$ ;

$V_z$  – скорость вертикального движения экипажа, м/с;

$a_z$  – вертикальное ускорение экипажа,  $m/c^2$ ;

$|F_{T_z} \leq G_q$  – область допустимых значений  $F_{T_z}$  в режиме поддавливания (вниз – для повышения устойчивости) или частичного вывешивания экипажа (без отрыва его от опорной поверхности);

$|F_{T_z} > G_q$  – область значений  $F_{T_z}$  в режиме полного вывешивания экипажа над опорной поверхностью (с возможным его отлетом от поверхности).

Формула (4.8) является обобщенным выражением силового баланса квантомобиля, охватывающего следующие характерные случаи его движения:

1) только продольного – в режиме поддавливания экипажа, при вертикальной составляющей траста  $F_{Tz} < 0$ , то есть направлении её вниз;

2) только продольного – в режиме классического автомобиля в отсутствие вертикальной составляющей траста,  $F_{Tz} = 0$ ;

3) только продольного – в режиме частичного подвешивания экипажа, без отрыва колёс от опорной поверхности, когда  $0 < F_{Tz} < G_q$ ;

4) продольного граничного – с отрывом колёс от опорной поверхности, но без отлёта экипажа вверх, когда  $F_{Tz} = G_q$ ;

5) режим вертикального взлета (*VTOL*) – когда  $F_{Tz} > G_q$ ;

6) режим взлета с коротким разбегом (*STOL*).

Имеются особенности применения формулы (4.8):

- для случаев 1) – 3) коэффициент сопротивления качению ведомых колес при скорости, близкой к нулю  $f_{к0}$ , а также коэффициент вращения колес  $\delta_k$  – значимы (например,  $f_{к0} = 0,3$ ;  $\delta_k = 0,04$ );

- для случаев 5) и 6) эти коэффициенты зануляются (что, впрочем, подстраховывается в формуле (4.8) определяющими областями значений величины  $F_{Tz}$ :  $|F_{Tz} \leq G_q$  и  $|F_{Tz} > G_q$ );

- член уравнения « $\min(F_{Tz}, G_q)$ » представляет собой силу, идущую на преодоление гравитационной силы, создаваемой массой экипажа: частично – когда при  $F_{Tz} \leq G_q$  нет физической возможности отлёта экипажа вверх, либо при  $F_{Tz} > G_q$  – когда с полным преодолением силы гравитации появляется физическая возможность отлёта экипажа за счет остатка силы  $R_{FTz} = F_{Tz} - G_q$ .

Формула (4.8) не учитывает вертикального смещения экипажа при изменении величины  $F_{Tz}$  в случаях движения 1) – 3), которое, хотя и незначительное, но будет иметь место из-за деформации шин и податливости грунта. Реализуемые при этом вертикально направленные скорость и ускорение будут на порядок меньше в сравнении со скоростью  $V_z$  и ускорением  $a_z$  отлета экипажа при  $F_{Tz} > G_q$  – ими в данном исследовании пренебрегаем.

### 4.2.2. Частные случаи обобщенного уравнения

При рассмотрении силового баланса в установившемся равномерном приземном движении, в контакте с опорной поверхностью, но без отрыва от неё ( $F_{Tz} \leq G_q$ ), можно использовать упрощенное (относительно (4.8)) уравнение:

$$F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = (P_f + P_{в.х})^2 + (P_{в.з} + P_g)^2 = (f_{к0} (1 + f_{кV} V_x^2) \cdot (G_q - F_{Tz}) + k_{в.х} S_{\text{люб}} V_x^2)^2 + (k_{в.з} S_{\text{план}} V_z^2 + F_{Tz})^2. \quad (4.9)$$

Более того, признав для приземного движения скорость вертикального перемещения  $V_z$  ничтожно малой, формулу (4.9) можно привести к виду:

$$F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = \left( f_{к0} (1 + f_{кV} V_x^2) \cdot (G_q - F_{Tz}) + k_{w,x} S_{\text{люб}} V_x^2 \right)^2 + (F_{Tz})^2. \quad (4.10)$$

Уравнение (4.10) – имплицативное (неявное) относительно аргументов  $x = F_{Tx}$ ,  $z = F_{Tz}$ ,  $y = V_x$ .

В расчетном исследовании удобно пользоваться явными уравнениями относительно проблемного показателя фазы расчета.

Приведём уравнение (4.10) к явному виду относительно  $F_{Tx}$  (естественно, принимаются во внимание лишь положительные из возможных оснований квадратичных функций) [61]:

$$F_{Tx} = (f_{к0} (1 + f_{кV} \cdot V_x^2) \cdot (G_q - F_{Tz}) + k_{w,x} S_{\text{люб}} V_x^2). \quad (4.11)$$

Приведение уравнения (4.10) к явному виду относительно  $F_{Tz}$ :

$$F_{Tz} = G_q + \frac{k_{w,x} \cdot S_{\text{люб}} \cdot V_x^2 - F_{Tx}}{f_{к0} (1 + f_{кV} \cdot V_x^2)}. \quad (4.12)$$

Приведение уравнения (4.10) к явному виду относительно  $V_x$ :

$$V_x = \sqrt{\frac{F_{Tx} - f_{к0} (G_q - F_{Tz})}{f_{к0} \cdot f_{кV} (G_q - F_{Tz}) + k_{w,x} S_{\text{люб}}}}. \quad (4.13)$$

При использовании степени вывешивания экипажа  $\gamma = F_{Tz}/G_q$  можно осуществить замену  $(G_q - F_{Tz}) = G_q(1 - \gamma)$ . Тогда формула (4.13) примет вид:

$$V_x = \sqrt{\frac{F_{Tx} - f_{k0} \cdot G_q \cdot (1 - \gamma)}{f_{k0} \cdot f_{kv} \cdot G_q \cdot (1 - \gamma) + k_{w,x} S_{\text{лоб}}}}. \quad (4.14)$$

При рассмотрении отрыва квантомобиля от опорной поверхности ( $F_{Tz} = G_q$ ), приняв  $\delta_k = 0$ ,  $V_z = 0$ ,  $a_z = 0$ , выражение (4.8) можно упростить до вида:

$$F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = \left( k_{w,x} S_{\text{лоб}} \cdot V_x^2 + \frac{G_q}{g} a_x \right)^2 + (G_q)^2. \quad (4.15)$$

С учётом  $F_{Tz} = G_q$  баланс горизонтальных сил можно далее упростить:

$$F_{Tx} = k_{w,x} S_{\text{лоб}} V_x^2 + \frac{G_q}{g} a_x. \quad (4.16)$$

При сохранении условий баланса по выражению (13), можно записать для продольного ускорения полностью вывешенного экипажа (при  $F_{Tz} = G_q$ ):

$$a_x = \frac{g}{G_q} (F_{Tx} - k_{vx} S_{\text{лоб}} V_x^2). \quad (4.17)$$

Максимально возможная скорость вывешенного экипажа (при  $a_x = 0$ ):

$$V_{x,\text{max}} = \sqrt{\frac{F_{Tx}}{k_{vx} S_{\text{лоб}}}}. \quad (4.18)$$

Задав  $V_x = 0$ , можно определить продольное ускорение в начальный момент продольного движения вывешенного экипажа:

$$a_x = \frac{F_{Tx} g}{G_q}. \quad (4.19)$$

Использование обобщенного уравнения (4.8) и его частных случаев (4.9–4.19) позволило произвести расчет составляющих траста и других атрибутов для вариантов движения квантомобиля по опорной поверхности при разной степени вывешивания, вплоть до отделения его этой от поверхности, а также представить результаты расчета графически в виде диаграммы пространственного использования траста в продольной плоскости тангажа (будет рассмотрено ниже).

### 4.3. Результаты – частные случаи и их численные примеры

#### 4.3.1. Строго горизонтальный траст КвД

Методическая подготовка графической интерпретации полученных аналитических зависимостей и их топологии требует привлечения количественных исследований на численных примерах.

Для количественного исследования выбран гипотетический квантомобиль с данными автомобиля-аналога КамАЗ-4326 с КвД (вместо ДВС), привлеченными для анализа автором ранее (см. главу 3), в крайне тяжелых условиях его движения (песок, ил, заболоченность [220, 222]):

$$G_q = 88\,000 \text{ Н}; S_{\text{лоб}} = 7 \text{ м}^2; f_{k0} = 0,3; f_{kV} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^2/\text{м}^2; k_{\text{в.х}} = 0,5 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4.$$

Будем использовать также следующие значения величин, определяющих силовой баланс рассматриваемого квантомобиля для вертикальных составляющих его движения:

$$k_{\text{в.з}} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; S_{\text{план}} = 7 \cdot 2,5 = 17,5 \text{ м}^2; g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2.$$

Условимся, что максимальное значение траста КвД, с поддержанием этого значения в плоскости тангажа в диапазоне направлений  $\beta = 0-90^\circ$ , равно  $F_T = 90 \text{ кН}$  (с небольшим запасом относительно веса квантомобиля  $R_T = F_T - G_q = 90 - 88 = 2 \text{ кН}$ ). Остаток силы траста  $R_T = 2 \text{ кН}$  предположим для возможности осуществления

горизонтального движения квантолёта в вывешенном состоянии или его отлета от опорной поверхности.

Предположим, исходя из необходимости и достаточности величины траста для полного вывешивания экипажа и его начального горизонтального движения, что максимальный траст КвД  $F_{T_{\max}} = 90$  кН.

Исследование поля вариантов использования траста начнем с граничных случаев: а) движение в режиме автомобиля – только лишь с горизонтальной тягой; б) движение экипажа в полностью вывешенном состоянии с направлением вектора траста, максимально приближенным к вертикали (но имеющим и горизонтальную компоненту – для осуществления продольного движения).

Приведем расчёт двух значений  $F_{T_x}$  для режима классического автомобиля (без какого-либо вывешивания квантомобиля, т. е. режим, когда  $F_{T_z} = 0$ ) при установившемся равномерном движении ( $a_x = 0$ ), выполненный по формуле (4.8):

1) 0 км/ч (сила сопротивления воздуха  $P_b = 0$ ):  $F_{T_x} = P_f = 88 \cdot 0,3 = 26,4$  кН;

2) 67,2 м/с:  $F_{T_x} = P_f + P_b = 88 \cdot 0,3 (1 + 4 \cdot 10^{-4} \cdot 67,2^2) + 0,5 \cdot 7 \times 67,2^2 \cdot 10^{-3} = 74,1 + 15,8 = 89,9$  кН  $\approx 90$  кН.

Силовой баланс квантомобиля при установившемся движении для всего диапазона скоростей отражен в виде желтой кривой  $CD$  на рис. 4.2 [61]. Если максимум значения траста ограничен, например, 90 кН, то точка пересечения кривой с ограничивающей красной прямой  $F_T = 90$  кН определит максимальную скорость движения квантомобиля (здесь 242 км/ч = 67,2 м/с) при строго горизонтальном направлении вектора траста (отсутствие какого-либо вывешивания экипажа).

Зависимость для  $f_{k0} = 0,3$  отражена в виде желтой кривой на рис. 4.2. Если максимум значения траста ограничен 89 кН, то точка пересечения кривой с ограничивающей прямой  $F_T = 89$  кН определит максимальную скорость движения квантомобиля (здесь 67,2 м/с = 240 км/ч) при строго горизонтальном направлении вектора траста (отсутствии какого-либо вывешивания экипажа).



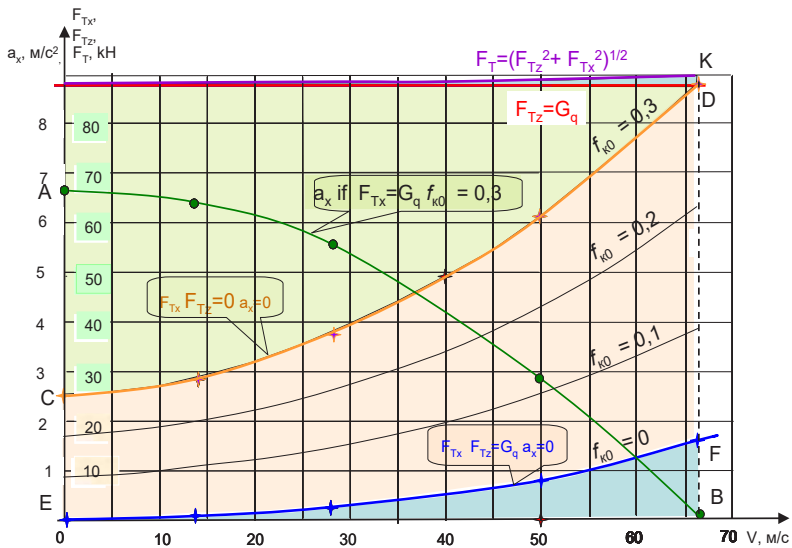


Рис. 4.2. Силовой баланс при установившемся движении квантомобиля по опорной поверхности с  $f_{к0} = 0,3$  [61]

Для  $f_{к0} = 0,3$  можно выделить три зоны: сопротивления воздуха (синяя), сопротивление опорной поверхности (желтая), резерв на ускорение экипажа (зеленая). На график нанесена также кривая  $AB$  ускорения при полном выборе резерва траста, обозначенного зеленой зоной. Аналогично можно перекрыть картину и зоны для других значений  $f_{к0}$ .

При скоростях  $V < 67,2$  м/с высвобождающийся ресурс траста может быть использован на ускорение экипажа. Например, для рассматриваемого расчётного квантомобиля можно преобразовать зависимость (4.8) таким образом:

$$89892 - F_{Tx} = \frac{G_q}{g} a_x \cdot (1 + \delta_k), \quad (4.20)$$

где можно принять  $\delta_k = 0,04$ .

Далее, для горизонтального ускорения можно получить рабочее выражение:

$$a_x = (89892 - F_{Tx}) \cdot 9,81 / (88\,000 \cdot 1,04) = (89\,892 - F_{Tx}) / 9329.$$

Начальное ускорение при  $V = 0$  км/ч будет  $(89\,892 - 26400) / 9329 = 63492 / 9329 = 6,8$  м/с<sup>2</sup>.

Кривая ускорений  $AB$  для всего диапазона скоростей движения приведена на рис. 4.2 зелёным цветом. Светло-зелёным цветом окрашено поле состояний, при которых возможен разгон невывешенного квантомобиля.

#### 4.3.2. Отрыв квантомобиля от опорной поверхности, но без его отлёта

Рассмотрим применение формулы (4.8) при анализе момента отрыва квантомобиля от опорной поверхности, но без отлёта его (случай 4 из перечисленных выше режимов движения, когда  $F_{Tz} = G_q$ ). В этом случае  $\delta_x = 0$ ,  $V_z = 0$ ,  $a_z = 0$  и выражение (4.8) упрощается до вида (4.15). С учётом  $F_{Tz} = G_q$  уравнение баланса горизонтальных сил можно упростить до вида (4.16).

При  $a_x = 0$  значение  $F_{Tx}$ , необходимое для поддержания равномерного продольного (горизонтального) движения (на весу, в момент отрыва колес от опорной поверхности) (см. рис. 4.2 синяя кривая  $EF$ ):

$$\text{при } V = 0 \text{ м/с: } F_{Tx} = 0,5 \cdot 7 \cdot 0^2 = 0 \text{ кН;}$$

$$\text{при } V = 67,2 \text{ м/с: } F_{Tx} = 0,5 \cdot 7 \cdot 67,2^2 = 15,8 \text{ кН;}$$

$$F_T = (F_{Tz}^2 + F_{Tx}^2)^{1/2} = (88^2 + 15,8^2)^{1/2} = (7744 + 250)^{1/2} = (7994)^{1/2} = 89,4 \text{ кН} \approx 90 \text{ кН.}$$

Угол наклона траста относительно горизонта при этом составит:

$$\beta = \arctg(88 / 15,8) = 79,8^\circ.$$

Отметим практическое совпадение значений траста для установившегося движения на скорости 67,2 м/с в режиме автомобиля (случай 2:  $F_T = F_{Tx} = 89,9$  кН) и в полностью вывешенном состоянии экипажа (случай 4:  $F_T = (F_{Tz}^2 + F_{Tx}^2)^{1/2} = (88^2 + 15,8^2)^{1/2} =$

= 89,4 кН). Такой был подобран пример. Другим словами, курсовой скорости 67,2 м/с можно добиться посредством реализации одной и той же величины траста ~90 кН, однако разными способами: случай 2 – траст горизонтальный; случай 4 – траст направлен под углом  $\beta = 79,8^\circ$  к горизонту. Такое специально найденное сочетание позволит упростить рассмотрение на концептуальном уровне множества вариантов перебора величины и направления траста для различной степени вывешенности экипажа, но для одной и той же скорости движения (что увидим далее).

Оранжевое поле на рис. 4.2 (между синей  $EF$  и желтой  $CD$  граничными кривыми) представляет собой множество всех возможных вариантов силового баланса для различных скоростей при изменении вертикальной составляющей траста  $F_{Tz}$  от 0 до  $G_q$  (напомним, для начального коэффициента сопротивления качению колёс  $f_{k0} = 0,3$ ).

Таким образом, движение экипажа по (и над) опорной поверхностью (-стью) с  $f_{k0} = 0,3$  со скоростью 67,2 м/с возможно в двух вариантах использования траста величиной 90 кН: либо при строго горизонтальном трасте (без какого-либо вывешивания экипажа,  $F_{Tz} = 0$ ), либо при реализации траста с направлением  $\beta = 79,8^\circ$  относительно горизонта ( $F_{Tz} = 88$  кН).

Появляется закономерный вопрос, а какой величины и направления потребуется траст для поддержания рассматриваемой скорости 67,2 м/с во взаимодействии с той же опорной поверхностью, но при частичном вывешивании?

#### **4.3.3. Проблема оценки предельных скоростей при вывешивании квантомобиля**

Основным вариантом на рис. 4.3 является  $f_{k0} = 0 \div 0,3$ . Для него зеленое поле отражает запас тяги КвД для совершения разгонов экипажа, а зеленая кривая  $AB$  представляет продольные ускорения экипажа при выборе всего запаса тяги. Голубое поле отражает силу

сопротивления воздуха. Знаки «?» отражают сложность визуализации границы максимальных скоростей экипажа (особенно в вывешенном состоянии) посредством такого графоаналитического подхода [62].

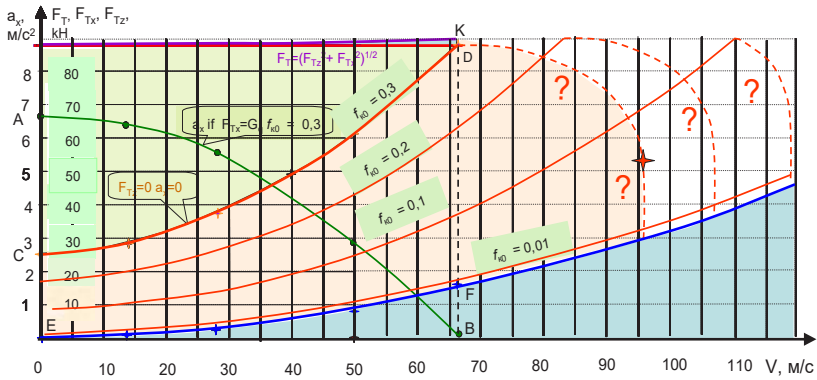


Рис. 4.3. Силовой баланс при установившемся движении квантомобиля без его вывешивания [62]

#### 4.4. Трастовая характеристика скоростного среза квантомобиля при постоянном основном коэффициенте сопротивления дороги $f_{к0}$

Для раскрытия силового баланса при появлении угла поворота вектора траста, для скоростного сечения 67,2 м/с (см. линию KB на рис. 4.3), с использованием уравнения (4.8) и его модификаций, рассчитали для рассматриваемых атрибутов движения, диаграмму пространственного использования траста в плоскости тангажа при движении квантомобиля по опорной поверхности с  $f_{к0} = 0,3$  (рис. 4.4) [61]. Определили её как Трастовую характеристику скоростного среза.

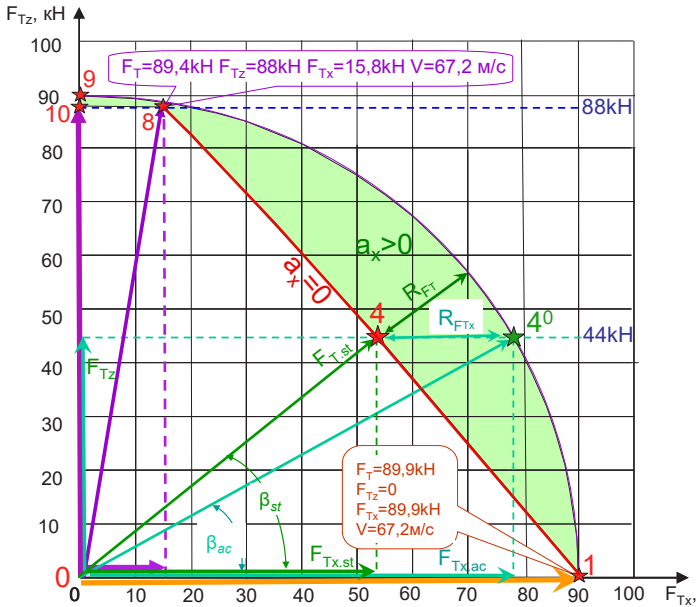


Рис. 4.4. Диаграмма пространственного использования тяста величиной 90 кН в продольной плоскости тангажа при движении квантомобиля по дороге с  $f_{k0} = 0,3$  на скорости 67,2 км/ч [61]

На рис. 4.4 и далее приняты следующие обозначения:

$F_{T_{x.st}}$  – горизонтальная компонента тяста, необходимая и достаточная для поддержки устойчивой (*steady*) скорости экипажа 67,2 м/с;

$R_{FTx}$  – разница величин ( $F_{T_{x.ac}} - F_{T_{x.st}}$ ), обеспечивающая дальнейшее горизонтальное ускорение  $a_x$  по достижении назначенной скорости экипажа;

$F_{T_{st}}$  – тяст для поддержки устойчивой (*steady*) скорости 67,2 м/с;

$R_{FT}$  – разница векторных величин ( $F_T - F_{T_{st}}$ ), обеспечивающая ускорение экипажа по достижении горизонтальной скорости экипажа 67,2 м/с.

Рис. 4.4 соответствует квадранту I на рис. 4.1. Зеленые поля справа от прямых  $f_{k0}$  соответствуют запасу тяги для ускорений экипажа. Отметим прямолинейный характер кривых  $f_{k0}$  [61]. Фиолетовый вектор, представляющий сопротивление воздуха продольному движению экипажа, соответствует отрезку  $BF$  рис. 4.3.

Расчеты для нескольких значений коэффициента вывешивания  $\gamma = F_{Tz} / G_q$  (один из них, в качестве примера, отражен точкой 4 на рис. 4.4) показали, что закономерность перехода от одного крайнего рассматриваемого случая значений  $\gamma$  к другому – прямолинейная (см. прямую 1–8 на рис. 4.4). Это становится понятным, если заметить, что сила сопротивления качению  $P_f = f_{k0} (1 + f_{kv} \cdot V_x^2) \cdot (G_q - F_{Tz})$  при неизменных  $f_{k0}, f_{kv}$  и  $V_x$  зависит линейно от  $F_{Tz}$ .

Анализируя рис. 4.4, можно отметить, что в средней зоне перехода (при  $\gamma \approx 0,5$ ) выявляются наибольшие ресурсы в использовании траста: см.  $R_{FT} = F_{Tmax} - F_{T.sp}$ , где  $F_{Tmax} = 90$  кН. Этот ресурс может быть использован на ускоренное движение экипажа, и это использование, вероятно, будет более успешным, если траектория вектора будет пролегать в средней зоне всего диапазона ( $0-80^\circ$ ) изменения углов наклона траста.

Приведенная трастовая характеристика скоростного среза квантомобиля ( $V_x = \text{const}$ ) позволила выявить следующее. Характер искомой зависимости горизонтальной компоненты вектора траста, достаточного для поддержания равномерного движения квантомобиля с постоянной скоростью, от степени вывешивания – оказался прямолинейным. Это объяснимо, поскольку зависимость, определяемая выражением (4.11) – по сути, линейная, типа  $y = kx + c$ , где  $y$  суть  $F_{Tx.sp}$ ,  $k = f_{wh.0} (1 + f_{wh.v} V_x^2)$ , в роли аргумента  $x$  выступает сила взаимодействия колёс экипажа с опорной поверхностью ( $G_q - F_{Tz}$ ), а свободный член  $c = k_{w.x} S_{front} V_w^2$ .

Названная особенность определяет наличие резерва силы в использовании траста в средней зоне вывешивания экипажа, что можно видеть на рис. 4.4, например, в точке 4. Избыток горизонтальной компоненты силы траста  $R_{FTx}$  можно использовать для роста курсовой скорости. Также есть возможность увеличить

степень вывешивания экипажа, что выгодно с точки зрения уменьшения сопротивления движению.

#### 4.5. Тростовая характеристика скоростного среза квантомобиля при меняющемся основном коэффициенте сопротивления дороги $f_{к0}$

Подтверждение в п. 4.4 прямолинейной закономерности перехода от одного крайнего рассматриваемого случая значений  $\gamma$  к другому приводит к осмыслению механизма веерности представления множества тростовых характеристик для дорог с различными  $f_{к0}$ . Это отражает рис. 4.5.

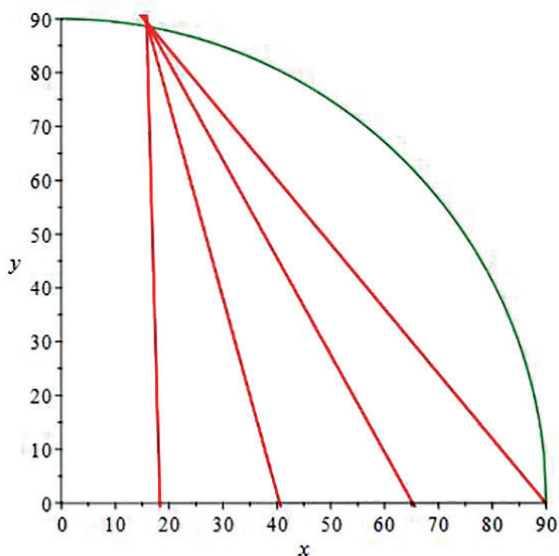


Рис. 4.5. Механизм веерности зависимости требуемых тростовых характеристик от основного коэффициента сопротивления дороги  $f_{к0}$

#### 4.5. Трастовая характеристика скоростного среза квантомобиля при...

Для раскрытия силового баланса при появлении угла поворота вектора траста, для скоростного сечения 67,2 м/с (см. линию KB на рис. 4.2 и 4.3), с использованием уравнения (4.10) и его модификаций, рассчитали для рассматриваемых атрибутов движения, диаграмму пространственного использования траста в плоскости тангажа при движении квантомобиля по опорной поверхности с различными начальными сопротивлениями дороги  $f_{k0} = 0-0,3$  (рис. 4.6) [62].

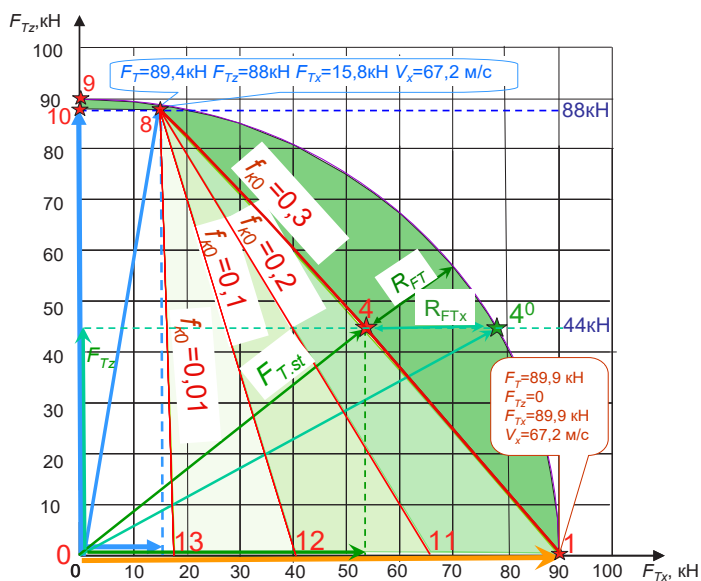


Рис. 4.6. Трастовая диаграмма силового баланса и возможного использования траста при продольном движении квантомобиля со скоростью 67,2 м/с по нескольким вариантам поверхности с  $f_{k0} = 0,3, 0,2, 0,1$  и  $0,01$  (в соответствии с рис. 4.2) [62]

Рисунок 4.6 соответствует квадранту I на рис. 4.1. Зеленые поля справа от прямых  $f_{k0}$  соответствуют запасу тяги для ускорений



экипажа. Отметим прямолинейный характер кривых  $f_{k0}$  [6]. Голубой вектор, представляющий сопротивление воздуха продольному движению экипажа, соответствует отрезку  $BF$  рис. 4.2.

Анализируя рис. 4.4 и 4.6, важно отметить, что в средней зоне перехода (при  $\gamma \approx 0,4 \dots 0,7$ ) выявляются наибольшие запасы тяги в использовании траста: см.  $R_{FT} = F_{T_{\max}} - F_{T_{st}}$ , где  $F_{T_{\max}} = 90$  кН.

Прямолинейный характер зависимости (4.11) (при постоянной скорости), отвечает простейшему подходу к моделированию движения экипажа. Но он позволил решить задачу выявления картины использования траста в плоскости тангажа, а также задачу построения методики соответствующего анализа. Однако в реальности функционалы, конечно, нелинейны. И это, несомненно, отразится на характере искомых зависимостей (типа красных линий на рис. 4.4).

Анализ также усложнится при подключении множества скоростей, дорог и других атрибутов.

Сформированное уравнение силового баланса, отвечающее 2D-варианту движения квантомобиля в плоскости тангажа, может быть расширено до 3D-варианта движения этого экипажа.

3D-модель, естественно, должна подключить боковые силы, реализуемые в поперечном направлении, а также моменты сил вращательного движения экипажа относительно всех трёх осей пространственной системы координат. Это позволит более точно оценивать динамику и энергетику движения квантомобиля в трёхмерном пространстве, а также проводить сравнения с другими транспортными средствами, оперирующими в этом пространстве: самолетом, вертолётом и т. п.

Небезосновательный вопрос, а какой величины и направления потребуется траст для поддержания рассматриваемой скорости 67,2 м/с во взаимодействии с той же опорной поверхностью, но при частичном вывешивании? Содержательный ответ на это получим в следующем подразделе 4.6 (с привлечением табл. 4.1 и рис. 4.4 и 4.7). Пока же констатируем, что при частичном вывешивании экипажа ( $\gamma = 0,4 \dots 0,7$ ;  $\beta = 30^\circ \dots 60^\circ$ ) требуемый траст

для поддержания выбранной скорости на 15...25 % меньше, нежели в крайних его случаях: когда  $\gamma \approx 0$  и  $\beta \approx 0^\circ$ , либо  $\gamma \approx 1$  и  $\beta \approx 90^\circ$  (см. красную кривую на рис. 4.7). При поддержании постоянной величины траста (например, 90 кН) максимум скорости установившегося движения достигается также при промежуточном вывешивании экипажа ( $\gamma = 0,7...0,9$  – см. синяя кривая для  $V_{x,max}$  на рис. 4.7). Это для выбранных значений коэффициентов дорожного сопротивления и скорости движения.

Для других (меньших) значений коэффициента дорожного сопротивления  $f_{к.0}$  для данной скорости (67,2 м/с – см. рис. 4.6) обнаруживаются преимущества в пользу малых степеней вывешивания  $\gamma$  и углов наклона траста  $\beta$  – чем меньше дорожные сопротивления, тем меньше требуемые величины  $\gamma$  и  $\beta$ .

#### 4.6. Учет степени вывешивания экипажа

Теперь выявим характер зависимости величины траста, необходимого для равномерного движения на заданной скорости, от степени вывешивания экипажа.

Введём для данного исследования условные термины:

- «степень вывешивания» экипажа – отношение  $\gamma = F_{Tz} / G_q$ ;
- «максимальный траст» – траст  $F_T$  максимальной величины и любого направления в плоскости тангажа, обеспечиваемый КвД-установкой (здесь  $F_T = 90$  кН);

• «достаточный траст» – траст  $F_{T,st}$  величиной, достаточной для поддержания назначенной скорости горизонтального установившегося (*steady*) движения, по направлению, как правило, не совпадающий с максимальным трастом, обеспечивающим ту же степень вывешивания экипажа.

В табл. 4.1 и на рис. 4.4 для вновь появившихся величин приняты следующие обозначения [212]:

$F_{Tx.ac}$  – горизонтальная компонента максимального траста, обеспечивающего назначенную степень вывешивания экипажа,

поддержание назначенной скорости (здесь 67,2 м/с) плюс возможность дальнейшего ускорения (*acceleration*);

$F_{Tx.st}$  – горизонтальная компонента достаточного траста, необходимая и достаточная для поддержки назначенной устойчивой (*steady*) скорости экипажа 67,2 м/с;

$R_{FTx}$  – разница величин ( $F_{Tx.ac} - F_{Tx.st}$ ), обеспечивающая дальнейшее горизонтальное ускорение  $a_x$  по достижении назначенной скорости экипажа 67,2 м/с;

$F_{T.st}$  – достаточный траст для поддержки устойчивой (*steady*) назначенной скорости 67,2 м/с;

$R_{FT}$  – разница векторных величин ( $F_T - F_{T.st}$ ), способная обеспечить ускорение экипажа ( $a_x$  и/или  $a_z$ ) по достижении назначенной горизонтальной скорости экипажа 67,2 м/с;

$\beta_{ac}$  – угол наклона максимального траста  $F_T$  относительно горизонта;

$\beta_{st}$  – угол наклона достаточного траста  $F_{T.st}$  относительно горизонта.

Алгоритм расчета названных величин следующий [212]:

- 1)  $F_{Tz} = \gamma \cdot G_q$ ;
- 2)  $\beta_{ac} = \arcsin(F_{Tz} / F_T)$ ;
- 3)  $F_{Tx.ac} = \cos \beta_{ac} \cdot F_T$ ;
- 4)  $F_{Tx.st} = P_f + P_w = f_{k0}(1 + f_{kv}V_x^2)(G_q - F_{Tz}) + k_{в.х}S_{лоб}V_x^2$ ;
- 5)  $R_{FTx} = F_{Tx.ac} - F_{Tx.st}$ ;
- 6)  $\beta_{st} = \arctan(F_{Tz} / F_{Tx.st})$ ;
- 7)  $F_{T.st} = F_{Tz} / \sin \beta_{st}$ ;
- 8)  $R_{FT} = F_T - F_{T.st}$

На рис. 4.4 графическое отображение перечисленных величин было показано для степени вывешенности  $\gamma = 1/2$ , что соответствует вертикальной компоненте вектора траста  $F_{Tz} = 44$  кН (см. точки 4 и 4<sup>0</sup> на рис. 4.4 и строку 4 в табл. 4.1).

На рис. 4.7 приведены зависимости показателей траста от степени вывешивания  $\gamma$  при движении по поверхности с  $f_{k0} = 0,3$  со скоростью 67,2 м/с [62].

Таблица 4.1

Расчет составляющих траста для вариантов движения квантомобиля  
по опорной поверхности с коэффициентом  $f_{к0} = 0,3$  [212]

Номер точки	Степень вывешивания $\gamma$	Составляющие траста, кН						Угол наклона траста к горизонту, град	
		$F_{Tz}$	$F_{Tx,ac}$	$F_{Tx,st}$	$R_{FTx}$	$F_{T,st}$	$R_{FT}$	$\beta_{ac}$	$\beta_{st}$
1	0	0	90	89,89	0,11	89,89	0,11	0	0
2	1/8	11	89,32	80,63	8,69	81,36	8,64	7,03	7,77
3	1/4	22	87,27	71,37	15,90	74,68	15,32	14,15	17,13
4	1/2	44	78,52	52,85	25,67	68,77	21,23	29,26	39,78
5	3/4	66	61,18	34,33	26,85	74,37	15,67	47,17	62,56
6	7/8	77	46,60	25,07	21,53	80,97	9,03	58,82	71,99
7	15/16	82,5	37,09	20,43	16,66	85	5	65,66	76,09
8	1	88	18,87	15,80	3,07	89,41	0,59	77,90	79,82
9	1,0227	90	—	—	—	90	2	90	90

Анализируя рис. 4.4 и 4.7, важно отметить, что в средней зоне перехода (при  $\gamma \approx 0,4 \dots 0,7$ ) выявляются наибольшие запасы тяги в использовании траста: см.  $R_{FT} = F_{T_{max}} - F_{T_{st}}$ , где  $F_{T_{max}} = 90$  кН.

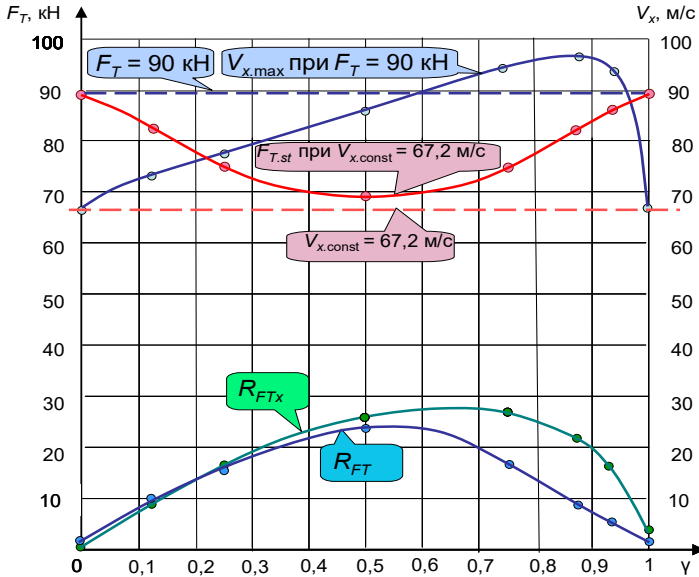


Рис. 4.7. Зависимость показателей траста от степени вывешивания  $\gamma$  экипажа при движении по поверхности с  $f_{k0} = 0,3$  со скоростью 67,2 м/с [62]

Теперь возникают следующие вопросы:

- 1) каков характер поверхности, формируемой образующими прямыми типа 8–1, 8–11, 8–12, 8–13 (рис 4.6) при реализации экипажем в установившемся режиме всего диапазона скоростей  $V_x = 0 \div V_{max}$ ;
- 2) какова топология пространства ресурсов между названной поверхностью и цилиндрической поверхностью, образуемой дугой окружности  $F_{T_{max}}$  (см. рис. 4.6) при движении ее по оси скорости? Ведь это пространство возможностей разгона экипажа.

## **Глава 5. ТРЕХМЕРНОЕ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕКТОРА ТЯГИ**

### **5.1. Цель и задачи исследования**

Возможности рассмотренного графического представления, приемлемого для силового анализа автомобиля, недостаточны для анализа квантомобиля, поскольку такое представление невозможно передать компонентную раскладку траста, представляемую диаграммой типа рис. 4.1. Объединить возможности диаграмм типа рис. 4.1, 4.3 и 4.6 способна 3D-модель.

Цель исследования – на базе наработок главы 4 развить трехмерную графоаналитическую модель использования вектора тяги (траста) двигателя квантомобиля и подготовить её для проведения оптимизационных процедур по управлению движением этого ТС.

Решаемыми задачами для достижения этой цели явились следующие:

- обобщить двухмерные авторские модели использования траста КвД;
- разработать в среде ППП *Maple* графическую трехмерную модель использования траста (3D-МИТ) КвД ТС;
- рассмотреть аспекты исследования посредством 3D-МИТ;
- сформировать рекомендации по использованию 3D-МИТ в оптимизационных расчетах по управлению квантомобилем.

### **5.2. Поверхность силового баланса с разворачиванием в 3D на скоростной диапазон**

Графическую 3D-модель формируем в среде ППП *Maple*. Для этого вектор траста  $F_T$  разложили на две ортогональные составляющие  $F_{Tx}$  и  $F_{Tz}$  (в соответствии с рис. 4.1), а ось скорости

движения направили ортогонально плоскости  $F_{Tx} - F_{Tz}$ . Пусть обозначенные переменные будут  $F_{Tx} = x$ ,  $F_{Tz} = z$ , а  $V_x = y$  [62].

Запрограммировали и опробовали в среде *Maple* уравнения (4.10–4.19) в виде имплекативной функции  $F_T^2 = f(x, y, z)$ , а также покоординатные функции  $x = f(y, z)$ ,  $z = f(x, y)$ ,  $y = f(x, z)$ . Конечные графические образы получались, в целом, идентичными; однако, по времени счёта и построения, особенностям отмывки и гридов поверхностей зафиксированы отличия. По названным факторам, а также по особенностям визуализации выбрали в качестве основной для анализа явную модель

$$z = f(x, y), \text{ т. е. } F_{Tz} = f(F_{Tx}, V_x). \quad (5.1)$$

Простейшие графические образы представлены на рис. 5.1–5.4. Здесь (и везде ниже) синим цветом отображена цилиндрическая поверхность  $F_{T.\max}^2 = F_{Tx.\max}^2 + F_{Tz.\max}^2$  обметания максимальным трастом 3D расчетного пространства, представляющая собой предельные возможности КвД. В явном формате ввода в *Maple*-модель по выражению (5.1) это  $z = \sqrt{F_{T.\max}^2 - x^2}, \forall y$  ( $\forall y$  означает «для любых скоростей»). Красным цветом представлена поверхность суммы сил сопротивления движению экипажа опорной поверхности и воздуха – по выражению (4.11).

Для решения вопросов формирования графоаналитического аппарата запрограммировали уравнение (4.12) в среде ППП *Maple* в виде трехмерной функции  $z = f(x, y)$ , где  $x = F_{Tx}$ ,  $y = V_x$ ,  $z = F_{Tz}$ .

Графические образы, построенные по значениям всех вышеперечисленных в главе 4 атрибутов, приведены на рис. 5.1–5.4.

Рисунок 5.1 с осью  $y = V$ , направленной ортогонально на читателя, специально воспроизводит геометрию диаграммы рис. 4.6. Крайняя правая граница поверхности требуемого траста соответствует прямой 1–8 рис. 4.6 для скорости  $V_x = 67,2$  м/с; нижняя её точка соответствует значению  $F_{Tx} = 90$  кН (см. п. 4.3.1). Крайняя левая граница поверхности требуемого траста соответствует  $V_x = 0$  м/с, нижняя её точка соответствует значению  $F_{Tx} = 26,4$  кН (см. п. 4.3.1).

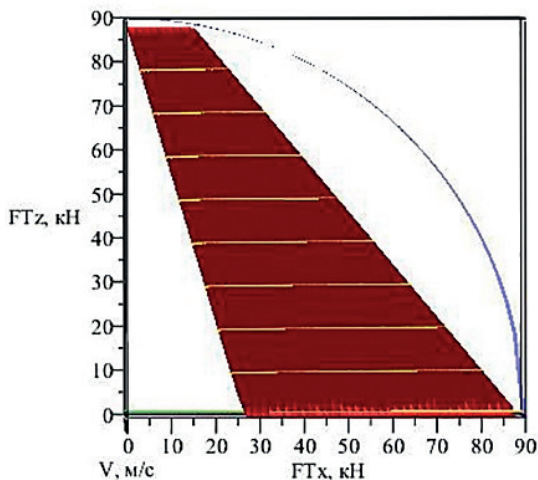


Рис. 5.1. Поверхности: максимального треста КвД (синяя цилиндрическая) и треста, требуемого для установившегося движения (красная поверхность) – вид с невидимой осью  $y = V$ , направленной ортогонально на читателя

Рисунок 5.2 уже даёт представление о пространственной геометрии и взаиморасположении поверхностей. Изолинии соответствуют десяткам килоньютонеров вертикальной составляющей треста. В левом полупространстве от красной поверхности треста, требуемого для установившегося движения, будут располагаться поверхности для меньших сопротивлений опорной поверхности качению колес  $f_{к0}$ . В правом полупространстве от поверхности треста, требуемого для установившегося движения, вплоть до цилиндрической поверхности максимального треста – находятся ресурсы треста для реализации разгонов экипажа. Все будущие исследования по поиску оптимальных траекторий разгона экипажа должны осуществляться в этой пространственной области.



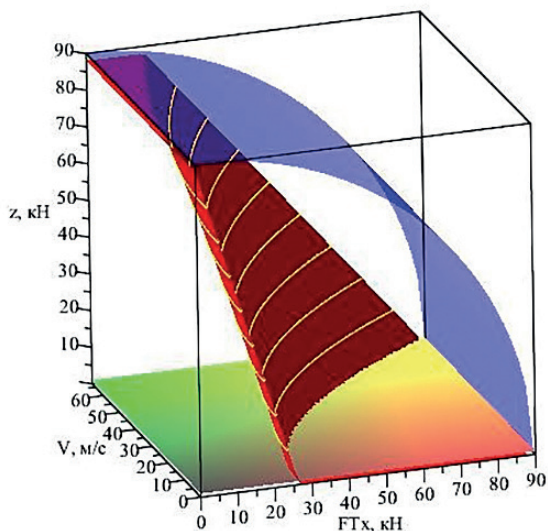


Рис. 5.2. Поверхности: максимального траста КвД (синяя цилиндрическая) и траста, требуемого для установившегося движения (красная поверхность) – вид с ростом скорости от читателя

Рисунок 5.3 приведен для усиления комплексного пространственного восприятия, давая представление как бы сзади. С этого ракурса хорошо видна изогнутость так называемой линейчатой поверхности [83] (не путать линейчатую функцию с линейной!).

Если обратиться к рис. 4.6, то можно отметить, что отрезок прямой между точками 10 и 8 соответствует силе сопротивления воздуха  $P_w = 15,8$  кН. Для конкретного скоростного среза эта сила постоянна. При изменении сопротивления опорной поверхности ( $f_{к0} = \text{var}$ ) будет меняться угол наклона прямой 8–1, причем по причине постоянства положения точки 8, прямая 8–1 будет вращаться вокруг точки 8, в соответствии с одной ипостасью линейчатых функций.

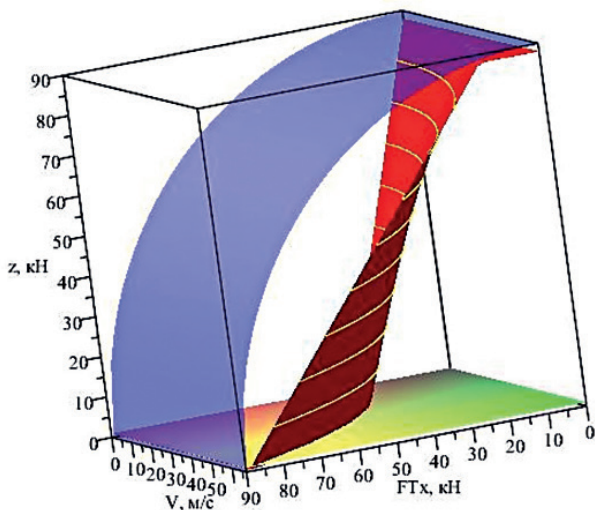


Рис. 5.3. Поверхности: максимального трста КвД (синяя цилиндрическая) и трста, требуемого для установившегося движения (красная поверхность) – вид с ростом скорости на читателя

Если обратиться к рис. 5.2, то в его верхней части, на «верхней полочке», можно увидеть криволинейный розовый треугольник – эта фигура соответствует изменению сопротивления воздуха с изменением скорости экипажа.

Точка 8 со среза скорости  $V_x = 67,2$  м/с рис. 4.6 будет с изменением скорости перемещаться по правой параболе упомянутого криволинейного треугольника на рис. 5.2, образуя для каждого нового скоростного среза точку вращения прямых-клонов прямой 8–1 с рис.4.6.

Три изображения (рис. 5.1–5.3) [62] соберем в одно (рис. 5.4) для дальнейшего обсуждения.

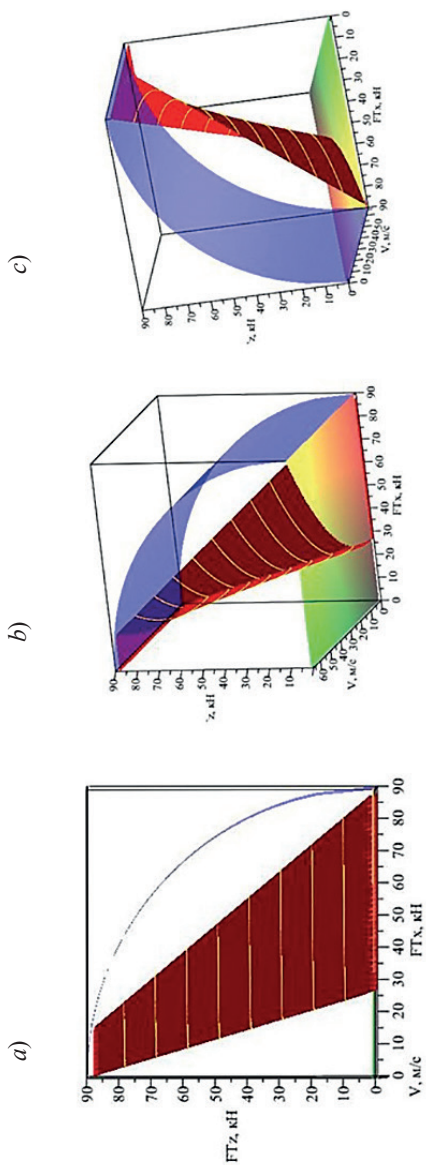


Рис. 5.4. Поверхности: максимального траста КВД (синяя цилиндрическая) и траста, требуемого для установившегося движения по опорной поверхности с коэффициентом сопротивления  $f_{\text{тр},0} = 0,3$  (красная поверхность): *a* – вид с невидимой осью  $y = V_x$ , направленной ортогонально от читателя; *b* – вид с ростом скорости от читателя; *c* – вид для показа линейчатого [83] (*ruled*) характера требуемого траста [62]

Экспликация 5.4, *a* с осью  $y = V_x$ , направленной ортогонально от читателя, воспроизводит геометрию диаграммы рис. 4.6. Крайняя правая граница поверхности требуемого траста соответствует прямой 1–8 рис. 4.6 для скорости  $V_x = 67,2$  м/с. Крайняя левая граница поверхности требуемого траста соответствует  $V_x = 0$  м/с, нижняя её точка соответствует значению  $F_{Tx} = 26,4$  кН (сопротивление воздуха отсутствует, горизонтальный траст целиком идет на преодоление сопротивления дороги качению колес при  $V_x \approx 0$ ).

Экспликация 5.4, *b* дает фронтальное представление о взаиморасположении поверхностей в 3D-пространстве исследования. Экспликация 5.4, *c* кроме показа вида со стороны высоких скоростей, демонстрирует линейчатый [83] (не путать с линейным) характер поверхности требуемого траста.

Рисунок 5.4 даёт представление о пространственной геометрии и взаиморасположении поверхностей. Желтые изолинии соответствуют десяткам килоньютоннов вертикальной составляющей траста. В левом полупространстве от красной поверхности траста, требуемого для установившегося движения (виды *a* и *b*), будут располагаться поверхности для меньших сопротивлений опорной поверхности качению колес  $f_{к0}$ . В правом полупространстве от поверхности траста, требуемого для установившегося движения, вплоть до цилиндрической поверхности максимального траста – находятся ресурсы избытки траста, которые можно использовать для разгонов и маневрирования экипажа. Все будущие исследования по поиску оптимальных траекторий разгона экипажа должны осуществляться в этой пространственной области.

Если обратиться к изображению на рис. 5.4, *b*, то в его верхней горизонтальной плоскости можно отметить криволинейный треугольник – эта фигура соответствует изменению сопротивления воздуха с изменением скорости экипажа. Точка 8 со среза скорости  $V_x = 67,2$  м/с рис. 4.6 будет с изменением скорости перемещаться по правой параболической стороне упомянутого криволинейного треугольника на рис. 5.4, *b*, образуя для каждого нового скоростного среза точку вращения прямых-клонов прямой 8–1 с рис. 4.6.

Совокупность множества этих прямых-клонов реализует вторую ипостась линейчатых функций – движение точки подвеса прямых по некой кривой.

Этому уделено внимание неспроста. При осуществлении оптимизации траектории вектора траста в случае реализации динамических режимов движения квантомобиля должна использоваться представленная поверхность силового баланса с учетом текущей скорости, и линейчатость поверхности будет способствовать простоте моделирования и анализа – ввиду наличия наработок по линейчатым функциям в ППП.

Зависимость положения поверхности требуемого траста от величины коэффициента  $f_{к0}$  можно проследить по рис. 5.5.

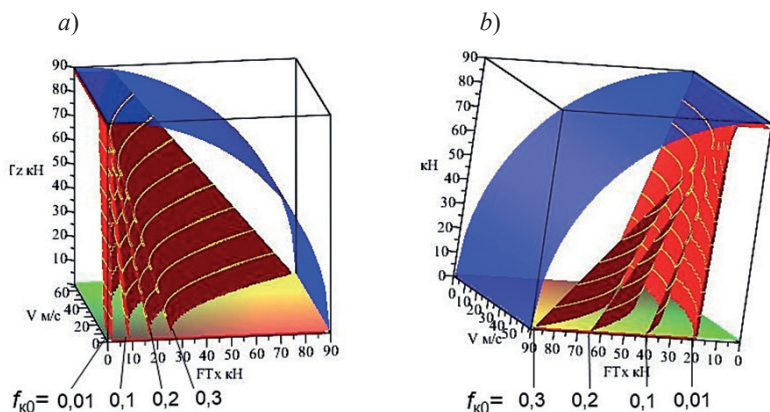


Рис. 5.5. Ряд поверхностей значений траста, необходимого для установившегося движения квантомобиля по опорной поверхности с различными значениями основного коэффициента дорогам качению колес  $f_{к0}$  [62]

Естественно, при непрерывном изменении значений этого коэффициента поверхность будет непрерывно перемещаться в пределах от одного крайнего положения к другому крайнему. Снова обратим

## 5.2. Поверхность силового баланса с развертыванием в 3D на скоростной...

внимание на красный горизонтальный криволинейный треугольник в верхней части рис. 5.5, *b*. Он соответствует изменению сопротивления воздуха с ростом скорости движения экипажа. А все поверхности сопротивления дороги стягиваются к параболической кривой: это естественно для множества состояний дороги – одно общее сопротивление воздуха (для одной общей плотности воздуха). Этот факт укрепляет объяснение реализации вышеназванной второй ипостаси образования системы линейчатых поверхностей требуемого траста КвД.

Факт сложения сопротивления качению колес и сопротивления воздуха в сумму общего сопротивления равномерному движению экипажа отражен в модели на базе уравнения (4.11). Графически это отражено, например, на рис. 5.6 [62]. При скоростях  $V_x = 0$  м/с сопротивление воздуха равно нулю, и сумма сил общего сопротивления равна сопротивлению качению колес – это видно на экспликация 5.6, *a*. Сложение сил на значимых скоростях демонстрируется экспликацией 5.6, *b*. Видим, что при  $F_{Tz} = G_q = 88$  кН сопротивление качению колес зануляется, и в диапазоне  $88 \text{ кН} < F_{Tz} < 100 \text{ кН}$  потребный траст равен только лишь силе сопротивления воздуха.

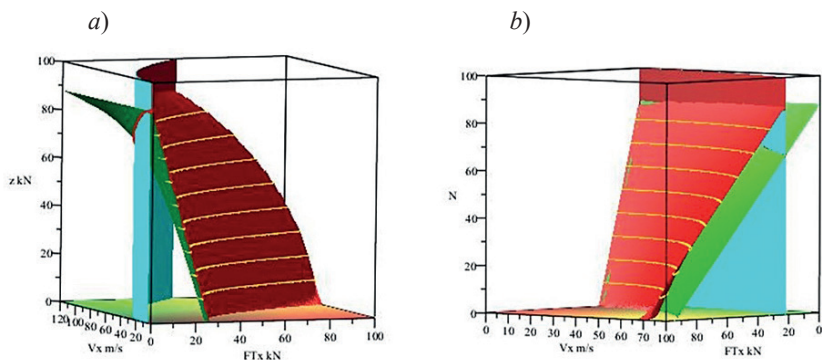


Рис. 5.6. Сложение сил сопротивления воздуха (голубая поверхность) и качения колес (зеленая поверхность) в общую силу сопротивления движению экипажа (красная поверхность) [62]

Для проведения расчетов оптимальных траекторий цилиндрическая (синяя) поверхность значений и углов максимального траста, линейчатая (красная) поверхность суммарных сил установившегося движения экипажа, параболическая (голубая) поверхность сопротивления воздуха (при  $F_{Tz} > G_q$ ) ограничивают 3D-область, в которой предстоит проводить поиск и визуализацию решений при оптимизации траекторий движения квантомобиля. Область, ограниченная красной линейчатой и синей цилиндрической поверхностями (см. рис. 5.7), является подпространством запаса тяги для разгона и маневрирования [62].

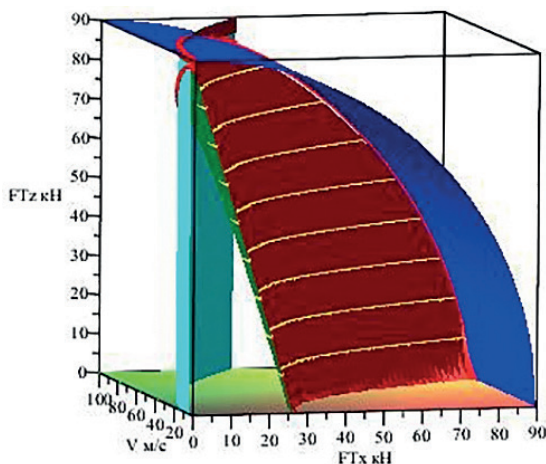


Рис. 5.7. Значимые поверхности: голубая – сопротивления воздуха; красная – сумма сил сопротивления воздуха и опорной поверхности; синяя – ограничительная максимального траста; в подпространство между ними находится запас тяги для разгона и маневрирования [62]

Факт сложения сопротивления качению колес и сопротивления воздуха в сумму общего сопротивления равномерному движению экипажа отражен на базе уравнения (4.11). Графически это представлено

на рис. 5.8 [62]. Происходит сложение сил сопротивления воздуха (область слева от голубой поверхности) и качения колес (область между голубой и красной поверхностями) в общую силу сопротивления движению экипажа (красная поверхность). Область, ограниченная красной линейчатой и синей цилиндрической поверхностями, является подпространством запаса тяги для разгона и маневрирования.

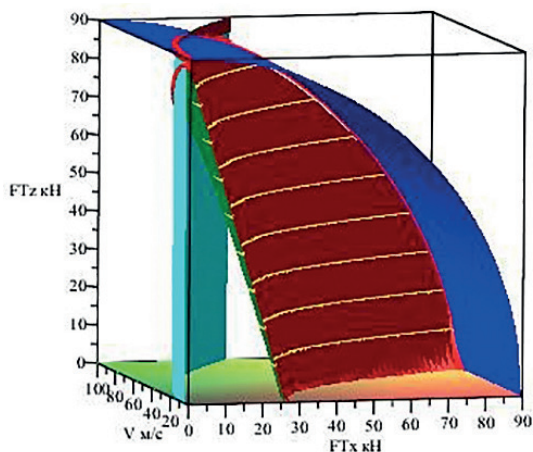


Рис. 5.8. Значимые поверхности: голубая – сопротивления воздуха; красная – сумма сил сопротивления воздуха и опорной поверхности; синяя – ограничительная максимального треста [62]

В целом, для проведения расчетов оптимальных траекторий цилиндрическая (синяя) поверхность значений и углов максимального треста, линейчатая (красная) поверхность суммарных сил установившегося движения экипажа, параболическая (голубая) поверхность сопротивления воздуха (при  $F_{Tz} > G_q$ ) ограничивают 3D-область, в которой предстоит проводить поиск и визуализацию решений по динамике движения ТС.



### 5.3. Аспекты графоаналитического исследования посредством 3D-МИТ

Графоаналитическому исследованию способствует некоторое множество вспомогательных опций, запрограммированных в модели: линии пересечения поверхностей, ограничения поверхностей по этим линиям и наоборот – выходы поверхностей за выставленные пределы – см. рис. 5.9 [62].

По этому рисунку, в качестве примера визуальной оценки, можно сделать заключение, что для квантомобиля с выше представленными характеристиками и КвД с максимальным трастом 90 кН при движении экипажа по опорной поверхности с  $f_{к0} = 0,3$  в режиме автомобиля (без вывешивания) можно достичь скорости  $V_x = 67,2$  м/с, максимально же достижимая в частично вывешенном состоянии экипажа ( $F_{Tx} = 52,6$  кН,  $F_{Tz} = 73,1$  кН,  $\beta = 54,3^\circ$ ,  $\gamma = 0,81$ ) скорость  $V_x = 95,3$  м/с (см. белые «узелки» на экспликациях).

#### *Результаты*

Основным результатом, в соответствии с поставленной целью, явилось формирование графоаналитического базиса для будущих оптимизационных расчетов траекторий движения квантомобиля, изменения траста его КвД и соответствующих управляющих воздействий.

Аналитической составляющей этого базиса является авторское обобщенное уравнение силового баланса квантомобиля, учитывающее разложение вектора траста на ортогональные компоненты, что является ключевым моментом в определении оптимальных сочетаний энергозатрат на вывешивание экипажа и выигрыша от уменьшения сопротивления опорных колес при этом вывешивании. Если для самолетов и вертолетов режимы вертикального (VTOL) и коротко-разбегового (STOL) взлета [233, 234] составляют малую долю их относительно длительных рейсовых реализаций, то для квантомобиля приземное движение может быть основным и долговременным режимом – поиск названных оптимальных сочетаний вертикальной и горизонтальной компонент траста (по-другому, определение величины и направления траста) здесь важен и существенен.

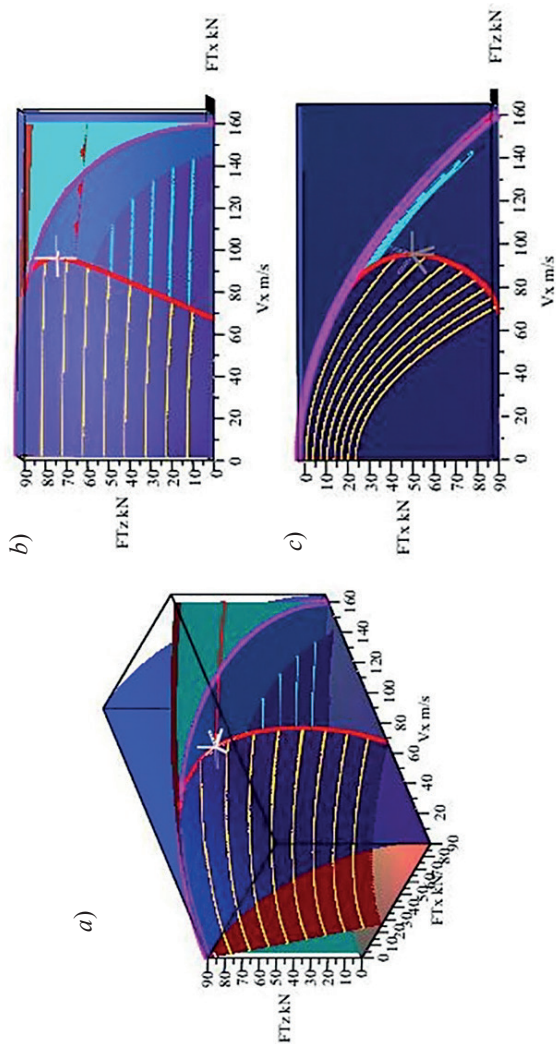


Рис. 5.9. Один из вариантов набора поверхностей и линий разработанной модели – с максимальным трастом КвД 90 кН [62]

Графической составляющей названного базиса является сформированная в среде ППП *Maple* программа расчета и оперативной 3D-визуализации множества вариантов использования траста в процессе приземного движения квантомобиля. Средства ППП *Maple* обеспечивают всесторонний осмотр графических 3D-образов, интерактивное внесение изменений в модель, производство анимаций.

Дополнительно к представленным выше графическим функционалам можно отметить некоторое множество вспомогательных опций, запрограммированных в модели: линии пересечения поверхностей, ограничения поверхностей по этим линиям и наоборот – выходы поверхностей за выставленные пределы – (рис. 5.10).

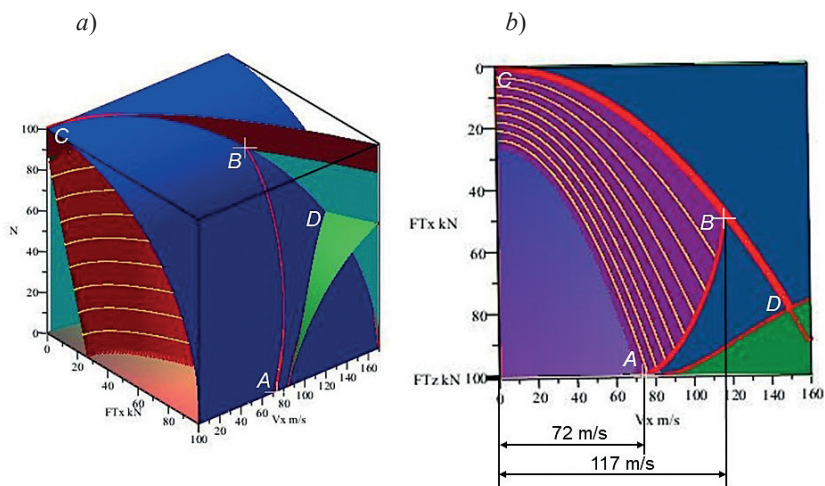


Рис. 5.10. Один из вариантов набора поверхностей и линий разработанной модели

По этому рисунку, в качестве примера оперативной оценки, можно сделать заключение, что для квантомобиля с выше представленными характеристиками и КвД с максимальным трастом 100 кН

при движении экипажа по опорной поверхности с  $f_{к.0} = 0,3$  в режиме автомобиля (без вывешивания) можно достичь скорости  $V_x = 72$  м/с, максимально же достижимая скорость в частично вывешенном состоянии экипажа скорость  $V_x = 117$  м/с (см. экспликацию 5.10, *b*). В первом случае точка *A* является выходом линии *AB* пересечения красной линейчатой поверхности требуемого траста и синей цилиндрической поверхности максимального траста КвД на плоскость  $F_{Tz} = 0$ . Во втором случае точка *B* является точкой пересечения упомянутой линии *AB* с линией *CD* пересечения голубой (+ коричневой в верхней части) поверхности воздушного сопротивления с синей цилиндрической поверхностью максимального траста.

Таким образом, при одной и той же величине траста максимальная скорость экипажа в частично вывешенном состоянии в полтора раза выше скорости экипажа в режиме автомобиля – и это только лишь за счет направления вектора траста. Последнее является ещё одним подтверждением того, что в каждом конкретном случае необходим поиск оптимальных значений величины и направления траста в срединной части степени вывешивания ( $\gamma \approx 0,3 \dots 0,7$ ).

### 5.4. Моделирование траекторий изменения вектора траста

Графоаналитическое моделирование траекторий поведения вектора траста важно, например, при оптимизации разгона экипажа. Это может быть отражено в виде рис. 5.11 [62].

Осветим несколько возможных вариантов траектории изменения вектора траста в процессе разгона экипажа от  $V_x = 0$  м/с при  $F_{Tx} = 26,4$  кН,  $F_{Tz} = 0$  ( $\beta = 0^\circ$ ,  $\gamma = 0$ ) до  $V_x = 95,3$  м/с при  $F_{Tx} = 52,6$  кН,  $F_{Tz} = 73,1$  кН ( $\beta = 54,3^\circ$ ,  $\gamma = 0,81$ ) (см. для точки-узелка на рис. 5.10). Линейчатый (*ruled*) характер поверхностей траста, требуемого для равномерного движения, отвечает простейшему подходу к моделированию движения экипажа. Но он позволил

решить задачу выявления картины использования траста в продольной плоскости, а также – задачу построения методики соответствующего анализа. Однако в реальности функционалы, конечно, нелинейны. И это, несомненно, отразится на характере искомых зависимостей.

Анализ также усложнится при подключении множества скоростей, дорог и других атрибутов.

С целью унификации представления и последующего анализа ансамбля линий траекторий будем их представлять в параметрическом виде:  $x = f_x(t)$ ,  $y = f_y(t)$ ,  $z = f_z(t)$ ,  $t = 0 \dots 1$ ;  $t = 0$  соответствует начальной точке исследуемого отрезка,  $t = 1$  – конечной [62].

1. Прямая линия:  $x = 26,2t + 26,4$ ;  $y = 95,3t$ ;  $z = 73,1t$ ; на рис. 5.11 – синим цветом. Представляет постепенное линейное наращивание значений всех координат при переходе от начальной до конечной точки.

2. Ломаная (пурпурная – *magenta*) из двух сегментов – условно моделирует вертикальный подъем (*VTOL* [233, 234]). Сначала (при  $V_x = 0$ ) мгновенный выход вектора траста на значения его компонент  $F_{Tx} = 52,6$  кН,  $F_{Tz} = 73,1$  кН; это описывается уравнением  $x = 26,2t_0 + 26,4$ ,  $y = 0(t_0)$ ,  $z = 73,1t_0$ . Фиктивный параметр  $t_0$  введен на случай рассмотрения динамики практически не мгновенного перехода. Затем следует наращивание скорости движения экипажа до  $V_x = 95,3$  м/с путем скольжения конца вектора траста по цилиндрической (синей) поверхности  $F_{Tmax}$ :  $x = 52,6$ ,  $y = 95,3t$ ;  $z = 73,1$ .

3. Квадратичная по параметру  $x$  парабола:  $x = -100t^2 + 126,2t + 26,4$ ,  $y = 95,3t$ ,  $z = 73,1t$ . Зеленая кривая. Привлечена как вариант более мягкого использования вектора тяги, нежели предыдущий ступенчатый вариант, условно описывает короткоразбеговый подъем (*STOL* [233, 234]).

4. Квадратичная по параметрам  $x$  и  $z$  парабола:  $-100t^2 + 126,2t + 26,4$ ,  $y = 95,3t$ ,  $z = -100t^2 + 173,1t$ . Коралловая кривая. Это вариант более динамичного использования вектора тяги, нежели в предыдущем случае (подтягивание траектории к ограничивающей цилиндрической поверхности  $F_{Tmax}$ ).

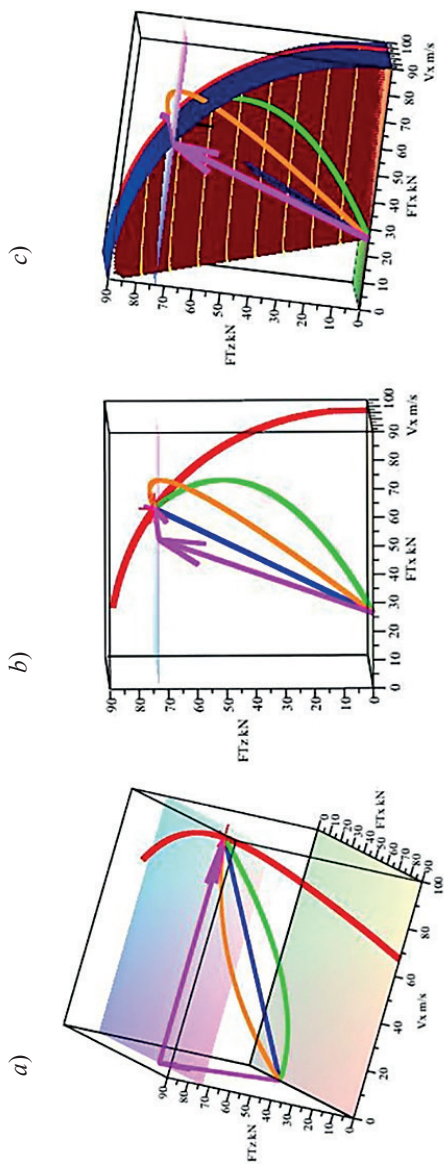


Рис. 5.1.1. Несколько вариантов управления вектором траста при разгоне экипажа со скорости  $V_x = 0$  до скорости  $V_x = 95,3$  м/с [62]

Отображение траекторий в математическом виде является важным, поскольку в последующем анализе позволит привязывать к ним функционалы динамики движения экипажа и связанных с этим энергозатрат.

Графическое же представление позволяет визуально оценить возможности траста КвД в пространстве параметров на фоне геометрических и других ограничений. Например, на рис. 5.11, с видно, что синяя прямолинейная траектория не может обеспечить разгон экипажа, поскольку уходит в зону сопротивлений равномерному движению (под красную линейчатую поверхность). С другой стороны, коралловая траектория в целом невыполнима, поскольку выходит за пределы синей цилиндрической поверхности  $F_{T_{\max}}$ .

### 5.5. Рекомендации по включению в 3D-МИТ Базовых регуляторных характеристик (БРХ) КвД

Развертка двумерных схем силового баланса автомобиля до трехмерных моделей силового баланса квантомобиля требует соответствующей модернизации регуляторных характеристик двигателя ТС при переходе от ДВС к КвД. Предложенные автором в работе [210] базовые регуляторные характеристики (БРХ) квантомобиля (см. рис. 5.12) должны найти своё выражение в 3D-пространстве параметров  $x = F_{T_x}$ ,  $y = V_x$ ,  $z = F_{T_z}$ . Для этого на третьей оси (направленной ортогонально на читателя) нужно будет расположить параметр  $z = F_{T_z}$ , а ось  $FT$  (рис. 5.12) отдать под параметр  $x = F_{T_x}$ . Далее, изолинии параметра органа управления (синие для тяговых режимов и красные для тормозных режимов) превратятся в изоповерхности. Этот параметр будет четвертым, и четырехмерная модель потребует привлечения тензорного исчисления для описания топологии и действий в этом 4D-пространстве. Разработка этих идей, однако – задача будущих исследований.

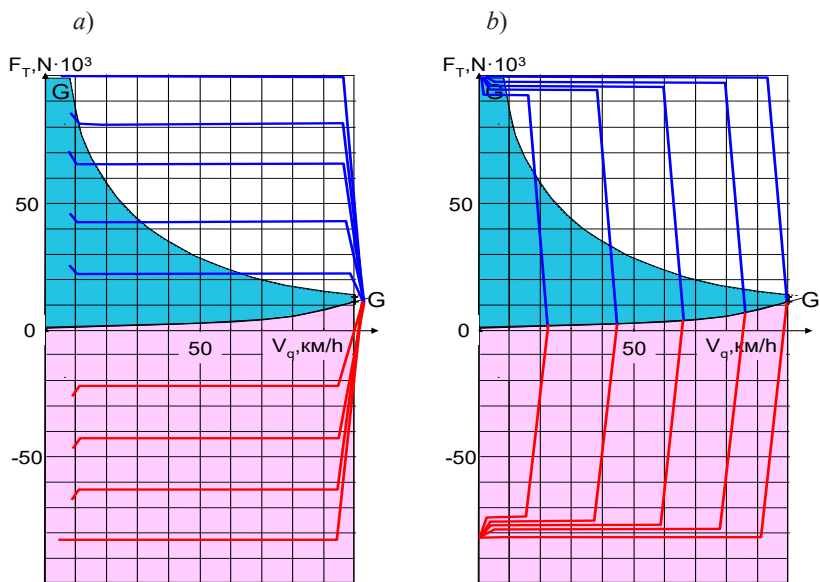


Рис. 5.12. Базовые регуляторные характеристики (БРХ) КвД квантомобиля: *a* – двухрежимная; *b* – всережимная [210]

### 5.6. Заключение по формированию и возможностям 3D-МИТ

Пакет *Maple* – мощная и вместе с тем гибкая система, вобравшая в себя богатый математический аппарат, многостороннюю аналитику решения задач и изящную деловую графику. Казалось бы, что отсутствие не только реального моделируемого объекта – квантомобиля, но и всего класса подобных объектов, уподобляет ситуацию стрельбе из пушки по воробьям. Однако осмысление этого гипотетического, призрачного объекта как раз и будет успешным с использованием привлеченного продвинутого инструментария.

Естественным будет путь развития расчетной модели квантомобиля и его графоаналитического базиса по пути возрастающей



сложности. На следующем этапе должно быть запрограммировано целиком Обобщенное уравнение движения квантомобиля, далее должен быть осуществлен переход к дифференциальным моделям движения экипажа, подключение модели управления КвД, затем переход к оптимизационным моделям траекторного управления движением, разработка специальной аэродинамики квантомобиля-квантолёта (с оперением и без, разновидностями шасси), индифферентное движение по горизонту (объединение курсового и бокового движений), наконец, переход к конструкции летающей тарелки. На всех этих этапах графоаналитический базис на уровне ППП *Maple* будет необходим.

Выход из приземного режима движения обеспечивается неравенством  $F_{Tz} > G_q$ . В данной работе расчетное исследование за пределами приземного режима не преследовалось. Однако отдельные тесты на модели показали, что при исчезновении сопротивления дороги (т. е. при  $F_{Tz} > G_q$ ) возможна вторая зона минимизации траста. Экипаж проходит некий гребень в силовом балансе, связанный с вывешиванием в зоне  $\gamma \approx 0,8 \dots 1,0$ .

Последнее обстоятельство, вероятно, будет иметь значение при выборе методики взлета квантомобиля: вертикального (*VTOL*), коротко-разгонного (*STOL*), либо некоего комбинированного.

Численные примеры основаны на использовании геометрических, массовых и аэродинамических параметров автомобиля-аналога КамАЗ-4326. С одной стороны, этот гоночный автомобиль с тысячесильной силовой установкой оказался ближе всего к гипотетическому грузовому квантомобилю-лаборатории (см. [208]) для сравнения их по силовому балансу (см. [57–60]). С другой стороны, названные параметры, особенно аэродинамические, окажутся весьма неудовлетворительными для квантомобиля. С этой последней точки зрения, все расчетные примеры и графические образы в этой статье характеризуют как бы предельно худшие варианты силового баланса и требуемого траста. Тем не менее, высокие скорости приземного движения квантомобиля (117 м/с и более, что не свойственно автомобильному транспорту) вполне объяснимы

тягой квантомобиля, способного значительно превосходить тягу привычного автомобиля.

Линейчатый характер поверхностей траста [83], требуемого для равномерного движения, отвечает простейшему подходу к моделированию движения экипажа. Но он позволил решить задачу выявления картины использования траста в продольной плоскости тангажа, а также – задачу построения методики соответствующего анализа. Однако в реальности функционалы, конечно, нелинейны. И это, несомненно, отразится на характере искомых функций управления.

Анализ также усложнится при подключении множества скоростей, дорог и других атрибутов. С привлечением уравнения силового баланса квантомобиля построена трехмерная графоаналитическая модель использования траста двигателя. Представлено множество возможных траекторий изменения вектора траста КвД этого ТС по совокупности режимов. Исследование и моделирование осуществлено с привлечением ППП *Maple 17*.

Модель позволяет визуализировать и анализировать области наличия ресурсов тяги для обеспечения динамики движения квантомобиля и исследовать топологию пространства траекторий вектора тяги. Подготовлена графоаналитическая база для разработки алгоритмов оптимального управления квантомобилем.

Рассмотрены перспективы развития модели. ППП *Maple*, по мнению автора, способен обеспечить выполнение расчетно-аналитической части всех перечисленных работ.

## Глава 6. КОНЦЕПЦИИ ВСЕСРЕДНОГО КВАНТОМОБИЛЯ

### 6.1. Базовые положения разработки

#### *6.1.1. Целеполагание разработки*

Проработки концепций квантового двигателя (КвД) проявляют возможность создания, на основе квантовой трастовой тяги КвД, нового класса транспортных средств (ТС) – квантомобилей. Типаж квантомобилей может быть достаточно широким: от простейшего варианта (наземного автомобиля, но с КвД в роли генератора горизонтального траста) – до всесреднего мультимодального квантомобиля (ВМК), способного функционировать на земле, в воздушном и водном пространствах. Проработка этого гипотетического типажа, естественно, должна использовать всё наследие научно-технической мысли в области создания и использования существующих ТС. Определим множество вариантов движения ВМК – от воздушного квантолета до подводной квантомарины – выполним анализ особенностей моделирования, привлечения систем координат (СК), проектирования и эксплуатации существующих ТС-прототипов, способных найти отражение в концепте ВМК. Комплексирование полезных свойств составит суть обобщения, синтеза гипотетического ВМК. Определим возможные методики моделирования ВМК – с учетом опыта использования множества СК для отдельных видов транспорта, а также возможностей современных ППП.

#### *6.1.2. Обзор продвижения тематики всесредности транспортных средств*

В мире имеется некоторое множество проектов и реализаций двухсредных и даже трёхсредных ТС. Например, в США разработана концепция **трёхсредного** беспилотного аппарата, который

будет способен летать, плавать, нырять, двигаться по пересеченной местности и совершать прыжки [30]. Крыло беспилотника будет способно в воде трансформироваться в стабилизаторы или гребные лопасти, а на суше, после сброса защитных кожухов, у него появятся колеса. При этом они позволят устройству совершать прыжки на высоту 10 м.

*Hyundai* запланировала выпустить линейку летающих двухсредных автомобилей к 2028 году [194], в том числе автомобили для мегаполисов, междугородние машины и транспорт для перевозки грузов. К 2028 г. намечено создать и подходящую инфраструктуру. Например, задуманы правила движения, разводящие летающие автомобили, самолеты и вертолеты. Компания разрабатывает пяти-шестиместные автомобили для перемещений в больших городах и более крупные модели – для междугородних перелетов. *Hyundai* также работает над транспортом для перевозки грузов. В компании считают, что резкий спрос на летающие автомобили появится, когда люди, теряющие время в пробках, поймут, насколько удобно передвигаться с помощью летательных аппаратов. К 2035 г., по мнению фирмы, летающие автомобили станут автономными [194].



Рис. 6.1. Один из концепт-проектов летающего автомобиля [25]

Наблюдается рост числа разработок в области создания частных пилотируемых летательных аппаратов. В основном этими разработками занимаются стартапы и узкопрофильные технологические компании. Крупные автомобильные концерны, такие как *Volkswagen AG*, *BMW Group*, *Toyota Motors* и другие, пока ограничиваются созданием концептов и не занимаются глубокой разработкой собственных моделей. В то же время ожидается рост инвестиций в развитие летательных технологий со стороны крупных автопроизводителей, что приведет к появлению первых рабочих прототипов в течение ближайших лет [25].

Считается, что частные летающие автомобили в скором времени станут повседневной реальностью. К 2025 году как минимум 15 компаний выпустят свои модели частных летательных аппаратов [25].

Известно о концептуальных разработках летательного аппарата С. С. Паиса (США) с условным названием «Гибридное подводно-воздушное судно», оснащенным «Устройством снижения инерционной массы» (патент US10144532B2). Концепт, по утверждению его автора, сможет взлетать с твердой поверхности и изпод воды, а также перемещаться в океане и космосе. Паис утверждает, что устройство использует «квантовый вакуум» [218].

Ведутся работы по созданию плавающих и подводных автомобилей [1, 2, 163, 184]. Изобретатель Мишель Андре еще в 1937 г. построил, возможно, первую в мире автомобиль-подлодку. Уже в нашем веке компания *Rinspeed* запустила современный вариант этого автомобиля-подлодки *Rinspeed Squba* в серию (рис. 6.2) [2].

Взяв за основу *Lotus Elise*, специалисты заменили силовую установку на аккумуляторы и электромоторы, а также добавили пару гребных винтов, водометов и затапливаемых понтонов в кузове. В результате электрический *Elise* стал перемещаться не только по дорогам общего пользования (со скоростью до 120 км/ч), но и передвигаться над и под водой [2].

Приведенные примеры являются лишь толикой в быстро расширяющемся облаке информации по затрагиваемой тематике. Всё это подчеркивает растущую актуальность проблемы всесредности ТС.

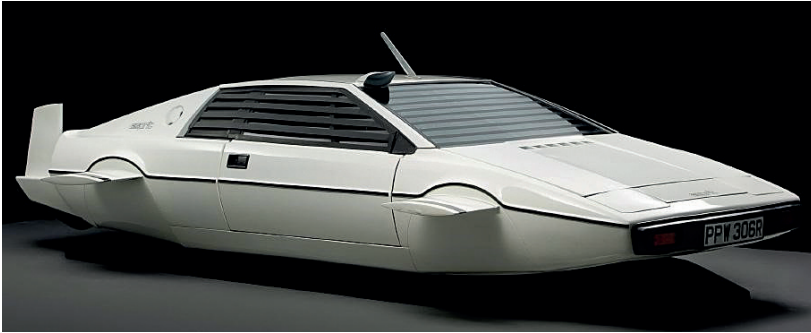


Рис. 6.2. Автомобиль-подлодка *Rinspeed Squba* [2]

### 6.1.3. Новизна авторского подхода (и концепта)

Однако упомянутые концепты основаны на использовании известных типов двигателей, использующих энергию сгорания топлива, либо электроэнергию (опять же получаемую на базе первичных источников среды обитания) – кроме, может быть, разработок, подобных концепту Паиса [218].

Проработки концепции квантового двигателя (КвД) [72], использующего энергию физического вакуума [215], обозначают возможность создания, на основе квантовой трастовой тяги КвД [81], нового класса транспортных средств – квантомобилей [56–60].

Существенным отличием КвД от ДВС является то, что КвД, используя энергию физического вакуума, будет создавать векторную тяговую силу (траст), которую можно непосредственно (исключая трансмиссию) прикладывать к корпусу экипажа для его движения [57, 58].

Наклон вектора траста в плоскости тангажа создаст вертикальную составляющую, которую можно будет использовать для вывешивания ТС с КвД или наоборот – прижатия его к опорной среде [56, 64]. Разнесение точек центра тяжести, центра объёма экипажа и/или наличие дополнительных генераторов тяги обусловит продольный дифферент экипажа (приводящий к возникновению подъемной силы).

Наклон вектора траста в поперечной плоскости обеспечит боковое смещение экипажа с курсовой траектории. Разнесение названных центров экипажа и дополнительных генераторов боковой тяги обусловит поперечный дифферент ТС (необходимый для баланса центробежных и центростремительных сил при курсовом повороте) [64].

Поворот экипажа (в плоскости рыскания) возможен как при одной тяговой единице (КвД впереди центров тяжести и объема экипажа – тянущий вариант, либо позади этих центров – толкающий вариант). Наличие дополнительных источников тяги (разнесенных по объему ТС), естественно, будет способствовать повышению управляемости и маневренности [58].

На различных видах ТС используется от одного (одномоторный самолет, одновинтовые суда и баржи) до шести (многомоторные самолеты, ракеты, дроны) источников трастовой тяги [82, 112, 147, 166, 191, 193, 198].

Реализация дифферентов корпуса квантомобиля во всех плоскостях (тангажа, крена и рыскания) потребует установки минимум трех КвД (генераторов траста) в различных точках экипажа [58, 206], и для описания динамики движения экипажа – системы дифференциальных уравнений (ДУ), дающих возможность определять при движении по траектории 6 величин пространственного силового баланса (три компоненты обобщенного вектора траста и три момента сил по осям локальной СК экипажа) и 9 позиционных величин (по три эвклидовой компоненты 3D-пространственного положения центра тяжести (либо другой представительной точки), а также скорости и ускорения этой точки) [4, 6, 14, 20, 31, 33, 38, 41, 46, 94, 98, 109, 111, 122, 147, 237].

Автор представил ранее в публикациях [57–60, 210–211] отдельные аспекты кинематики и динамики квантомобиля в плоскости тангажа. В этих работах приведены примеры расчета тяговых сил и энергозатрат квантомобилей для двух физических сред движения ТС – наземной и воздушной.

В работах [65–66] затронута возможность создания универсального ТС на квантовой тяге, способного функционировать

во всех физических средах (в воздухе, на земле и воде – назовём его здесь всесредным мультимодальным квантомобилем (ВМК). Также сформирована модель силового баланса ВМК при продольном движении в этих средах.

В работе [66] рассмотрены вопросы наследования и обобщения особенностей моделирования и осуществления движения существующих типов ТС в концепте гипотетического ВМК: выбор и/или унификация систем координат (СК), выбор и последовательность привлечения математических моделей (ММ), модельные упрощения, конструктивные решения, другие особенности.

#### ***6.1.4. Используемые базовые положения механики***

Как известно, в механике используют две модельных объектных сущности: материальная точка и твердое тело. Механику подразделяют на кинематику, статику и динамику. Глубина представлений и сложности моделей растёт, как правило, от кинематических схем к динамическим моделям. Статику, как правило, считают частным случаем динамики, но в теории надводных судов и подводных лодок (ПЛ), например, её выделяют в самостоятельный значимый раздел [24].

Механическое движение относительно – для описания движения тела нужно указать, по отношению к какому телу отсчета рассматривается движение [14, 31, 41, 94, 96, 98, 111, 130, 141, 158]. Для динамических моделей используется две или более систем координат. СК, связанная с телом отсчета, и часы для отсчета времени образуют систему отсчета. Основная задача механики: при знании состояния системы (координаты, скорости) в начальный момент времени  $t_0$ , а также законов управления движением, определить состояние системы в последующие моменты времени  $t$ .

Одним из модельных упрощений механики ТС является выделение продольного движения, достаточного, например, при допустимых погрешностях, для оценки силового баланса экипажа. Другим методом упрощения является «расщепление» движения



в 3D-пространстве на 3 плоскостных варианта, реализуемых в плоскостях СК [20, 33].

Используем понятие *обобщенного (суммарного) траста*. Его можно использовать, например, в анализе силового, мощностного или энергетического баланса ВМК. В контрапункте к нему используем понятие *элементарного (частного, однопозиционного, конкретного) траста*, из совокупности которых составляется обобщенный траст. Каждый элементарный траст фокусируется в определенной точке твердотельной модели ВМК. Будем использовать просто термин Траст, если в контексте понятно, о каком из двух введенных понятий идет речь.

### 6.1.5. Обобщенный вектор траста как инструмент реализации режима движения

Основной (но не единственной) силой, приводящей ВМК к смене среды и режима движения, является вертикальная компонента траста  $F_{Tz}$ . Привлечем для пояснения схему на рис. 6.3, используемую для моделирования продольного движения [64].

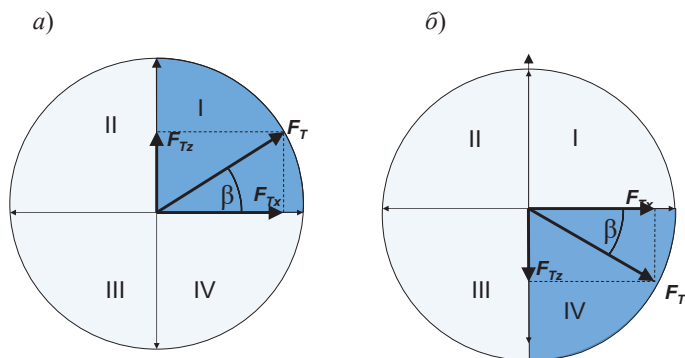


Рис. 6.3. Круговая диаграмма возможного направления вектора траста  $F_T$  (с горизонтальной  $F_{Tx}$  и вертикальной  $F_{Tz}$  компонентами): *a* – вариант вывешивания экипажа; *b* – вариант подавливания экипажа [64]

Если вектор траста КвД  $F_T$  имеет техническую возможность реализации его угла  $\beta$  в вертикальной продольной плоскости, то он разложим на две компоненты  $F_{Tx}$  и  $F_{Tz}$ . Тогда в первом и втором квадрантах круга его обметания отобразятся варианты с вывешиванием экипажа с силой  $F_{Tz}$ , направленной вверх (лифт), а в третьем и четвертом квадрантах отобразятся варианты с поддавливанием экипажа с силой  $F_{Tz}$ , направленной уже вниз (антилифт).

Вывешивание экипажа особенно позитивно для автомобиля с КвД – квантомобилия, и это проработано в серии авторских публикаций [56–60, 210].

Поддавливание экипажа вертикальной составляющей вектора траста, направленной вниз (антилифт), может оказаться полезным для режимов надводного и подводного движения квантового вездехода, что затронуто автором в работе [65–66]. Также это может оказаться полезным при использовании КвД на железнодорожном транспорте, когда поддавливание может заменить/увеличить часть сцепного веса локомотива и мотор-вагонов [64]. Собственный вес локомотива можно освободить от балластной части веса (вносимой ныне в конструкцию для обеспечения сцепления колес с рельсовым путем), компенсируя этот балластный вес вертикальной составляющей траста КвД. Эту балласт-компенсаторную силу можно оперативно изменять в зависимости от режима работы и профиля пути – для улучшения скоростной динамики поездов.

Поддавливание может оказаться полезным и в строительном дорожном производстве. Например, собственный вес катка может быть уменьшен с заменой в оперативном режиме величины облегчения конструкции балласт-компенсаторной силой поля.

Если квадранты I и IV отведены для отображения равномерного и ускоренного поступательного наземного и воздушного движения экипажа (условно слева направо), то в квадрантах II и III отображаются замедления и торможения экипажа со стороны КвД при развороте вектора траста назад. Сочетание горизонтальной  $F_{Tx}$

и вертикальной  $F_{Tz}$  составляющих вектора траста может составить основу эффективных и гибких процессов разгона, торможения и равномерного движения экипажа.

В случае возможности «шарнирной» установки КвД на квантомобиле, или по-другому, возможности 3D-обметания вектором тяги трехмерного пространства, т. е. появлением боковой составляющей траста, станет возможным создание центростремительной силы, противостоящей центробежной силе на вираже. Это привлекательно для высокоскоростных дорог, когда расчетный постоянный наклон пути (рассчитанный для определенной скорости движения) можно будет заменить гибко изменяемой (в зависимости от скорости экипажа) поперечной составляющей вектора траста.

Наличие боковой составляющей траста позволит осуществлять боковое движение, маневрирование (смещение относительно плоскости тангажа) как в воздухе, так и в воде.

## **6.2. Варианты движения ВМК**

### ***6.2.1. Базовый (наземный) вариант концепта квантомобиля***

Стартовым прообразом простейшего квантомобиля выбран классический наземный автомобиль. Начальное, базовое новшество заключается в замене традиционной силовой установки с мотором (ДВС, электродвигатель, другие), с трансмиссией и ведущими колесами (роторный двигатель-трансмиссия-колесный (гусеничный) движитель) перспективным КвД (в роли единого двигательного компонента ТС). Горизонтальный траст КвД обеспечивает ТС тяговой силой, прикладываемой непосредственно к корпусу экипажа. Совокупность колес в этом случае выполняет роль опорного устройства, которое может использоваться, кроме этого, для управления и маневрирования ТС. Этот вариант квантомобиля затронут в работах [56, 205].

### 6.2.2. Возможные варианты движения ВМК

В развитие базового варианта квантомобиля следует обеспечение способности ВМК перемещаться в воздушной и водной средах. Общий перечень режимов его движения приведен в табл. 6.1 [65]. Вышеупомянутый базовый вариант находится в таблице под № 4. Имеется несколько режимов с использованием двух сред движения – строки 3–4 (воздух–земля) и 7–8 (воздух–вода), а также трёх сред – строки 5–6 (воздух–земля–вода).

Естественно, конфигурация конструкции ВМК и система управления должны быть гибкими, оперативно изменяемыми, с оперативной настройкой по пути следования на реализуемый режим движения из числа указанных в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Режимы движения ВМК [65]

№	Движение ВМК	Среда	Вертикальная компонента обобщенного траста $F_{T_z}$	Характерные особенности движения ВМК
1	Продольно-вертикальное	Воздух	$F_{T_z} > G_q$	Возможен вертикальный отлёт
2	Продольное граничное, полностью вывешенное	Воздух	$F_{T_z} = G_q$	Горизонтальное движение в воздухе с отрывом от земли
3	Продольное, частично вывешенное	Воздух-земля	$0 < F_{T_z} < G_q$	Возможна оптимизация вектора траста
4	Продольное, не вывешенное	Воздух-земля	$F_{T_z} = 0$	Режим классического наземного автомобиля
5	Продольное по мелководью – до днища	Воздух-земля-вода	$F_{T_z} = 0$	Существенное увеличение сопротивления движению ВМК

Окончание табл. 6.1

№	Движение ВМК	Среда	Вертикальная компонента обобщенного траста $F_{Tz}$	Характерные особенности движения ВМК
6	Продольное по мелко- водью – от днища до ватерлинии	Воздух- земля- вода	$F_{Tz} = 0$	Перенос сопротив- ления движению с земли на воду
7	На плаву – по ватерлинии	Воздух- вода	$F_{Tz} = 0$	Режим лодки, катера, судна
8	Погружение от ватерлинии до крыши	Воздух- вода	$F_{Tz} < 0$	Переход в режим суб- марины (квантома- рины), осуществля- ется притапливание трастом
9	Погружение от крыши до $0,5 L_{\text{корп}}$ *	Вода	$F_{Tz} < 0$	Режим квантомарины с большим волноо- бразованием
10	Погружение глубже $0,5 L_{\text{корп}}$	Вода	$F_{Tz} < 0$	Режим квантомарины без существенного волнообразования

\*  $L_{\text{корп}}$  – длина корпуса квантомарины.

Режимы движения экипажей по табл. 6.1 реализуются существующими, как правило, одномодальными типами ТС с их традиционными двигателями и движителями, специализированными под конкретные условия среды функционирования. В нашем случае, однако, в основном требуют отражения два момента: 1) использование квантовой тяги; 2) всесредность представляемого ТС.

Рассмотрим далее возможность использования знаний, накопленных по видам транспорта, для научного обоснования концепции ВМК. Также рассмотрим схематично основные особенности реализации движения прототипов ВМК из ряда традиционных ТС в соответствующих средах.

### 6.3. Движение в воздухе

#### 6.3.1. Режимы 1 и 2 табл. 6.1

Множество вариантов движения полностью вывешенного ВМК – от продольного (горизонтального) до вертикального (как вверх, так и вниз).

В роли концептуальных прототипов ВМК для воздушной среды могут выступать летательные аппараты (ЛА) тяжелее воздуха: самолеты, вертолёты, ракеты, экранопланы (ЭП), машины на воздушной подушке (МВП). Каждый из этих типов ЛА за время своего развития вышел на определенный многокритериальный оптимальный уровень.

В отличие (в дополнение) от автомобиля эти ЛА должны конструктивно обеспечиваться подъемной силой. У самолётов подъемная сила обеспечивается аэродинамическими формами (профилями) крыльев и фюзеляжа, пред- и подкрылками, трансформирующими (преобразующими, переводящими) часть продольной тяговой силы движителя в вертикальный лифт (поддерживающую силу).

Простейшие объяснения лифта (Ньютоновское [106] и современное рабочее [4]) представлены на рис. 6.4.

Этот феномен используется в конструкциях всех ЛА с оптимизацией геометрии ЛА под условия движения и требуемый скоростной режим.

Затронем простейшие модели динамики полетов, с точки зрения поиска приемлемости уровня сложности для концептуальной отработки ВМК.

Математическая модель (ММ) движения ЛА является совокупностью аналитических выражений, графических и табличных зависимостей, которые определяют траекторию полёта ЛА. Основу ММ составляют дифференциальные уравнения (ДУ) движения, приведённые к форме Коши, и метод решения системы ДУ. ММ дополняют характеристики гравитационного поля, параметры атмосферы, аэродинамические характеристики ЛА, атрибуты двигательной установки ЛА [20].

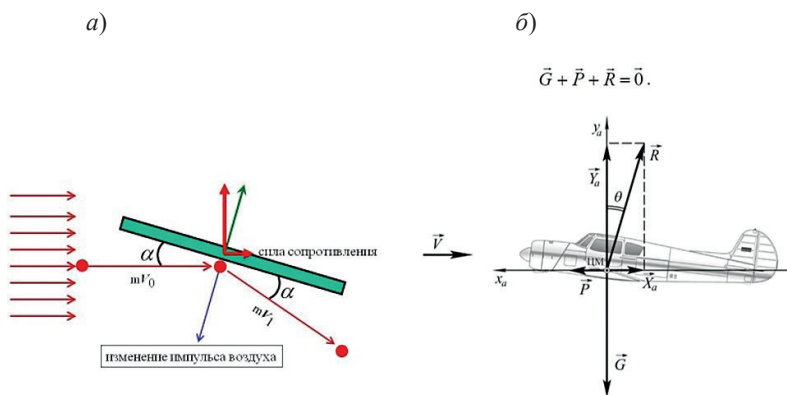


Рис. 6.4. Подъемная сила воздушного потока: а – Ньютонское объяснение возникновения подъемной силы [106]; б – простейшая интерпретация баланса сил самолета [4]

Разделение движений на поступательное движение центра масс и вращательное относительно центра масс, а также разделение поступательного движения на продольное и боковое позволяют получить приемлемую точность расчётов [20]. Раздельное рассмотрение движений, однако, возможно только при существенных упрощениях, как, например, отражено с помощью схем рис. 6.5, а [33]. Здесь дан графический образ модели продольного движения ЛА (в плоскости тангажа), учитывающей основные силы и моменты.

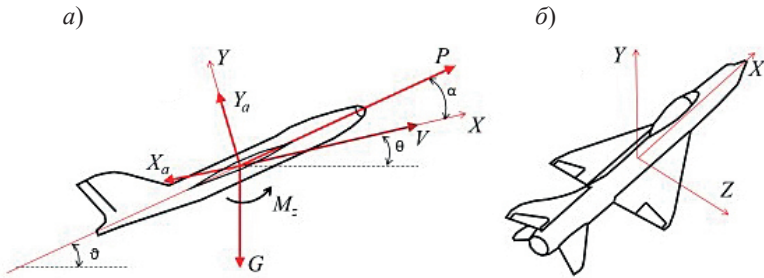


Рис. 6.5. Схема приложения сил в продольной плоскости движения ЛА (а) [33] и правая связанная СК (б)

При продольном движении вектор  $V$  скорости центра масс ЛА находится в вертикальной плоскости. Внешние силы, действующие на ЛА:  $P$  – сила тяги двигателей, вектор которой направлен вдоль оси  $OX$  связанной СК;  $X_a$  – сила лобового сопротивления, вектор которой направлен против вектора скорости  $V$ ;  $Y_a$  – подъёмная сила, вектор которой перпендикулярен вектору  $V$ . Вращение ЛА в плоскости  $X_a Y_a$  возможно под действием аэродинамического момента тангажа  $M_z$ , действующего вокруг оси  $OZ_a$  (на рис. 6.5, а обращена на читателя) [33].

Отметим, что здесь используется правая СК, связанная с корпусом ЛА, представленная на рис. 6.5, б (при этом  $Y$  – вверх,  $Z$  – на правый борт).

Как показано в работе [33], возможно математическое представление продольного движения ЛА (по рис. 6.5, а), например, несложной системой нелинейных ДУ (1):

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = P \cos \alpha - X_a - mg \sin \theta, \\ m \frac{d\theta}{dt} = P \sin \alpha - Y_a - mg \cos \theta, \\ \vartheta = \theta + \alpha, \\ I_z \frac{d\vartheta}{dt} = M_z. \end{cases}$$



где  $m$  – масса ЛА,  $g$  – ускорение свободного падения,  $\vartheta$  – тангаж,  $\theta$  – наклон траектории движения центра масс ЛА,  $\alpha$  – угол атаки,  $I_z$  – момент инерции ЛА относительно оси  $OZ_a$ .

Момент аэродинамических сил  $M_z$  можно представить в виде:

$$M_z = m_z b_a S \frac{\rho V^2}{2},$$

где  $m_z$  – коэффициент момента,  $b_a$  – хорда крыла,  $\rho$  – плотность воздуха,  $S$  – общая площадь крыла. Коэффициент  $m_z$  зависит как от статических, так и динамических параметров.

Применение метода малых возмущений к выше представленной модели, по выкладкам работы [33], обеспечивает получение более простых линейных уравнений продольного движения ЛА. в этой работе представлены аналогичная модель бокового движения ЛА по крену, а также модель по углу рыскания – вращением вокруг продольной оси  $OX$ , нормальной оси  $OY$  и линейным перемещением вдоль оси  $OZ$ , и также с упрощающей линеаризацией этих моделей.

Посчитаем, что для формирования и отработки концепта ВМК такой подход и уровень сложности приемлемы и достаточны.

### ***6.3.2. О системах координат, используемых в моделировании и использовании ЛА***

Успешность процессов формирования и применения динамических моделей ТС зависит от используемых СК. Авторский обзор СК, применяемых в моделировании разнообразных ТС, показал, что наиболее упорядоченным и нормативно обеспеченным является авиационный транспорт – в России несколько десятков лет используется ГОСТ 20058-80 Динамика летательных аппаратов в атмосфере, в странах Запада – стандарт ISO-1151 [195]. Эти стандарты, кстати, имеют значимые отличия.

На отечественном воздушном транспорте для инерциальных, земной, всех подвижных СК регламентировано использование Пра-

вой прямоугольной декартовой СК; при этом для подвижных СК ось  $OX$  направлена к носу ЛА, ось  $OY$  – вертикально (нормально) вверх, а ось  $OZ$  – в поперечной плоскости в сторону правого борта ЛА (см. рис. 6.5, б). Положительное направление вращения вокруг осей – по часовой стрелке. При этом допускается (для специальных задач) изменение направлений осей [38].

СК по ISO-1151 [195] – тоже правая, но ориентация осей иная (см. рис. 6.6): ось  $OX$  – также от хвоста к носу, ось  $OY$  – на правый борт, а ось  $OZ$  – вниз. Положительное направление вращения вокруг осей – по часовой стрелке. Также отличаются условные обозначения большинства величин, несколько отличается номенклатура совокупности терминов и величин.

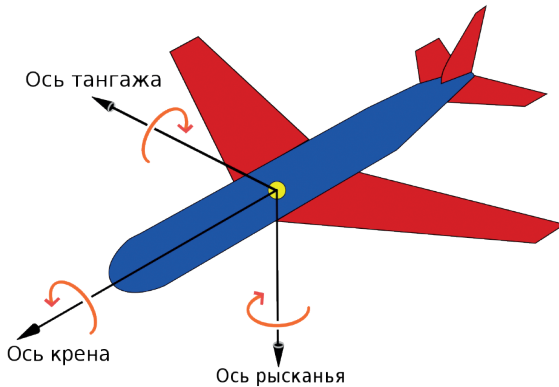


Рис. 6.6. Определение связанной СК в ISO-1151 [195]

Приведем необходимые нам выдержки из ГОСТ 20058-80.

*Инерциальная и земные системы координат.* Инерциальная СК  $O_iX_iY_iZ_i$ ; Земная СК –  $O_oX_oY_oZ_o$ ; Нормальная земная СК –  $O_oX_gY_gZ_g$ ; Стартовая СК –  $O_oX_cY_cZ_c$ .

*Подвижные системы координат.* Подвижная СК – СК, начало которой  $O$  помещено на ЛА, обычно в центре масс; Ориентированная

подвижная СК –  $OХиYиZи$  (направления осей относительно звезд неизменны); Земная подвижная СК –  $OХоYоZo$  (оси коллинеарны осям Земной СК).

Нормальная СК  $OХгYгZг$  (ось которой  $OYг$  направлена вверх по местной вертикали).

Связанная СК  $OХYZ$  (продольная ось  $OХ$ , нормальная ось  $OY$  и поперечная ось  $OZ$  фиксированы относительно ЛА).

Полусвязанная СК  $OХеYeZe$  (ось  $OХе$  совпадает с проекцией скорости  $V$  ЛА на плоскость  $OХY$  связанной СК, ось  $OYe$  – с осью подъемной силы  $OYe$ , а ось  $OZe$  – с поперечной осью  $OZ$ ).

Связанная с пространственным углом атаки СК  $OХпYпZп$ .

Скоростная СК  $OХаYaZ$  (ось  $OХа$  совпадает с направлением скорости ЛА; оси скоростной СК  $OХа$ ,  $OYa$  и  $OZа$  носят названия: скоростная ось, ось подъемной силы и боковая ось соответственно).

Траекторная СК  $OХкYкZк$  (ось  $OХк$  совпадает с направлением земной скорости  $Vк$ , ось  $OYк$  лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ось  $OХк$ , и направлена вверх от поверхности Земли).

Та или иная совокупность из перечисленных СК привлекается в зависимости от предмета исследования.

В ГОСТ 20058-80 определены углы Эйлера между осями: Угол атаки, Угол скольжения, Пространственный угол атаки, Аэродинамический угол крена, Угол рыскания, Угол тангажа, Угол крена, Скоростной угол рыскания, Скоростной угол тангажа, Скоростной угол крена.

Посредством последовательных поворотов осей на углы Эйлера можно перевести одну СК в другую. В ГОСТ 20058-80 зафиксированы формулы перехода между вышеназванными СК. Например, чтобы перевести Полусвязанную систему в Связанную, требуется лишь один поворот вокруг оси  $OХп$  на аэродинамический угол крена  $\varphi_а$ . Этот поворот описывается матрицей  $A$ , элементы которой являются направляющими косинусами:

$$A = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Переход от Скоростной СК к Связанной СК осуществляется двумя последовательно выполняемыми поворотами. Переход от Нормальной к Связанной СК осуществим тремя последовательными поворотами. Каждый дополнительный поворот увеличивает громоздкость вычислений и представлений, наращивает модельные погрешности, ухудшает устойчивость общих решений – и это определяет успешность выбора рабочих СК для динамической модели.

В качестве примера, положение самолета относительно Земли определяется углами между осями Связанной ( $0XYZ$  – рис. 6.7, а) и Нормальной земной ( $0X_gY_gZ_g$  – рис. 6.7, б) СК [38].

ГОСТ 20058–80 определяет также 18 сил, действующих на ЛА, 10 моментов сил, множество коэффициентов сил и коэффициентов моментов сил.

Также в его Приложении 3 дано «Соответствие обозначений осей координат и буквенных обозначений величин, установленных в данном стандарте и МС ИСО 1151».

В авиации наработан огромный опыт использования СК в моделях динамики полёта. Обзор применяемых СК имеется, например, в работе [122].

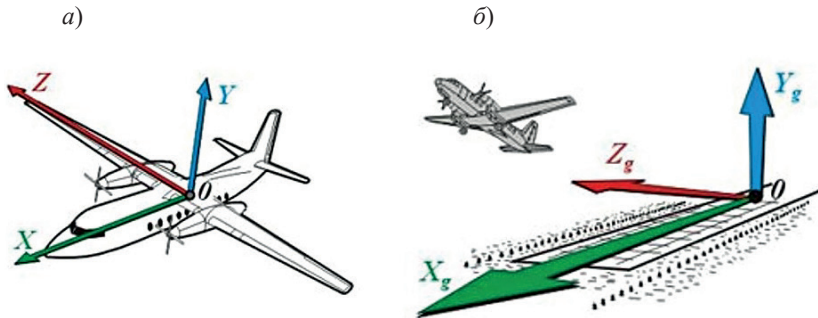


Рис. 6.7. Связанная СК (а) и Нормальная земная СК (б) [38]  
по ГОСТ 20058–80

Отметим, что при моделировании динамики вертолетов привлекают СК, у которой ось  $OY$  совпадает с осью несущего винта или вектором тяги [98]. Это может оказаться удобным при моделировании вертикального движения и висения квантомобиля.

### 6.3.3. Экранопланы в роли прототипов

Прототипом режима № 2 ВМК, совершающего бреющий полет, могут служить крейсерские режимы экранопланов (ЭП) [91] и МВП [125].

Созданы опытные экранопланы, обладающие достаточной устойчивостью и способностью летать как вблизи опорной поверхности, так и за пределами влияния земли.

В последние годы образовался разрыв между скоростями наземного и водного транспорта, с одной стороны, и воздушного транспорта, с другой. Появилась область неиспользуемых массовым транспортом скоростей в 150–500 км/ч (см. желтую сеточку на Диаграмме Кармана-Габриэли, рис. 6.8). Возможно, экранопланы (тем более, квантолеты) заполняют этот диапазон скоростей [186].

Движение по Диаграмме Кармана – Габриэли (рис. 6.8) вправо и/или вверх, т. е. приближение к Технологической линии (или преодоление ее) означает повышение эффективности ТС. В этом смысле, увеличение максимальной скорости движения экипажа при оснащении его КвД равной мощности с ДВС автомобиля-прототипа (по п. 3.5) сдвигает кривую «*car*» на Диаграмме Кармана – Габриэли в зону желтой сеточки, заполняя пустоту. Замена традиционной силовой установки (СУ) вертолета, самолета, дрона на более эффективную СУ с КвД также сдвигает соответствующие кривые «*hovercraft*», «*helicopter*», «*...craft*» вправо и вверх, обозначая повышение технико-экономической эффективности.

Рядом стран успешно решены многие проблемы экранопланостроения — созданы опытные аппараты, обладающие достаточной устойчивостью и способностью летать как вблизи опорной поверхности, так и за пределами влияния земли.

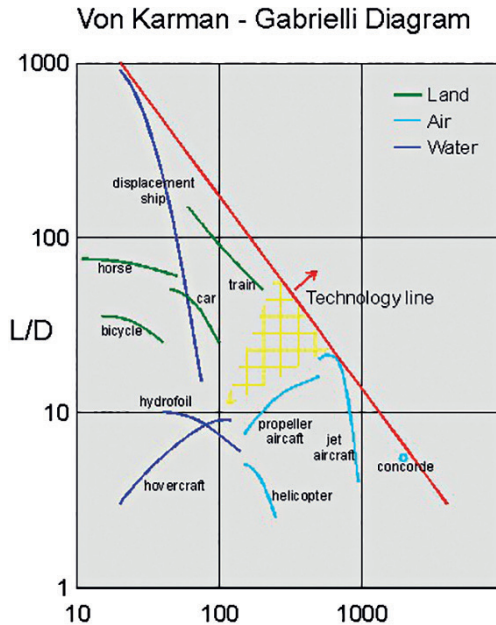


Рис. 6.8. Диаграмма Кармана – Габриэли:  
 $L/D$  – Lift (подъемная сила)/  
 $Draft$  (сопротивление) [186]

Полезной для ВМК особенностью экранопланов являются выдвижные крылья. Эти крылья дополнены закрылками, предкрылками и системой управления пограничным слоем, повышающими, в их совокупности, аэрогидродинамические (т. н. ходовые) качества и широту диапазона режимов полета экипажа.

Ходовое качество (отношение массы ТС к силе сопротивления движению) для всех видов ТС падает с ростом скоростей и обуславливает медленный рост их скоростей передвижения. Для экранопланов, при этом, темп падения этого качества при росте скорости сравнительно низкий. Благодаря высоким значениям

аэрогидродинамического качества экранопланы способны обладать в 2–3 раза меньшей энерговооруженностью, в сравнении с самолетами и вертолетами.

Экранопланы обладают способностью движения в различных режимах: плавания, глиссирования, околоэкранный движения, «ползания» по суше, полета вдали от экрана – в самолетном режиме. Широта диапазона режимов движения этого типа ТС велика и практически недостижима ни для одного из существующих ТС.

Аэрогидродинамическое сопротивление в процессе разбега ЭП быстро возрастает и при некой критической скорости достигает максимума («горб» на кривой сопротивления). Преодоление этого «горба» служит расчетным случаем для определения потребной мощности энергетической установки ЭП.

Недостатком экранопланов является низкая поворотливость в горизонтальной плоскости (рыскание по курсу). Причина – сложность создания боковой силы, необходимой для противодействия скольжению (дрейфу), возникающему под действием центробежной силы. Как известно, у водоизмещающих судов дрейфу противодействуют силы сопротивления воды. Маневренность самолетов в горизонтальной плоскости обеспечивается выполнением виражей, когда в противодействии скольжению участвуют и фюзеляж, и хвостовое оперение, и основное несущее крыло. Для ЭП, движущихся в непосредственной близости от воды, создание значительных кренов малореально.

У квантолёта дрейфу от центробежной силы будет способна противодействовать боковая составляющая траста.

При движении экраноплана продольная устойчивость в значительной степени зависит от расположения центра массы по отношению к аэродинамическому фокусу. Если центр массы находится впереди аэродинамического фокуса – ЭП имеет продольную устойчивость. Продольной устойчивости ЭП достигается также при помощи высокорасположенного горизонтального стабилизатора.

Поперечная устойчивость ЭП практически постоянна, так как при приближении к экрану крыла одного борта подъемная

сила его увеличивается и появляется выравнивающий момент. Кроме этого, поперечная устойчивость достигается с помощью закрылков, которые могут выполнять одновременно и функции элеронов [34].

Максимальное сопротивление движению ЭП наблюдается при скоростях, составляющих 40–60 % скорости, необходимой для отрыва от поверхности. Это является результатом роста сопротивления движению в режиме движения на плаву. Рост подъемной силы на крыле и последующий выход модели из воды вызывает значительное уменьшение сопротивления. Для увеличения подъемной силы в ситуации отрыва от воды применяются закрылки, предкрылки и т. п. [22].

Впечатляет проект Щукина Л. Н. [34] дисковидного безаэродромного ЛА на экранном принципе ЭКИП («Экология и Прогресс»). Дисковидный фюзеляж машины выполняет функции летающего крыла, а уникальная система управления граничным воздушным слоем существенно уменьшает сопротивление среды. Проектная скорость машины должна составлять от 100 до 700 км/ч при высотах от 3 до 11 000 м. С ним схож проект дисколета (США) [119].

Все эти особенности ЭП окажутся полезными при конструировании ВМК.

Моделирование и проектирование советских, российских экранопланов производится на базе системы координат ГОСТ 200058–80, а зарубежных – ISO 1151 (но в ряде случаев с отклонениями от рекомендуемых обозначений осей и величин – что объясняется локальными традициями).

#### **6.3.4. МВП в роли прототипов**

Прототипом режима № 2 ВМК могут служить также режимы работы машин на воздушной подушке (МВП).

Для горизонтального движения МВП, преодоления ими подъемов, а также маневрирования используют различные аэродинамические



средства создания тяги: вентилятор с соплом для создания реактивной тяги, воздушные винты, туннельные винты, турбореактивные двигатели [125].

Воздушный движитель обеспечивает амфибийность МВП, т. е. возможность движения как над водой, так и над твердой опорной поверхностью. Однако этот движитель характеризуется малой отдачей тяги на единицу подведенной мощности.

Для больших скоростей движения эффективна схема скользящего крыла (рис. 6.9). В этой схеме подъемная сила образуется разностью давлений под крылом и над крылом. Машина приводится в движение горизонтальным воздушным винтом. С ростом скорости мощность, потребная для парения машины, уменьшается [125].

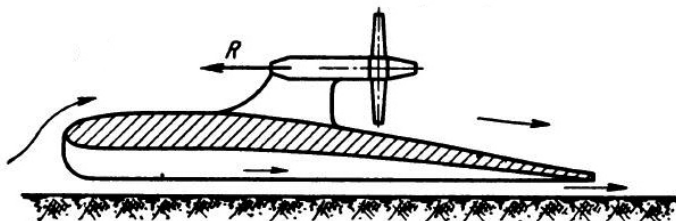


Рис. 6.9. Схема скользящего крыла МВП [125]

По способности совершать боковое движение, осуществлять маневрирование в приземной зоне квантомобиль из совокупности ЛА ближе всего к МВП с динамической воздушной подушкой [22].

В движении судно-МВП можно поворачивать с помощью рулей. Используются также специальные боковые движители – для устранения бокового сноса судна, либо напротив – для движения боком.

Известны конструкции МВП, в которых манёвры на малой скорости выполняются не на основном воздушном винте, а с помощью водомёта, находящегося в днище машины. Водомет способен поворачиваться в разные стороны, так что МВП может двигаться даже боком [82].

При движении МВП над водой на ее поверхности возникает впадина. По мере движения МВП впадина перемещается вместе с машиной, при этом появляется волновое сопротивление. По мере увеличения скорости характер этого сопротивления подвергается изменению: сначала оно растет интенсивно, потом (за скоростью волны) падает [22].

Изменение направления движения МВП, который не имеет непосредственного контакта с поверхностью, следует понимать иначе, чем поворот автомобиля или самолета (рис. 6.10) [22].

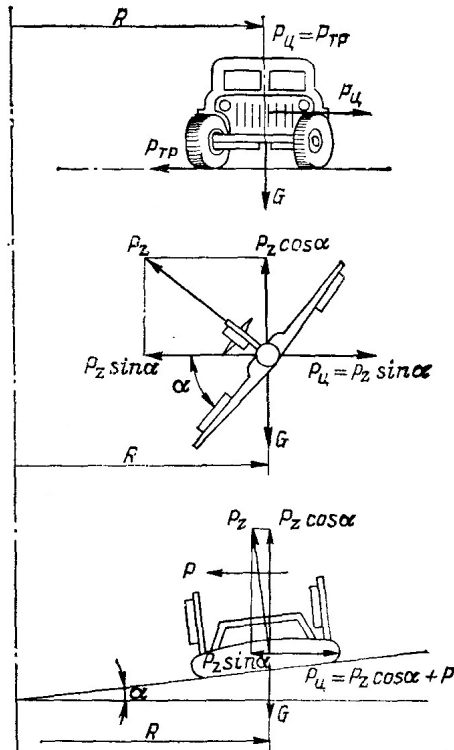


Рис. 6.10. Сравнение сил, влияющих на автомобиль, самолет, МВП в момент поворота (виража) [22]

МВП при повороте оказывается в более сложной ситуации, чем любое другое ТС, так как отсутствуют силы бокового сопротивления. Она не может иметь значительных наклонов в целях удержания равновесия центробежной силы и горизонтальной составляющей подъемной силы. В связи с этим радиус поворота МВП значительно больше, чем радиус поворота автомобиля. Наличие квантовой тяги у ВМК способно нейтрализовать частично или полностью центробежные силы, устранив нежелательное боковое скольжение.

Торможение МВП также осуществляется сложнее, чем у колесных машин. Это вызвано отсутствием тормозного контакта с поверхностью: сила, тормозящая движение МВП, есть сила реакции потока воздуха, действующего по направлению движения. В экстренных случаях возможно торможение путем соприкосновения днища машины с землей или водой. В нормальных же условиях МВП должна обладать способностью тормозиться при помощи автономных устройств.

Одной из проблем МВП является придание им поперечной и продольной остойчивости, как статической, так и динамической во всех режимах движения. Приведем здесь сведения по боковой стабилизации судна на воздушной подушке (СВП). Для нормальной статической остойчивости любой машины сумма моментов сил, действующих на неё, должна быть равна нулю.

В общем случае ММ СВП представляет собой систему нелинейных ДУ. При описании бокового движения СВП используются Полусвязанная и Связанная системы координат (рис. 6.11). По рис. 6.11 видим, что использована левая СК. СВП имеет шесть степеней свободы, однако влияние динамики по дифференту и высоте центра масс на боковое движение МВП незначительно [108].

Поэтому для анализа бокового движения СВП используют систему четырех уравнений [108]:

$$m \left( \frac{dV_x}{dt} + \omega_y V_z \right) = F_x(V, \beta, \vartheta, \omega_y, \delta, V_B, \xi_w, h_{MB}, \xi_{MB}, t),$$

$$m \left( \frac{dV_z}{dt} - \omega_y V_x \right) = F_z(V, \beta, \vartheta, \omega_y, \delta, V_B, \xi_w, h_{MB}, \xi_{MB}, t),$$

$$J_x \frac{d\omega_x}{dt} = M_x(V, \beta, \vartheta, \omega_y, \delta, V_B, \xi_w, h_{MB}, \xi_{MB}, t),$$

$$J_y \frac{d\omega_y}{dt} = M_y(V, \beta, \vartheta, \omega_y, \delta, V_B, \xi_w, h_{MB}, \xi_{MB}, t),$$

где  $m, J_x, J_y$  – масса и моменты инерции СВП по соответствующим осям;  $V, V_x, V_z$  – скорость судна и ее проекции;  $\omega_x, \omega_y$  – угловые скорости вращения;  $\beta, \theta, \delta$  – соответственно, углы дрейфа, крена и перекладки аэроуруля;  $v_B, \xi_B$  – скорость ветра и угол встречи ветра с корпусом судна;  $h_{MB}, \xi_{MB}$  – высота волны 3 %-й обеспеченности и угол волнового склона;  $F_x, F_z, M_x, M_y$  – суммарные силы и моменты, действующие на СВП: гидродинамические, аэродинамические, импульсные силы и моменты, а также силы и моменты от средств управления движением (вертикальные и горизонтальные аэроурули, другое), а также силы и моменты от волнового воздействия.

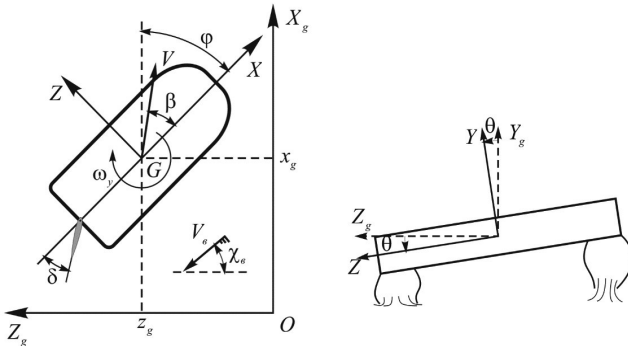


Рис. 6.11. Системы координат при описании бокового движения СВП [108]

Решение рассмотренной системы ДУ относительно силы  $F_z$  можно использовать для определения боковой составляющей траста КвД ВМК, противостоящей центробежной силе экипажа при движении по дуге поворота.

Отметим использование при моделировании движения МВП (как в приведенной схеме на рис. 6.11) левых СК, да ещё и с вверх направленной осью  $Z$ .

### 6.3.5. Околоземное частично-вывешенное движение – режим 3 в среде воздух-земля

Одним прототипом режима 3 может являться *STOL (Short Take-off and Landing)* – коротко-дистанционный взлет и посадка [107]). Разбег самолета для взлета можно представить схемой рис. 6.12.

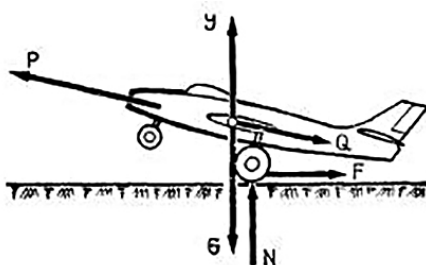


Рис. 6.12. Схема сил, действующих на самолет при разбеге [107]

В процессе разбега скорость самолета увеличивается от 0 до скорости отрыва.

На самолет при разбеге действуют следующие силы (см. рис. 6.12): сила тяги двигательной установки  $P$ ; сила веса самолета  $G$ ; подъемная сила  $Y$  ( $0 \leq Y \leq G$ ); сила лобового сопротивления  $Q$ ; нормальная сила реакции земли  $N$  ( $G \geq N \geq 0$ ); сила трения пневматиков о грунт  $F$ .

В то время как самолет не может висеть в воздухе без горизонтального движения, вертолет это осуществляет. Прототипом вертикального траста квантовой тяги ВМК является вертикальная тяга несущего винта вертолета. Поэтому другим прототипом режима 3 может служить *VTOL* (*Vertical Takeoff and Landing* – вертикальный взлет и посадка вертолета [147, 164]). Для самолетных конструкций он тоже встречается (в двух вариантах старта: либо в вертикальном положении экипажа, либо, реже, – в горизонтальном) [10–11, 107, 168, 234].

Отметим, однако, что набор высоты по вертикали является для вертолета тяжелым режимом, поскольку: 1) тяга несущего винта, кроме веса вертолета, должна преодолевать еще и сопротивление фюзеляжа при обдуве его потоком сверху вниз; 2) винт при вертикальном наборе высоты развивает из-за отсутствия горизонтального обдува в плоскости вращения винта наименьшую тягу при затрате на него номинальной мощности [112].

ВМК будет лишен этих недостатков.

#### 6.4. Наземное движение – режим 4 в среде земля-воздух

Режим 4 аналитически проще режима 3 (в котором затронутые выше варианты движения *STOL* и *VTOL* требуют, при изменении высоты, описания меняющегося влияния земли, изменения аэродинамики убирающегося шасси и выдвигающегося оперения для предстоящего режима квантолета).

Основная опора – грунт, дорога; квантомобиль вынужден, кроме сопротивления дороги, преодолевать воздушное сопротивление.

Режим 4 – режим движения классических наземных ТС: автомобиля, ж.д. поезда, других средств – с хорошо отработанной за столетие теорией. Однако при переходе к ВМК уместна коррекция отдельных положений утвердившейся теории.

Примером может служить обсуждаемая в литературе модернизация использования уравнения движения автомобиля, предложенная Мамити Г. И. [88], заключающаяся в учете продольного

опрокидывающего момента. Если для автомобилей с их эксплуатационными скоростями этот учет – маловажен, то для квантомобилей с возможно высокими скоростями и вывешиванием над опорной поверхностью (ОП) это становится актуальным. Названный момент в диапазоне эксплуатационных скоростей не существенен для автомобиля (поскольку практически бездифферентно отражается дорогой), то для вывешенного квантомобиля возникающий от момента дифферент становится значимым (влияет и на подъемную силу, и на устойчивость).

Моделей исследования динамики движения автомобиля наработано со времени Чудакова Е. А. огромное количество, с большим разнообразием используемых СК. Приведем одну из недавних моделей. В работе Иванникова С. В. и др. [41] упруго-массовая модель автомобиля принимается в виде системы пяти тел, которые соответствует кузову, соединенному с четырьмя колесами упругими безмассовыми элементами и демпферами.

Кузов рассматривается как свободное твердое тело и имеет шесть вариаций обобщенных координат  $\delta x_c, \delta y_c, \delta z_c, \delta \psi, \delta \phi, \delta \alpha$ .

В работе [41] использована правая СК (ось  $X$  по ходу ТС,  $Y$  на левый борт,  $Z$  – вверх; положительное направление вращения вокруг осей – по часовой стрелке). Но можно привести пример моделирования ТС также правой СК, но ось  $X$  – в бок (рис. 6.13) [130].



Рис. 6.13. Система координат, используемая для *API*-датчика [130]

В соответствии с со стандартом ISO 8855:2011 «Транспорт дорожный. Динамика транспортных средств и курсовая устойчивость. Словарь», ось  $X$  – это продольная ось автомобиля, которая всегда направлена вперед. Ось  $Y$  – это поперечная ось автомобиля, которая направлена влево от автомобиля. Ось  $Z$  автомобиля направлена вверх (рис. 6.14) [96].

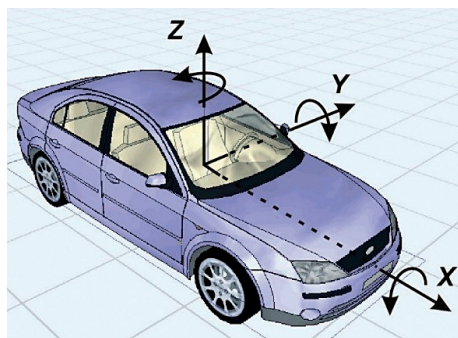


Рис. 6.14. СК, используемая при исследовании динамики ТС по ISO 8855:2011 [96]

В иностранной литературе по реконструкции обстоятельств ДТП для системы координат автомобиля часто используется стандарт Сообщества автомобильных инженеров (англ. *Society of Automotive Engineers, SAE*) *SAE J670*, согласно которому поперечная ось автомобиля  $Y$  направлена вправо от автомобиля, а вертикальная ось автомобиля  $Z$  направлена вниз, как показано на рис. 6.15.

Стремясь обеспечить многообразные потребности моделирования различных мобильных объектов транспортной сферы продвинутые ППП стали обеспечивать начальную настройку СК из множества возможных вариантов. Например, ППП *MatLab-Simulink*. На рис. 6.16 приведена рекомендуемая в этом ППП инерциальная



(*Inertial*) СК (здесь, в рамках Ньютонской, классической физики совпадающая с Земной (*Earth-Fixed*)) СК [237] – для моделей АТС.

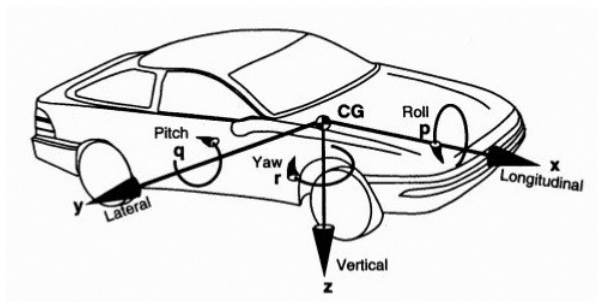


Рис. 6.15. Система координат автомобиля SAE J670

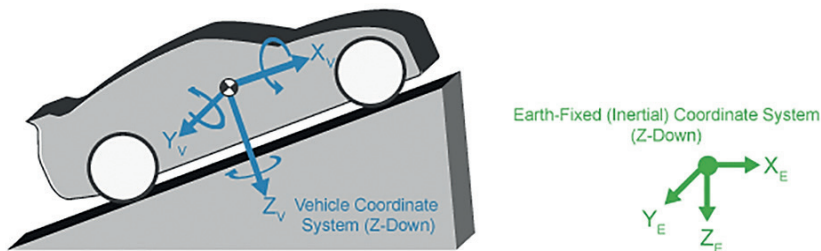


Рис. 6.16. Системы координат ППП *MatLab-Simulink 2020b*

Опыт моделирования движения железнодорожных ТС также может быть использован при прототипировании режима № 4 квантомобиля. Кстати, использование 3D-квантовой тяги на локомотивах (квантовозах) может генерировать боковую составляющую траста, уравновешивающую центробежную силу на поворотах ж.д. пути, компенсируя невязки (в контексте боковой устойчивости) между неизменным углом виража и мгновенной скорости движения поезда.

В этой сфере наблюдаем разнообразие используемых СК.

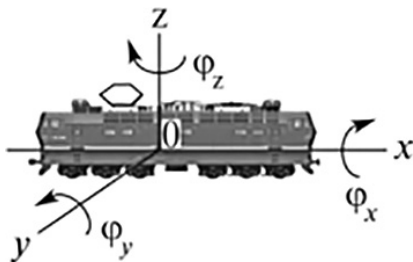


Рис. 6.17. СК модели колебаний тепловоза [46]

Например, в работе [94] для описания динамики движения тепловоза как 9-массовой системы по участкам пути произвольного очертания выбрана неподвижная система координат, а для каждого твердого тела – по две подвижные СК: естественная  $Oxyz$  и связанная с твердым телом. Все системы координат приняты правыми, причем боковые оси направлены на правый борт, а вертикальные – вниз; направление вращения вокруг осей – по часовой стрелке. В работе же [46] используется Левая СК (рис. 6.17).

### 6.5. Движение по мелководью – режимы 5 и 6 в среде воздух-земля-вода

Из этих двух вариантов режим 6 обладает бóльшим сопротивлением движению, поскольку подключающееся сопротивление смоченной части корпуса до ватерлинии (и увлекающей за собой массу воды) больше, нежели уменьшающееся при этом сопротивления качению колес по дну мелководья (с уменьшающейся нагрузкой на опорные колеса).

Модели движения экипажа на этих режимах должны учитывать одновременно меняющиеся с углублением сопротивления воздуха, подводного грунта и воды (что усложняет модели).

В режиме №6 появляется Архимедова сила поддержания экипажа снизу  $F_L$  (рис. 6.18 [236]), а с ней возникновение проблемы остойчивости [45].

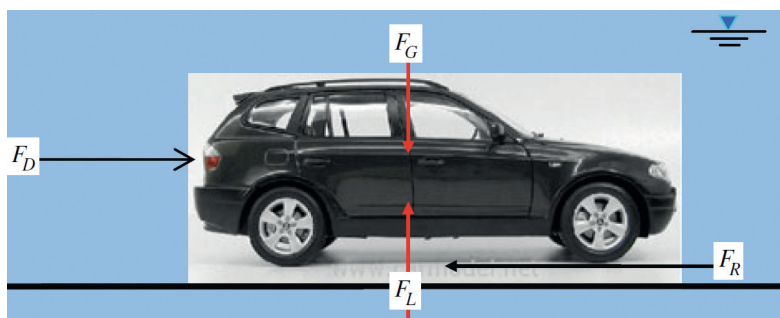


Рис. 6.18. Схема сил, действующих при движении притопленного экипажа [236]:  $F_G$  – сила тяжести;  $F_L$  – подъемная сила (лифт);  $F_D$  – сила тяги;  $F_R$  – сила сопротивления

Оттолкнувшись от этой схемы притапливания автомобиля [236], автор сформировал схему притапливания квантомобиля [66] – см. рис. 6.19.

Существующие машины-амфибии имеют недостатки: у машин с гребными винтами – низкая эффективность при большой осадке, высокий риск повреждения, вибрация и кавитация винта; у машин с водометным движителем – низкие эффективность движителя и приемистость экипажа [45]. Квантовый траст избавит от этих недостатков, совокупность же нескольких КвД повысит устойчивость.

Для качественной оценки сопротивления воды движению притопленного экипажа можно воспользоваться результатами исследования инверсной модели – омыванию стоящего притопленного экипажа потоком движущейся воды.

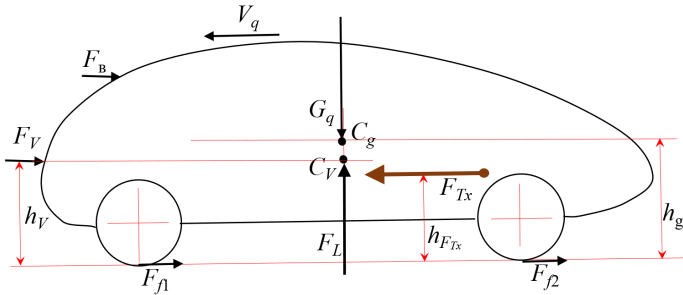


Рис. 6.19. Схема сил, действующих при равномерном движении притопленного экипажа:  $V_q$  – вектор скорости движения;  $F_{Tx}$  – сила тяги;  $G_q$  – сила тяжести;  $F_B$ ,  $F_V$ ,  $F_{л1}$  и  $F_{л2}$  – сила сопротивления движению со стороны воздуха, воды, передних и задних колес, соответственно;  $F_L$  – сила лифта;  $C_g$  – центр тяжести;  $C_V$  – центр объема погруженной части квантомобиля;  $h_v$ ,  $h_g$ ,  $h_{FTx}$  – расстояния векторов соответствующих сил от опорной поверхности [66]

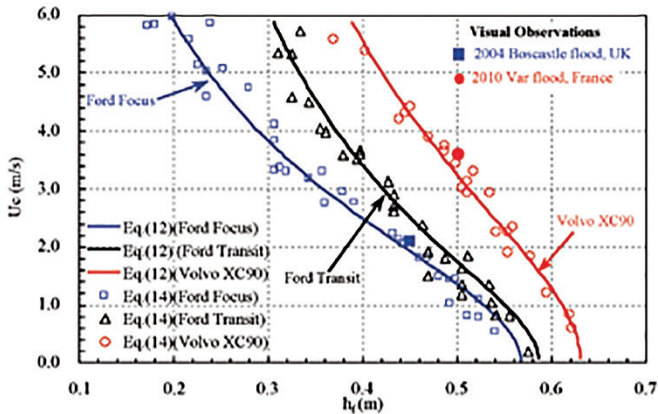


Рис. 6.20. Семейство кривых потери сцепления колес стоящего легкового автомобиля с грунтом (дорогой) при затоплении местности на глубину  $h_r$  (м) потоком воды, движущимся со скоростью  $U_c$  (м/с) [181]

На рис. 6.20 приведен график зависимости критической скорости потока  $U_c$ , омывающего стоящий притопленный на глубину  $h_r(m)$  автомобиль, при которой происходит срыв сцепления колес с грунтом (начинается увлечение автомобиля потоком) [181]. Очевидно, это соответствует предельной скорости движения частично затопленного автомобиля, перемещающегося в стоячей воде, выше которой начинается значительное проскальзывание колес (теряется сцепление колес с грунтом). Это может учитываться при рассмотрении ситуаций с ВМК.

### 6.6. Движение на плаву – режим 7 (надводного судна), среда воздух-вода

В теории корабля в зависимости от характера решаемых задач принимают различные системы координат. В статике используется Связанная левая система с началом в точке пересечения трех взаимно перпендикулярных плоскостей: основной, диаметральной и плоскости мидель-шпангоута, с осью  $OZ$ , направленной вверх (рис. 6.21) [105].

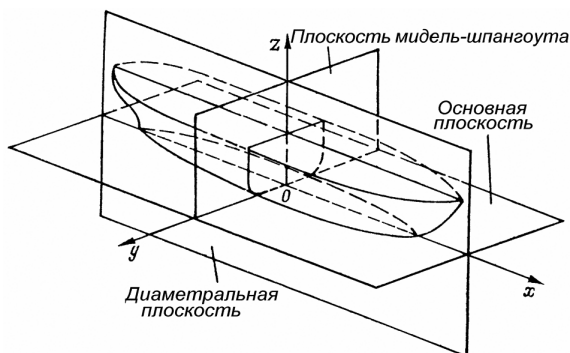


Рис. 6.21. Левая СК, используемая в исследованиях статики корабля [105]

Используется также Полусвязанная левая СК с началом в той же точке  $O$ , но с осью  $OY_0$ , повернутой относительно оси  $OY$ .

Динамические модели используют, как правило, правые СК. Они могут быть с осью  $OZ$ , направленной вниз, осью  $OY$  на правый борт – как на рис. 22, а [238]. Но могут быть с осью  $OZ$ , направленной вверх, а осью  $OY$  на левый борт – как на рис. 22, б [239].

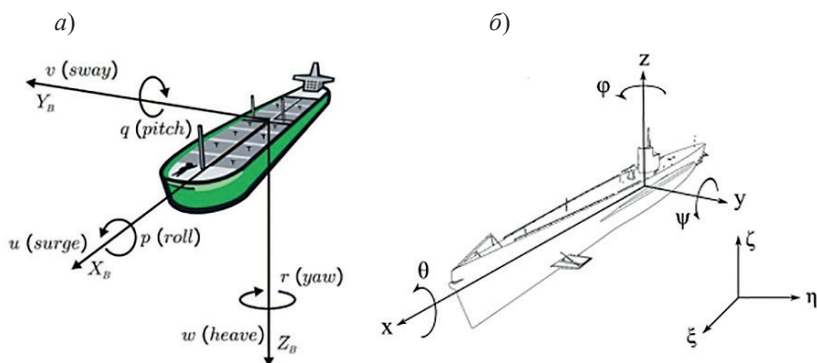


Рис. 6.22. Системы Координат моделей движения судна: а) ось  $OZ$  вниз,  $OY$  на правый борт [238]; б) ось  $OZ$  вверх,  $OY$  на левый борт [239]

Ряд всевозможных СК, используемых для исследования динамики судна, довольно широк.

Для определения посадки и движения корабля применяются следующие системы координат [26]: 1) неподвижная СК; 2) неподвижная гидромеханическая СК; 3) связанная с корпусом СК; 4) первая полусвязанная СК; 5) связанная с корпусом геометрическая СК; 6) вторая полусвязанная с корпусом геометрическая СК; 7) вспомогательная вторая полусвязанная СК.

*Сопrotивление воды движению судна.* Движущееся судно приводит в движение массы окружающей воды и испытывает при этом реакцию со стороны воды в виде гидродинамических сил, действующих на смоченную поверхность корпуса. Эти

силы приводят к силе  $F_{гд}$ , приложенной в центре тяжести судна (в точке  $G$ ) или в любом другом центре приведения, и к паре сил с моментом  $M_{гд}$ , равном главному моменту гидродинамических сил относительно ЦТ (рис. 6.23) [19].

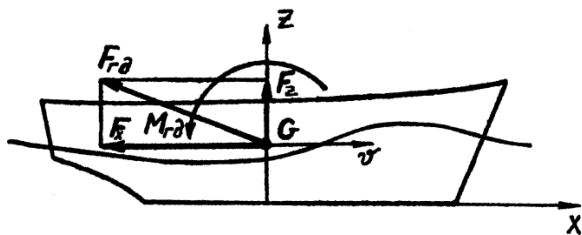


Рис. 6.23. Схема действия гидродинамических сил и моментов при движении судна [19]

Составляющая  $F_x$  гидродинамической силы  $F_{гд}$ , направленная противоположно скорости  $v$  движения ЦТ судна, представляет сопротивление воды движению судна. Составляющая  $F_z$ , направленная по нормали к скорости  $v$ , является подъемной силой – это гидродинамическая сила поддержания. Для водоизмещающих судов она мала.

Сопротивление воды зависит от скорости судна, формы, размеров и состояния наружной поверхности корпуса, от количества, формы и расположения на ней выступающих деталей и вырезов, а также от эксплуатационных факторов (наличия волнения моря, ограниченности фарватера и др.)

При расчетах полагают также, что судно движется с нулевыми углами атаки и дрейфа, и при совпадении вектора скорости с ДП. Наличие углов атаки и дрейфа в пределах  $\pm 3^\circ$  не вызывает заметного увеличения сопротивления [19].

При изучении и расчетном определении сопротивление воды условно разделяется на составляющие, которые предполагают независимыми друг от друга (рис. 6.24). При таком разделении составляющие

сопротивления увязываются с направлениями составляющих поверхностных гидродинамических сил (касательных и нормальных) и с основными физическими свойствами воды (вязкость и весомость). В соответствии с этим сила сопротивления воды движению судна [19]:  $R = R_T + R_d$ , где  $R_T$  – сопротивление трения ( $R_T = \int_{\Omega} \tau \cos(\tau, x) d\Omega$ );  $R_d$  – сопротивление давления ( $R_d = \int_{\Omega} p \cos(p, x) d\Omega$ ).

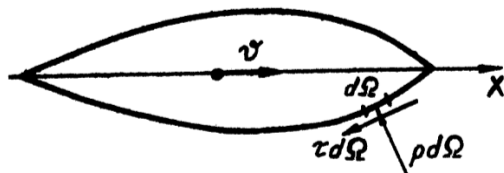


Рис. 6.24. Гидродинамические силы, действующие на элементарную площадку подводной поверхности судна  $d\Omega$  [19]

Сила трения  $R_T$  обусловлена касательными силами, которые зависят от свойств вязкости (от числа Рейнольдса). Силы давления состоят из двух составляющих. Одна из них – сила вязкостной природы, зависящая от числа Рейнольдса, является *сопротивлением формы*  $R_\phi$ . Другая составляющая силы давления, зависящая от сил гравитации, т. е. от числа Фруда, определяет *волновое сопротивление*  $R_w$  [19].

В литературе [18, 19] отмечается, что определение всех составляющих сопротивления воды движению судна теоретическим путем представляет большие трудности, главным образом из-за сложности обводов корпуса (что, естественно, будет присуще и ВМК, особенно на ранних стадиях исследования и проектирования). В связи с этим широко используется экспериментальная оценка сопротивления по результатам испытаний моделей судов. При пересчете результатов модельных испытаний на натурное судно пользуются гипотезой Фруда, который предложил разделять



сопротивление воды на *сопротивление трения*  $R_T$  и *остаточное сопротивление*  $R_o$  [36], т. е.

$$R = R_T + R_\phi + R_B = R_T + R_o.$$

Видим, что остаточное сопротивление при таком подходе представляет собой сумму сопротивления формы и волнового сопротивления, т. е. сумму сил разной природы. Тем не менее, метод Фруда в разделении и перерасчете сопротивления получил широкое распространение при экспериментальных работах и в расчетной практике, благодаря своей простоте и приемлемой точности конечных результатов [36].

В подводной части корпуса судна имеются выступающие части, которые создают дополнительное *сопротивление выступающих частей*  $R_{вч}$ .

Часть судна движется в воздушной среде. Поэтому для него полное сопротивление включает также *воздушное (аэродинамическое) сопротивление*  $R_{возд}$  надводной части судна, которое по своей природе является вязкостным. При движении судна в безветренную погоду доля  $R_{возд}$  – невелика по сравнению с сопротивлением воды (плотность воздуха в 800 раз меньше плотности воды) – ею пренебрегают. При наличии ветра  $R_{возд}$  возрастает, в этом случае ее учитывают [19].

Таким образом, в развернутой форме полное сопротивление судна может быть представлено в виде следующей суммы его отдельных составляющих [19]:

$$R = R_T + R_\phi + R_B + R_{вч} + R_{возд}.$$

В соответствии с общей формулой для гидродинамических сил, сопротивление воды движению судна представляют и таким образом:

$$R = 0,5 \zeta \rho v^2 \Omega = 0,5 (\zeta_T + \zeta_\phi + \zeta_B + \zeta_{вч}) \rho v^2 \Omega,$$

где  $\zeta$  – безразмерный коэффициент полного сопротивления;

$\zeta_T$  – коэффициент сопротивления трения;

$\zeta_{\text{ф}}$  – коэффициент сопротивления формы;  
 $\zeta_{\text{в}}$  – коэффициент волнового сопротивления;  
 $\zeta_{\text{вч}}$  – коэффициент сопротивления выступающих частей;  
 $\rho$  – плотность воды;  
 $\Omega$  – площадь смоченной поверхности корпуса судна.

Сопротивление трения судна – результирующая сила, обусловленная касательными напряжениями на смоченной поверхности корпуса, в проекции на направление  $v$  скорости судна. При определении сопротивления трения судна его разделяют на сопротивление трения гидродинамической гладкой поверхности корпуса  $R_{\text{гп}}$  и сопротивление, обусловленное его шероховатостью  $R_{\text{ш}}$  [19].

$$R_{\text{т}} = R_{\text{гп}} + R_{\text{ш}} = 0,5 (\zeta_{\text{гп}} + \zeta_{\text{ш}}) \rho v^2 \Omega.$$

Сопротивление формы – составляющая полного сопротивления, которая обусловлена превышением силы суммарного гидродинамического давления на носовую смоченную поверхность корпуса судна по сравнению с кормовой – за счет влияния вязкости воды.

Волновое сопротивление – вызывается волнами, возникающими при движении судна. Волнообразование обусловлено в основном весомостью воды и мало зависит от ее вязкости. При движении гидродинамическое давление в оконечностях судна выше, чем давление в средней невозмущенной области. Это является причиной деформации свободной поверхности воды – в районе носа и кормы повышенное давление вызывает местное повышение уровня воды. Такая деформация дает начало колебаниям воды под действием сил тяжести – возникают волны двух групп – носовой и кормовой [19].

Выступающие части (детали, выходящие за пределы плавных очертаний смоченной поверхности корпуса судна – гребные валы с кронштейнами, вертикальные и скуловые кили и т. п.) оказывают существенное сопротивление движению. Сопротивление выступающих частей считают вязкостным. Его определяют по формуле [19]:

$$R_{\text{вч}} = 0,5 \zeta_{\text{вч}} \rho v^2 \Omega.$$

Отметим, что судовые движители к выступающим частям не относят, поскольку их сопротивление учитывается при расчете создаваемого ими упора. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании ВМК.

Проекция аэродинамической силы  $R_a$  на направление движения судна представляет собой воздушное сопротивление  $R_{\text{возд}}$ , которое определяется по формуле [19]:

$$R_{\text{возд}} = 0,5 \zeta_{\text{возд}} \rho_v v_v^2 S_{\otimes},$$

где  $\zeta_{\text{возд}}$  – коэффициент воздушного сопротивления;  $\rho_v$  – плотность воздуха;  $S_{\otimes}$  – площадь проекции надводной части судна на плоскость мидель-шпангоута;  $v_v$  – скорость обтекания воздухом надводной части судна.

В тихую погоду воздушное сопротивление составляет 1,5–3,0 % полного, при ветре в 4–5 баллов оно может достигать 10–15 %, а при сильном шторме – 30–40 % [19].

Из преимуществ, связанных с внедрением КвД, можно назвать возможность искусственного создания продольного дифферента судна (для повышения быстроходности), а также реализацию реверса хода.

## 6.7. Режимы 8–10 (режимы квантомарины)

Подводная лодка (ПЛ) перемещается в воде подобно ЛА в воздухе, в смысле преодоления сопротивления среды. Однако существенная разность физических параметров сред (плотность, вязкость и другое) вносит разницу в конструктивное воплощение, моделирование и другие аспекты существования и использования этого вида ТС. Практика использования законов гидродинамики несколько отличаются от таковой для законов аэродинамики.

Сравнительно небольшая плотность и вязкость воздуха позволяет развивать высокие скорости с формированием подъемной силы, соразмерной весу ЛА. Сопротивление движению при этом, как пра-

вило, представляют посредством обобщенного аэродинамического коэффициента (формы, профиля).

При моделировании движения ПЛ (впрочем, и надводных судов) использование подобных гидродинамических коэффициентов также возможно, но в продвинутых ММ предпочитают использовать системы ДУ, часть из которых представляет так называемую «присоединенную массу», т. е. жидкость, вовлекаемую в движение судна. Эта разница в подходах объясняется тем, что масса увлекаемой воды соразмерна с массой морского судна, в то время как масса увлекаемого воздуха на порядки меньше массы воздушного экипажа. Возможная подъемная гидродинамическая сила подлодки – гораздо ниже веса этого экипажа. Поэтому подъем (и спуск) ПЛ осуществляется в основном за счет изменения массы балластной воды.

Представим главные плоскости и оси СК ПЛ (рис. 6.25 [23]). Заметим, что здесь это левая СК.

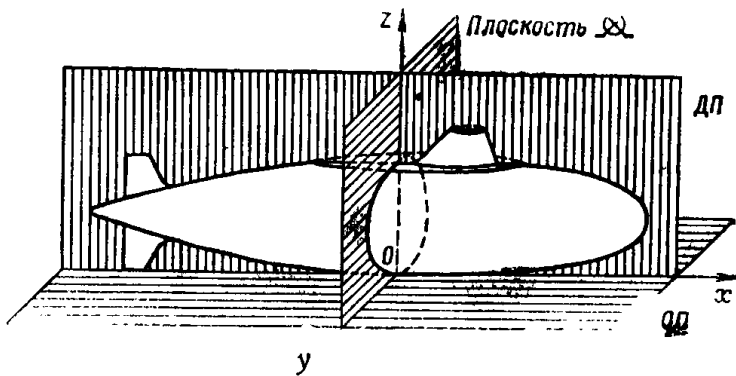


Рис. 6.25. Главные плоскости и оси СК подводной лодки [23]

Следует отметить отличие систем координат, привлекаемых различными исследователями для задач динамики подводных и надводных аппаратов (ПА и НА).

Вплоть до настоящего времени в отечественной литературе не существует единой общепринятой СК, используемой в задачах динамики ПА. При этом различными авторами используются как левые, так и правые системы, варьируется и положение начала координат. Это создает сложности при сравнении постановок и результатов исследований разных авторов [97].

Например, для описания динамики надводных объектов в России во многих проектах используют СК, в которой ось  $z$  направлена вверх, а  $y$  – на правый борт [97]. Эта СК – левая, положительное направление изменения углов принимается по часовой стрелке. В ряде зарубежных работ используется правая СК в которой ось  $z$  направлена вверх, а ось  $y$  – на левый борт, а при численном моделировании ПА часто используется СК, в которой ось  $x$  направлена назад, ось  $z$  – вверх, а  $y$  – на правый борт (т. е. правая). В разных странах применяются разные СК для одних и тех же типов ПЛ.

Попытка формирования универсальной СК, применимой для любых задач динамики ПА и НА, была произведена в еще 1950 г. обществом *SNAME* [216]. Результатом стало появление правой СК, широко используемой в зарубежной литературе (см. рис. 6.26, б), однако мало распространенной в нашей стране [97].

В работе [97] производится сравнение СК (т. н. корабельной), наиболее применяемой в отечественных исследованиях (см. рис. 6.26, а), с системой *SNAME* (рис. 6.26, б); приводятся уравнения движения подлодки в двух этих системах, а также зависимости для пересчета результатов из одной системы в другую. Показано, что преимуществом системы *SNAME* является ее универсальность и более удобный отсчет изменения углов поворотов относительно осей (углов Эйлера).

В надводном положении (ему соответствует режим № 8 ВМК) сопротивление движению ПЛ определяется аналогично надводному кораблю и складывается из следующих сил:

- сопротивление трения (у ВМК присутствует);
- сопротивление формы (для ВМК актуально);

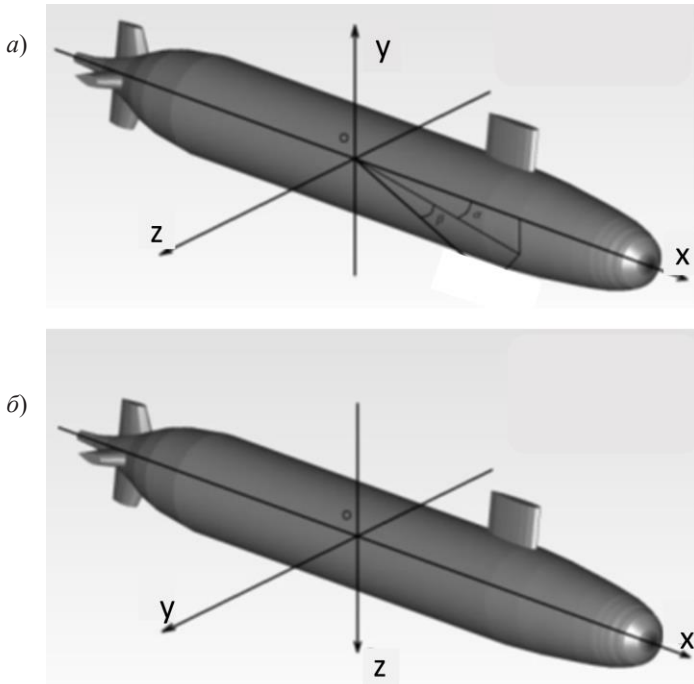


Рис. 6.26. СК моделей подводных лодок [97, 216]:  
а – корабельная отечественная СК;  
б – система координат *SNAME*

- волновое сопротивление – возникает как результат перераспределения давления при обтекании корпуса подводной лодки водой и образования при ее движении корабельных волн (для ВМК актуально);
- сопротивление выступающих частей (стабилизаторы, рули, гребные валы, кронштейны, различные наделки корпуса и др.) (для ВМК актуально);
- воздушное сопротивление – аэродинамическое сопротивление – действующее на надводную часть ПЛ при ее движении

в надводном положении (составляет для ПЛ 1,5–2 % общего сопротивления) (у ВМК присутствует).

В подводном положении при погружении до 0,3–0,5 длины корпуса ПЛ (режим № 9 ВМК) из состава вышеперечисленных сил исчезает воздушное сопротивление, а волновое сопротивление с заглублением уменьшается (у ВМК сходная картина).

При погружении более 0,3–0,5 длины корпуса ПЛ (режим № 10 ВМК) волнообразование и волновое сопротивление исчезают (у ВМК также).

На подводную лодку, двигающуюся в подводном положении, действуют статические и гидродинамические силы.

К статическим силам относятся сила тяжести  $P$  и равная ей по величине, но противоположно направленная сила плавучести  $D$ . При дифференте эти силы образуют пару, которая создает восстанавливающий момент продольной статической остойчивости. Кроме того, из-за неудифферентованности, всегда имеющей место, на ПЛ действуют сила остаточной плавучести  $Q$  и избыточный дифферентующий момент  $\Delta M$  [23].

В надводном положении ПЛ имеет определенный вес  $P$ . ПЛ уходит под воду вследствие топящей силы горизонтальных рулей. В надводном положении ПЛ силы поддержания  $F$  равны весу  $P$ . При движении ПЛ на ее рули действует сила давления воды  $f$ , которую можно разложить на вертикальную  $f_1$  и горизонтальную  $f_2$  составляющие. Составляющая  $f_2$  всегда направлена против движения ПЛ и уменьшает ее скорость, составляющая  $f_1$  при погружении ПЛ направлена вниз и совпадает с весом  $P$ . Силу  $f_1$  называют топящей силой. Если сумма сил  $P$  и  $f_1$  окажется больше  $F$ , ПЛ начнет погружаться и будет перемещаться вниз до тех пор, пока сумма сил  $P$  и  $f_1$  не станет равной силе поддержания  $F$ . Когда  $P + f_1$  равно  $F$ , ПЛ перестанет погружаться и будет идти в подводном положении горизонтально.

Погружающая сила при движении ПЛ равна разности между равнодействующей (суммой) сил  $P$  и  $f_1$  и силой поддержания  $F$ . Значит:

$$f_{\text{погр}} = (P + f_1) - F = (P - F) + f_1.$$

Сила поддержания  $F$  постепенно возрастает по мере погружения ПЛ, а затем становится постоянной, но всегда больше веса ПЛ  $P$ . Поэтому разность  $(P - F)$  может быть только отрицательной величиной. Эта разность представляет собой подъемную силу ПЛ, которая направлена всегда вверх, стремится «вытолкнуть» ПЛ на поверхность воды и численно равна  $f_{\text{под}} = F - P$ . Величина подъемной силы является постоянной для данной ПЛ. Следовательно, погружающая сила равна разности между топящей силой обоих горизонтальных рулей и подъемной силой ПЛ [23]:

$$f_{\text{погр}} = f_1 - f_{\text{под}}$$

К гидродинамическим силам относятся сила тяги гребных винтов и гидродинамические силы, зависящие от угла атаки и углов перекладки горизонтальных рулей.

В соответствии с [26, 109] силы и моменты делят на три категории: массовые – силы веса и плавучести; реактивные – силы тяги гребных винтов и других видов движителей; гидродинамические – силы воздействия жидкости на корпус ПЛ при ее поступательном и вращательном движении.

К массовым силам, действующим на ПЛ, относятся силы веса и силы плавучести. Равнодействующая сил веса приложена в центре тяжести ПЛ, равнодействующая сил плавучести – в центре величины. В случае статической уравновешенности лодки эти силы равны по величине и противоположны по направлению, что и выражается уравнением плавучести  $D = \gamma V$ .

В силу веса входит составной частью вес балластной воды (ВБВ). В случае квантомарины при наличии вертикальной составляющей траста  $F_{Tz}$  ВБВ может быть частично или полностью заменен этой составляющей траста.

Одной из основных сил, действующих на корпус ПЛ при ее движении, является реактивная сила движителя. В качестве основного движителя современные ПЛ имеют гребной винт.

В случае квантомарины тяга гребного винта заменяется тягой КВД.



Силы инерционной природы обусловлены инерцией масс ПЛ и окружающей ее жидкости, увлекаемой в движение.

В случае квантомарины масса ПЛ уменьшается за счет устранения балластной воды и фрагментов конструкции для содержания этой воды – что положительно отразится на ходкости, маневренности и энергетике ПЛ.

Гидродинамические силы инерционной природы являются составляющей гидродинамической реакции воды при неустановившемся движении подводной лодки и определяются на основании теорем динамики идеальной жидкости [97, 109].

Присоединенная масса представляет собой фиктивную массу, которая, двигаясь со скоростью тела, обладает количеством движения окружающей тело жидкости [97].

В случае квантомарины, благодаря устранению емкостей для балластной воды (а тогда, возможно, и легкого корпуса) появится возможность уменьшения диаметра и объема ПЛ, что положительно отразится на массе окружающей жидкости, увлекаемой в движение, и картине взаимодействия ПЛ и среды. Аналитическая модель ПЛ претерпит изменения – с этими изменениями она унаследуется в ВМК.

В работе [97] показано, что все присоединенные массы образуют собой тензор второго ранга (базирующийся на 36 коэффициентах), с этим тензором удобнее работать в системе *SNAME* [216].

Управляемость ПЛ в горизонтальной плоскости складывается из удержания ее на курсе и поворотливости. Эти свойства обеспечиваются перекладкой вертикального руля. Управляемость ПЛ в вертикальной плоскости обеспечивается перекладкой горизонтального руля [23].

Горизонтальные и вертикальные рули могут наличествовать и в конструкции ВМК, но могут быть заменены квантовыми трастерами [66]. Последний вариант даже предпочтительнее, с точки зрения маневрирования на малой скорости (когда механические рули малоэффективны) или на месте (если использовать пары трастеров, установленных в носу и корме ПЛ).

В большинстве простейших случаев для построения траектории движения ПЛ используются две СК: неподвижная и связанная [109]. Неподвижная СК определяет положение центра тяжести (ЦТ) ПЛ в пространстве, связанная система – положение лодки относительно ЦТ.

Положение ПЛ в пространстве относительно начала неподвижной СК определяется тремя углами: дифферента  $\psi$ , курса  $\varphi$  и крена  $\theta$  и тремя координатами ЦТ ПЛ: продольное смещение  $\xi$ , глубина погружения относительно свободной поверхности  $\eta$ , боковое смещение  $\zeta$ ; последние три, в свою очередь, зависят от углов атаки и дрейфа.

Таким образом, для характеристики движения ПЛ достаточно рассматривать пять угловых координат: угол атаки  $\alpha$ , угол дрейфа  $\beta$ , угол дифферента  $\psi$ , угол курса  $\varphi$ , угол крена  $\theta$ . Для построения траектории движения необходимо знать линейные координаты ЦТ ПЛ в неподвижной СК:  $\xi$ ,  $\eta$  и  $\zeta$  [109].

Всё приведенное о траекторных построениях для ПЛ останется непреложным и для ВМК в режиме квантомарины.

### **6.8. Освоение наследуемых особенностей существующих ТС и их моделей в концепте ВМК**

Обобщение проведенного анализа особенностей существующих ТС и их моделей, в контексте реализации и/или видоизменения их в ВМК, приведем в виде табл. 6.2.

Таблица 6.2

**Фиксация и изменение наследуемых свойств,  
реализующих режимы движения ВМК**

№	Движение ВМК	Среда	Наследование свойства
1	Продольно-вертикальное	Воздух	От самолета: аэродинамичная форма ВМК, выдвижные крылья и воздушные рули, убирающиеся шасси; горизонтальная тяга движителя заменяется горизонтальной составляющей траста ВМК. Подъемная сила наращается вертикальной составляющей траста КвД. От вертолѐта: формирование наклонной 3D-тяги (несущего винта), реализуемой у ВМК 3D-трастом
2	Продольное граничное, полностью вывешенное	Воздух	От МВП: схемы создания продольной, боковой тяги и поворотливости, заменяющие силы, обеспечиваемые у МВП вентиляторами, воздушными и туннельными винтами, турбореактивными движителями; использование схемы скользящего крыла; обеспечение амфибийности (движения как над водой, так и над землей)
3	Продольное, частично вывешенное	Воздух-земля	От экраноплана: выдвижные крылья, система управления пограничным воздушным слоем; дисковидный (эллипсовидный) фюзеляж с функциями летающего крыла; закрылки, предкрылки для отрыва от воды (в случае вылета ВМК из воды). От самолета: схемы и технологии <i>STOL</i> и <i>VTOL</i>

6.8. Освоение наследуемых особенностей существующих ТС и их моделей...

Продолжение табл. 6.2

№	Движение ВМК	Среда	Наследование свойства
4	Продольное, не вывешенное (режим наземного автомобиля)	Воздух-земля	От автомобиля: схема прямой (безтрансмиссионной) реализации тяговой силы; аэродинамика корпуса реактивного автомобиля
5	Продольное по мелко-воду – до днища	Воздух-земля-вода	Теория и практика автомобилей с высокой проходимостью
6	Продольное по мелко-воду – от днища до ватерлинии	Воздух-земля-вода	Теория и практика автомобилей-амфибий
7	На плаву – по ватерлинии	Воздух-вода	Теория и практика автомобилей-амфибий. Элементы теории надводного судна. Гидродинамическая форма смачиваемой части корпуса, минимум выступающих частей, оптимальные скоростные углы атаки, минимизация волнообразования, обеспечение остойчивости
8	Погружение от ватерлинии до крыши ВМК	Воздух-вода	Теория подводной лодки. Заимствование расчетных методик погружения ПЛ (с заменой веса балластной воды притапливающим трастом). Гидродинамическая форма корпуса, минимум выступающих частей, оптимальные скоростные углы атаки, минимизация волнообразования, обеспечение остойчивости

№	Движение ВМК	Среда	Наследование свойства
9	Погружение от крыши до $0,5 L_{\text{корп}}$ ВМК	Вода	Все особенности, обеспечивающие режим № 8, с усилением конструкционных требований к минимизации волнообразования (сигарообразная форма и др.)
10	Погружение глубже $0,5 L_{\text{корп}}$	Вода	Все особенности, обеспечивающие режим № 8, со смягчением требований по волнообразованию

### 6.9. Выбор систем координат для моделирования движения ВМК

Анализ множества систем координат, привлекаемых для моделирования движения существующих ТС, позволил выявить следующее:

1. Для каждого вида ТС различными коллективами и отдельными исследователями используются разнообразные СК: правые и левые; ось  $X$  ( $X1$ ) – обычно от кормы к носу (но встречается и наоборот); ось  $Y$  ( $X2$ ) – как на правый борт, так и на левый, и даже вверх; ось  $Z$  ( $X3$ ) – и вверх, и вниз, и вбок.

2. Наиболее структурированные и детализированные стандарты СК – для авиации: имеется международный стандарт ISO 1151 и его русский аналог ГОСТ 20058-80. Оба стандарта рекомендуют правые СК, однако направления осей  $Y$  ( $X2$ ) и  $Z$  ( $X3$ ) отличаются; отличаются и обозначения. В ГОСТ 20058-80 определены 13 СК, 10 углов Эйлера, 18 сил и 10 моментов сил, действующих на ЛА. Даны формулы и матрицы перехода от одной СК к другой внутри названного стандарта. Известны преобразования, позволяющие переходить от СК одного стандарта к другому. ГОСТ

20058-80 содержит также приложение «Соответствие обозначений осей координат и буквенных обозначений величин, установленных в данном стандарте и МС ИСО 1151».

3. Хорошо структурированы и стандарты для морских ТС. Однако они несколько отличаются от стандартов для авиации. И число рекомендуемых СК в них меньше (7, судя по работе [26]). Причем, в отечественных исследованиях для статических моделей надводных судов используются по большей части левые СК, а для динамических моделей – правые СК. Для подводных лодок в России наиболее применима корабельная СК, а в зарубежных странах – СК системы *SNAME*, разработанная специально для подводного флота [216].

4. Сравнительно узкий набор стандартизованных СК – для наземных ТС. Это можно объяснить сравнительно малыми полигонами действия этих ТС – по большей части, нет необходимости использования глобальных, инерциальных СК. Зато множество примеров формирования частных СК, связанных с конкретным подвижным узлом (вплоть до СК вращающегося колеса или шестерни).

5. Наметим два крайних подхода к использованию СК для моделирования ВМК: первый – определить набор родственных СК одного стандарта, обеспечивающий универсальность моделирования движения ВМК во всех средах и режимах; а второй – для каждой среды и варианта движения (по табл. 6.1) свой набор СК из наработок практики моделирования существующих ТС. Первый вариант проще. Второй – гибче, но будет иметь сложности с переключениями СК при смене режимов движения. Вероятно, оптимум методики будет где-то посередине.

6. Для решения задачи выбора СК, обеспечивающей универсальность моделирования движения ВМК во всех средах и режимах (первый из крайних вариантов), осуществлено, кроме сравнения осей, также сравнение обозначений атрибутов, терминологии, толкований между стандартами «морской» и «авиационной» отраслей. Наибольшая совместимость выявлена у стандарта *SNAME*

и ISO 1151. Имеется некоторая разница – например, угол тангажа для ЛА соответствует дифференту для ПЛ. Однако основные концепции совпадают. На рис. 6.27 приводится связанная СК с обозначениями физических параметров системы *SNAME* [216], совпадающая с системой ISO 1151.

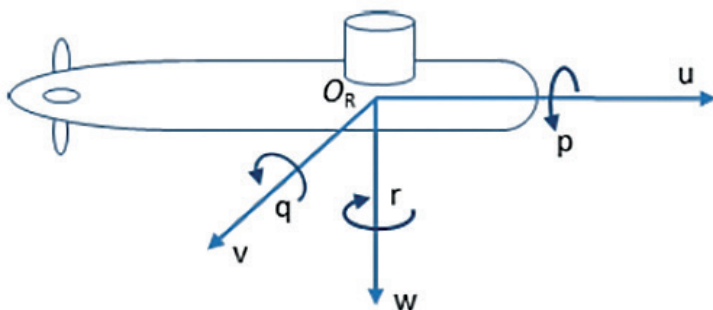


Рис. 6.27. Связанная система координат *SNAME* (совпадающая по скоростным координатам с ISO 1151) с обозначениями:  $u, v, w$  – скорости;  $p, q, r$  – угловые скорости [216]

7. Для решения задач динамики ТС в передовых ППП создаются специальные блоки. Например, ППП *MatLab (Simulink)* содержит блок *Vehicle Dynamics Blockset*, предоставляющий возможности использовать для моделирования движения автомобиля различные СК: правые, левые, с любой ориентацией осей, поворотами вокруг осей – как по часовой стрелке, так и против; с соблюдением стандартов ISO 8855 и *SAE J670*. Кроме инерциальных и земных СК, можно построить СК, связанные с поддресоренными и неподдресоренными массами, и даже СК, вращающиеся с колесами [240]. Пример левой инерциальной (мировой) СК с верх-направленной осью  $Z$  и правой СК поддресоренной массы автомобиля с вниз-направленной осью  $Z$  на рис. 6.28.

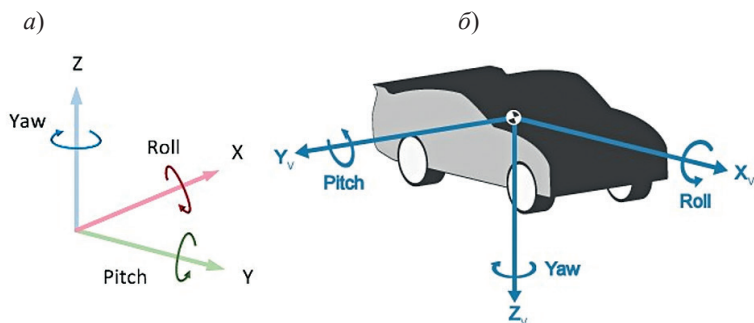


Рис. 6.28. Примеры СК, создаваемых в блоке *Simulink* [240]:  
 а – левая инерциальная СК с верх-направленной осью Z; б – правая СК, связанная с подрессоренной массой автомобиля, с вниз-направленной Z

Вероятно, подобные ППП можно использовать в технологии исследования как по первому или второму варианту определенных выше методов, так и в некой комбинации этих методов. По всей видимости, будущие ППП будут специализироваться (подстраиваться) под потребности представленной здесь проблемы.

### 6.10. Концепции моделирования движения ТС, применимые для ВМК

Статические модели, в основном использующие понятие материальной точки, как правило, привлекаются для оценки силового, мощностного баланса ТС. Аналогично эти модели применимы для ВМК, как, например, автором реализовано в работах [56–60]. Но для решения задач устойчивости и остойчивости ВМК в рамках статического подхода необходимо твердотельное представление объекта исследования.

Простейшая динамическая модель одномассового объекта, имеющего 6 степеней свободы (см. рис. 6.28), требует привлечения системы шести ДУ. Для представления динамики 5-массовой модели автомобиля с его ходовой частью (как в работе



Иванникова С. В. [41]) – значительно большее число ДУ. Не менее сложной является гидро- и аэродинамика водных и воздушных судов – где вместо/кроме шасси нужно представлять динамику увлекаемых слоев воды и/или воздуха.

Матричной формы записи систем, привлекаемой при линеаризации уравнений, стало недостаточно. В практике исследований ТС всё чаще используются такие формы обобщения, сжатого хранения и использования информации, как тензоры и кватернионы [31, 237].

Тензор – это универсальный собирательный термин и конструктив, способный обобщить в себе массив, вектор любой размерности, ансамбль векторов, набор операций над векторами и их ансамблями. Известны и используются тензоры: инерции, вращения, перемещения, деформации, напряжения, перехода, поворота, тензор угловой скорости. В ППП уже вносятся вычислительные блоки на тензорах, например, в *Maple 2018*, *Matlab-Simulink 2020* [237].

Кватернионы позволяют оперировать группой чисел, как единым объектом, а геометрический и механический смысл компонентов кватерниона настолько удачен, что формулы получаются компактными и рациональными. Известно, что вычислительный процесс с использованием кватернионов исключает вырождение, наблюдающееся в 3D-моделировании при пользовании углов Эйлера (так называемый «шарнирный замок» [31]). Количество арифметических операций при вычислениях с использованием кватернионов, как правило, меньше, чем в других методах, причем операции вычисления трансцендентных функций заменяются операциями сложения и умножения, что на порядки снижает объем вычислений [31]. В ППП уже вносятся блоки на кватернионах, например, в *MatLab-Simulink*) 2020 [237].

Естественно, для нового содержания нужны и новые формы. А содержание ММ ВМК с охватом трех природных сред и гибкой оперативной адаптации к ним, с беспилотными технологиями и диспетчеризацией множества ТС – по всей видимости, будет на порядок объемнее, чем для существующих ТС. Что вызовет необходимость использования в моделировании движения и практической навигации ВМК упомянутых математических средств: тензоров и кватернионов.

### 6.11. Графоаналитическое обеспечение исследования всесреднего квантомобиля

В работе [61] автором сформирована в среде ППП *Maple 17* Трехмерная модель использования траста двигателя квантомобиля. Она реализована. На рис. 6.29 приведена характеристика использования траста в координатах  $F_{Tx} - F_{Tz} - V_a$  квантомобиля с весовыми и геометрическими параметрами автомобиля КамАЗ-4326 [58–61]. Синяя цилиндрическая поверхность представляет максимальный траст КвД, Голубая поверхность – сопротивление воздуха. Красная поверхность – суммарное сопротивление равномерному движению экипажа (воздух + дорога). Изображение соответствует квадранту I на рис. 6.3 и охватывает режимы движения 1–4 табл. 6.1.

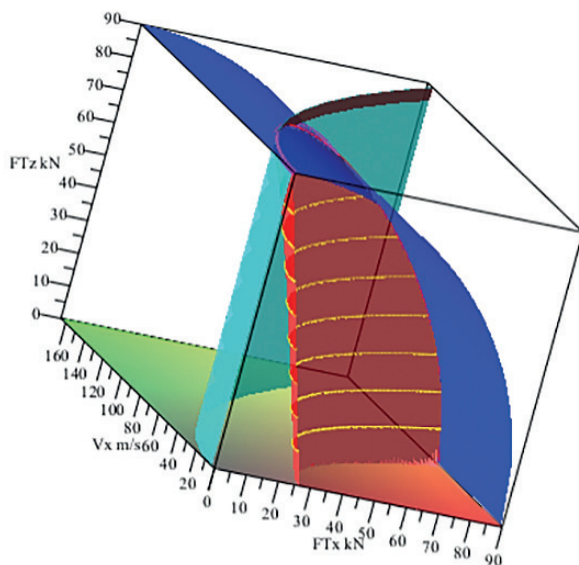


Рис. 6.29. Трехмерное представление силового баланса квантомобиля с весовыми параметрами КамАЗ-4326 для наземных режимов движения [61]

Водные режимы движения 5–7 (когда  $F_{Tz} = 0$ ) условно представлены на рис. 6.30 горизонтальной красной площадкой  $F_{Tz} = 0$ . Ниже этого уровня (при  $F_{Tz} < 0$ ) условно показана (голубым цветом) поверхность гидросопротивления движению квантомобиля в режиме подлодки.

Как видим, поверхности (красная и синяя) не смыкаются, да в этих координатах и не должны смыкаться – из-за наличия переходных режимов 5–7 с условием  $F_{Tz} = 0$ . Также оставлена без внимания детализация рельефа поверхности гидросопротивления из-за отсутствия соответствующих данных.

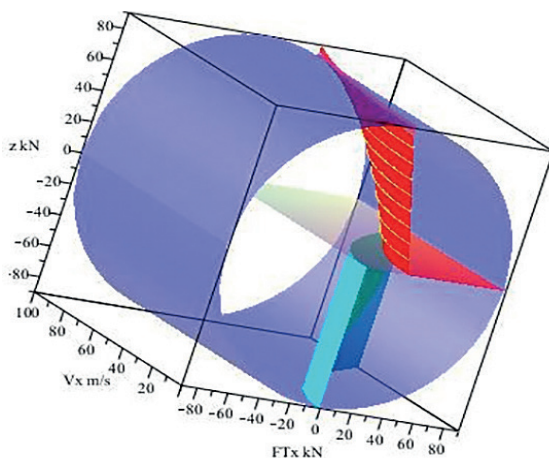


Рис. 6.30. Трехмерное представление силового баланса квантомобиля с весовыми параметрами КамАЗ-4326 для наземных режимов движения (красная поверхность) и водных режимов (голубая поверхность) [62]

## 6.12. Заключение по главе

Проработка концепции гипотетического всесреднего мульти-модального квантомобиля (МВК), естественно, должна использо-

вать всё наследие научно-технической мысли в области создания и использования существующих ТС. Для 10-ти вариантов движения ВМК – от воздушного квантолета до подводной квантомарины – выполнен анализ особенностей моделирования, привлечения систем координат (СК), проектирования и эксплуатации существующих ТС-прототипов, способных найти отражение в концепте ВМК.

Комплексирование полезных свойств составит суть обобщения, синтеза гипотетического ВМК. Отмечены две крайних методики моделирования ВМК: 1) на базе единого семейства СК и общей (сквозной для всех сред) модели движения; 2) на базе моделей по видам движения с возможным переключением СК.

Исследование, моделирование и проектирование ВМК должно быть ориентировано на использование перспективных модулей ППП, реализующих межотраслевую множественность систем координат, блоки динамических моделей, форматы работы с «большими данными»: тензорами, кватернионами.

Отмечены оригинальные конструкционные возможности ВМК:

- рули с твердотельными исполнительными элементами могут быть заменены в ВМК квантовыми управляющими трастерами;
- реализация спуска/подъема ВМК в режиме подлодки может быть осуществлена посредством вертикальной составляющей траста (лифта и антилифта), что может дать возможность освободиться частично или полностью от необходимости использовать балластную воду и соответствующие ёмкости для неё;
- вниз направленная составляющая траста при необходимости, вызванной сильным течением воды, может посредством антилифта увеличить сцепление притопленного ВМК с грунтом;
- режим бокового скольжения ВМК во всех трёх средах может быть обеспечен управляющими трастерами (в том числе в наземном режиме движения при шарнирной конструкции крепления опорных колес) и др.

## **Глава 7. КВАНТОВАЯ ТЯГА В ПОРТУ, РУДНОМ КАРЬЕРЕ И НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ**

### **7.1. Квантовая ПТМ в рабочем процессе порта**

#### *7.1.1. Цель и задачи раздела*

Рассмотрим теперь перспективу использования квантовой тяги на этапах погрузки-разгрузки рабочего процесса порта и более того, исследуем возможность создания единого средства непрерывного перемещения груза, охватывающего и горизонтальную доставку, и погрузку-разгрузку.

Возможность извлечения энергии из физического вакуума, открывающаяся с перспективой освоения положений теории Суперобъединения [70–72, 215), изменит механику движения и характер использования подъемно-транспортных машин (ПТМ), при установке на них квантовых двигателей (КвД). КвД, в отличие от электродвигателей и ДВС, создаёт непосредственно тяговую силу (траст), которую можно приложить к корпусу технического средства: экипажа, ПТМ [58]. Это создает предпосылки появления квантовой погрузочно-разгрузочной транспортной техники, осуществляющей комплексно подъем над опорной поверхностью и горизонтальную транспортировку вывешенного над этой поверхностью груза – квантовых подъемно-транспортных машин (КПТМ).

Вывод вектора траста из горизонтального в наклонное положение обеспечит создание вертикальной составляющей тяговой силы, которую можно будет использовать для преодоления гравитации и отрыва КПТМ от опорной поверхности, обеспечивая этой машине возможность перемещения груза по воздуху.

Цель раздела – сформировать концепцию и рабочую гипотезу использования транспортных средства с квантовой тягой в рабочем процессе порта.

Решаемые задачи для достижения цели:

- оценить особенности и возможности тяги квантовых двигателей (КвД) для осуществления подъемно-транспортных операций;
- построить математическую модель силового баланса и движения ПТМ с КвД;
- представить основные режимы работы ПТМ с КвД;
- рассмотреть численный пример перемещения груза посредством ПТМ КвД;
- обобщить результаты исследования и сформировать рекомендации по дальнейшим исследованиям в русле темы.

### 7.1.2. Разложение вектора траста

3D-пространственный вектор траста разложим по ортам (см. (2.9)).

Ограничимся курсовым движением КПТМ в плоскости угла тангажа  $\beta$  – формула разложения вектора траста имеет вид:

$$\mathbf{F}_T = \mathbf{F}_{Tx} + \mathbf{F}_{Tz}. \quad (7.1)$$

В скалярной записи это:

$$F_T = \sqrt{F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2}. \quad (7.2)$$

Графически это представлено на рис. 7.1 [63].

Формулы (7.1) и (7.2) являются общими исходными для расчёта движения КПТМ как по вертикали (отрыв груза от опорной поверхности и его подъем), так и по горизонтали (перенос груза в другую локацию), а также в ситуации комбинированного движения по наклонным траекториям.

Продольному поступательному движению вывешенного КПТМ вперед (с реализацией прямой тяги) соответствует первый квадрант круга обметания вектора траста (см. рис. 7.1). Тормозным продольным режимам (реверсу) соответствует второй квадрант.

Анализ силового баланса КПТМ отличается от канонического силового анализа наземных машин, что обусловлено вовлечением

в обобщенное уравнение силового баланса новых для наземного транспортного средства сущностей и физических величин, проявляющихся при учете вертикальных сил вывешенного КПТМ: тяжести, силы вывешивания, воздушного сопротивления вертикальному перемещению, вертикальные ускорения.

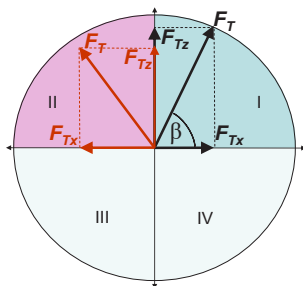


Рис. 7.1. Разложение траста  $F_T$  на горизонтальную  $F_{Tx}$  и вертикальную  $F_{Tz}$  компоненты:  $\beta$  – угол наклона траста  $F_T$  относительно горизонта [63]

### 7.1.3. Обобщенное уравнение силового баланса КПТМ и его модификации

Исходная формула Обобщенного уравнения силового баланса КПТМ аналогична тому, как это выполнено выше для квантомобиля, но детализация формулы (7.2) имеет особенности. Рассмотрим их, начав с исходного уравнения:

$$\begin{aligned}
 F_T^2 &= F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = (P_{w.x} + P_{j.x})^2 + (P_{w.z} + P_{j.z} + P_g)^2 = \\
 &= \left( k_{w.x} S_{\text{лоб}} V_x^2 + \frac{G_{TC}}{g} a_x \right)^2 + \\
 &+ \left( (k_{w.z} S_{\text{план}} V_z^2 + \frac{G_{TC}}{g} a_z) |F_{Tz}| > G_{TC} + \min(F_{Tz}, G_{TC}) \right)^2,
 \end{aligned} \tag{7.3}$$

где  $F_T, F_{Tx}, F_{Tz}$  – траст и его составляющие соответственно, Н;

$P_{w,x}$  – сила сопротивления воздуха горизонтальному движению, Н;

$P_{j,x}$  – сила сопротивления горизонтальному ускорению, Н;

$P_{w,z}$  – сила сопротивления воздуха вертикальному движению, Н;

$P_{j,z}$  – сила сопротивления вертикальному ускорению, Н;

$P_g = G_{\text{КПТМ}}$  – часть вертикальной составляющей траста, идущей на нейтрализацию тяжести перемещаемого груженого КПТМ, Н;

$V_x$  – текущая скорость продольного (курсового) движения КПТМ, м/с;

$G_{\text{КПТМ}}$  – вес КПТМ (в зависимости от ситуации, как груженого так и негруженого), Н;

$k_{w,x}$  – коэффициент горизонтальной (продольной) обтекаемости КПТМ воздухом,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;

$S_{\text{лоб}}$  – лобовая (фронтальная) площадь КПТМ,  $\text{м}^2$ ;

$V_w$  – скорость продольного движения КПТМ относительно воздуха (примем в данном исследовании  $V_w = V_x$ ), м/с;

$g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$a_x$  – продольное ускорение груженого КПТМ,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;

$k_{w,z}$  – коэффициент вертикальной обтекаемости КПТМ воздухом,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;

$S_{\text{план}}$  – площадь КПТМ в плане,  $\text{м}^2$ ;

$V_z$  – скорость вертикального движения КПТМ, м/с;

$a_z$  – вертикальное ускорение КПТМ,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Отметим, что  $G_{\text{КПТМ}} = G_{\text{КПТМ},0} + G_{\text{гр}}$ , где  $G_{\text{КПТМ},0}$  – вес порожнего (незагруженного) КПТМ, а  $G_{\text{гр}}$  – вес перемещаемого груза с его тарой.

Формула (7.3) является обобщенным выражением силового баланса КПТМ, охватывающим характерные режимы его работы:

1) режим исходного покоя груза:  $F_{Tz} = 0, F_{Tx} = 0$ ;

2) переходный режим частичного вывешивания груза, когда  $0 < F_{Tz} < G_{\text{ТС}}$ ;

3) граничный режим – с нулевым касанием груза опорной поверхности (без отлёта груженого КПТМ вверх), когда  $F_{Tz} = G_{\text{КПТМ}}$ ;



- 4) режим вертикального отлета КПТМ – когда  $F_{Tz} > G_{\text{КПТМ}}$ ;
- 5) режим полета КПТМ (естественно, при  $F_{Tz} \geq G_{\text{КПТМ}}$ );
- 6) режим вертикального спуска на опорную поверхность ( $F_{Tz} \leq G_{\text{КПТМ}}$ );
- 7) режим финальной фиксации груза ( $F_{Tz} = 0, F_{Tx} = 0$ ).

Имеются особенности использования формулы (7.3):

- член уравнения « $\min(F_{Tz}, G_{\text{КПТМ}})$ » представляет собой силу, идущую на преодоление гравитационной силы, создаваемой массой груженого КПТМ: частично – когда при  $F_{Tz} \leq G_{\text{КПТМ}}$  нет физической возможности отлёта комплекта вверх, либо при  $F_{Tz} > G_{\text{КПТМ}}$  – когда с полным преодолением силы гравитации появляется физическая возможность отлёта КПТМ от опорной поверхности за счет остатка силы  $\Delta = F_{Tz} - G_{\text{КПТМ}}$ .

• При рассмотрении силового баланса в горизонтальном установившемся равномерном движении груженого КПТМ, вблизи опорной поверхности, но без отлета от неё (т. е. при  $F_{Tz} \approx G_{\text{КПТМ}}$ ) (режим 3), можно использовать упрощенное (относительно (7.3)) уравнение:

$$F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = (P_{w.x})^2 + (P_g)^2 = (k_{w.x} S_{\text{лоб}} V_x^2)^2 + (F_{Tz})^2. \quad (7.4)$$

Далее будем исследовать этот вариант силового баланса. Уравнение (7.4) – имплицативное (неявное) уравнение относительно аргументов  $x = F_{Tx}, z = F_{Tz}, y = V_x$ .

При расчетном исследовании удобнее пользоваться явными уравнениями относительно проблемного показателя фазы расчета.

Приведение имплицативного уравнения (7.4) к явному виду относительно  $F_{Tx}$ :

$$F_{Tx} = \left( k_{w.x} S_{\text{лоб}} V_x^2 \right). \quad (7.5)$$

Приведение уравнения (7.4) к явному виду относительно  $F_{Tz}$ :

$$F_{Tz} = G_{\text{TC}} + k_{w.x} \cdot S_{\text{лоб}} \cdot V_x^2 - F_{Tx}. \quad (7.6)$$

Приведение уравнения (7.5) к явному виду относительно  $V_x$ :

$$V_x = \sqrt{F_{Tx} / k_{w,x} \cdot S_{\text{люб}}}. \quad (7.7)$$

Для продольного горизонтального ускорения полностью вывешенного КПТМ (при  $F_{Tz} = G_{TC}$ ) запишем:

$$a_x = \frac{g}{G_{TC}} (F_{Tx} - k_{w,x} S_{\text{люб}} V_x^2). \quad (7.8)$$

Задав  $a_x = 0$ , можно определить максимально возможную горизонтальную продольную скорость вывешенного КПТМ:

$$V_{x.\text{max}} = \sqrt{F_{Tx} / k_{w,x} \cdot S_{\text{люб}}}. \quad (7.9)$$

Задав  $V_x = 0$ , можно определить продольное ускорение в начальный момент продольного движения вывешенного КПТМ:

$$a_x = \frac{F_{Tx} \cdot g}{G_{TC}}. \quad (7.10)$$

Для вертикального ускорения КПТМ (при  $F_{Tz} > G_{TC}$ ) можно записать:

$$a_z = \frac{g}{G_{TC}} (F_{Tz} - G_{TC} - k_{w,z} S_{\text{план}} V_z^2). \quad (7.11)$$

Задав  $V_z = 0$ , можно определить вертикальное ускорение в начальный момент подъема КПТМ:

$$a_z = \frac{g}{G_{TC}} \Delta. \quad (7.12)$$

Проведение анализа на базе совокупности формул (7.3...7.12) может быть усилено привлечением соответствующих графических моделей, разработанных и представленных в главе 5.

### 7.1.4. Численный пример. Результаты

Для количественного примера взят гипотетический КПТМ с собственным весом  $G_{\text{КПТМ},0} = 30$  кН, предназначенный для перемещения стандартных 20-футовых загруженных контейнеров весом  $G_{\text{гр}} = 240$  кН, т. е.  $G_{\text{КПТМ}} = 270$  кН.

Допустим, конструкция КПТМ представляет собой траверсу-спредер ([132, 177]), оснащенную КвД. Величина максимального траста КвД  $F_{T,\text{max}} = 280$  кН. При весе груженого КПТМ  $G_{\text{КПТМ}} = 270$  кН траст  $F_{T,\text{max}} = 280$  кН обеспечивает для вывешенного КПТМ возможность реализации горизонтальной тяги 74 кН (см. рис. 7.2). Оценка угла  $\beta$  и  $F_{T_x}$ :  $\beta = \arcsin(F_{T_z}/F_T) = \arcsin(270/280) = 74,67^\circ$ .  $F_{T_x} = F_T \times \cos \beta = 280 \cdot \cos 74,67^\circ = 74$  кН.

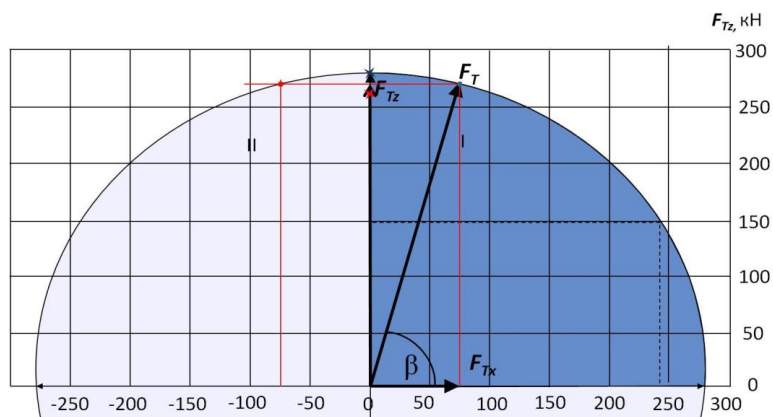


Рис. 7.2. Тростовая характеристика КвД исследуемого КПТМ

Остальные необходимые характеристики груженого КПТМ:  $k_{w,x} = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $S_{\text{лоб}} = 8 \text{ м}^2$ ;  $k_{w,z} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ ;  $S_{\text{план}} = 15 \text{ м}^2$  (основание исходных данных есть в работе [58], посвященной разгрузке океанского судна-контейнеровоза в контейнерном терминале [114]).

Пусть задана простейшая прямоугольная траектория движения грузевого КППТМ – см. рис. 7.3 [63]:

1) равноускоренный вверх – затем равнозамедленный вертикальный подъем на высоту 20 м (по пути  $A-B$ ); 2) горизонтальное перемещение на условное расстояние 400 м: равноускоренное–равномерное–равнозамедленное (по пути  $B-C$ ); 3) равноускоренный вниз – затем равнозамедленный вертикальный спуск на 40 м (по пути  $C-D$ ).

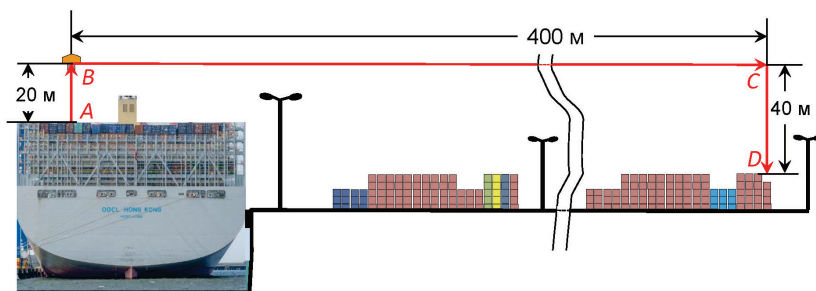


Рис. 7.3. Схема движения КППТМ при разгрузке судна-контейнеровоза

Рассмотрим по очереди эти три этапа движения по прямоугольной траектории.

1. Вертикальное ускорение на участке  $AB$  (рис. 7.3) обусловлено разницей между вертикальной тягой и весом КППТМ  $\Delta = F_{Tz} - G_{\text{КППТМ}}$  (с допущением практически ничтожного сопротивления воздуха на малых вертикальных скоростях (см. (7.11))). Например, для разгона по вертикали  $\Delta = 280 - 270 = 10$  кН. Тогда  $a_z = \frac{g}{G_{\text{ТС}}} \Delta = 9,8 (280 - 270) / 270 = 0,363$  м/с<sup>2</sup> (что практически приемлемо).

В первом приближении, полпути (10 м) КППТМ будет вертикально разгоняться, а оставшиеся полпути он будет замедляться (до  $V_z = 0$ ).

Тогда время разгона при подъеме на высоту 10 м:  $t = \sqrt{2h/a_z} = \sqrt{2 \cdot 10 / 0,363} = 7,38$  с. Вертикальная скорость в момент выхода на высоту 10 м:  $V_z = \sqrt{2a_z \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 0,363 \cdot 10} = 2,7$  м/с.

Оценим силу сопротивления воздуха на этой скорости:

$$P_{w,z} = k_{w,z} S_{\text{план}} V_z^2 = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4 \cdot 15 \text{ м}^2 \cdot 7,26 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 98 \text{ Н} = 0,098 \text{ кН}.$$

Это составляет малую толику (1 %) на фоне реализуемого избытка вертикальной тяги. Поэтому можно пренебречь фактором сопротивления воздуха для скоростей вертикального движения КПТМ такого порядка.

На пути замедления (оставшиеся 10 м) примем картину изменения скорости равнозамедленной, «зеркальной»:  $a_z = -0,363$  м/с<sup>2</sup>; время замедления до  $V_z = 0$  м/с равно  $t = 7,38$  с. Это обеспечивается величиной  $\Delta = -10$  кН, чему соответствует необходимый уровень вертикальной тяги  $F_{Tz} = G_{\text{КПТМ}} + \Delta = 270 - 10 = 260$  кН.

Общее время, затрачиваемое на подъем:  $t_{\text{под}} = 2 \cdot 7,38 = 14,76$  с.

2. Горизонтальное движение на плече 400 м (BC на рис. 7.3) складывается из этапов: Разгон – Установившееся движение на обусловленной скорости (примем 10 м/с) – Замедление.

$$\text{Разгон: } a_x = \frac{F_{Tx} \cdot g}{G_{\text{ТС}}} = 74\,000 \text{ Н} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 / 270\,000 \text{ Н} = 2,69 \text{ м/с}^2.$$

Время разгона до скорости 10 м/с:  $t = V / a_x = 10 / 2,69 = 3,72$  с. Путь разгона:  $S = V^2 / 2a_x = 100 / (2 \cdot 2,69) = 18,59$  м.

Если принять величину замедления  $-2,69$  м/с<sup>2</sup>, то время и путь будут такими же, как для разгона, и тогда путь равномерного движения:  $400 - 2 \cdot 18,59 = 363,82$  м. А время этого движения  $363,82 / 10 = 36,38$  с.

Время горизонтального движения составит  $18,59 + 36,38 + 18,59 = 73,56$  с.

Оценим силу сопротивления воздуха при горизонтальном движении КПТМ. При сохранении вертикальной составляющей траста  $F_{Tz} = 270$  кН для равномерного движения на максимальной скорости  $V_x = 10$  м/с надо обеспечить горизонтальную составляющую  $F_{Tx} = k_{w,x} S_{\text{люб}} V_x^2 = 0,6 \times 8 \times 100 = 480 \text{ Н} = 0,48 \text{ кН}$ . В сравнении с силой

$F_{Tx} = 74$  кН, прикладываемой со стороны КвД к корпусу ТС в процессе горизонтального разгона, это малая величина ( $0,48 / 74 = 0,65\%$ ) в аспекте силового баланса. Ею можно пренебречь.

3. Вертикальный спуск КПТМ ( $CD$  на рис. 7.3). Время разгона на спуске с контролируемым ускорением  $-0,363$  м/с<sup>2</sup> на дистанции 20 м (начальные полпути):  $t = \sqrt{2h / a_z} = \sqrt{2 \cdot 20 / 0,363} = 10,4$  с. Вертикальная скорость на отметке 20 м  $V_z = \sqrt{2a_z \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 0,363 \cdot 20} = 3,8$  м/с (вполне допустимо!). Время замедления на спуске с контролируемым ускорением  $+0,363$  м/с<sup>2</sup> на дистанции 20 м (конечные полпути):  $t = 10,4$  с (из условий «зеркальности»). Скорость в конечной точке будет  $V_z = 0$  м/с.

Время спуска ТС на 40 м составит  $10,4 + 10,4 = 20,8$  с.

Таким образом, общее время доставки контейнера с борта судна-контейнеровоза на накопительную площадку терминала составит:

$$14,8 + 73,6 + 20,8 = 109,12 \approx 109 \text{ с.}$$

Отметим, что характеристика траста  $F_T$  на спуске будет отличаться от траста, реализуемого при подъеме. Поскольку величина ускорения  $a_z$  прямо пропорциональна разности  $\Delta = (F_{Tz} - G_{TC})$ , то вместо избытка тяги должен использоваться недостаток тяги до значения веса  $G_{TC}$  той же величины, т. е.  $(F_{Tz} - G_{TC}) = -10$  кН, и тогда  $F_{Tz} = 270$  кН  $- 10$  кН = 260 кН.

Технология использования траста может быть пояснена посредством детализации верхней части трастовой характеристики (см. рис. 7.4).

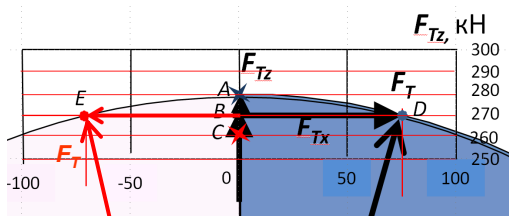


Рис. 7.4. Верхняя часть трастовой характеристики КвД КПТМ

Первые 10 м подъема КПТМ вертикальный траст  $F_{Tz} = 280$  кН (точка  $A$  на рис. 7.4), конечные 10 м подъема  $F_{Tz} = 260$  кН (точка  $C$  на рис. 7.4).

Разгон по горизонтали обеспечивается наклонным трастом  $F_T = 280$  кН, при этом  $F_{Tx} = 74$  кН (точка  $D$  на рис. 7.4). Далее равномерное движение со скоростью 10 м/с обеспечивается трастом вблизи точки  $B$  (горизонтальную составляющую  $F_{Tx} = 0,098$  кН графически не показат). На конечном участке движения по горизонтали замедление КПТМ обеспечивается наклонным трастом  $F_T = 280$  кН, но  $F_{Tx} = -74$  кН (точка  $E$  на рис. 7.4).

Первые 20 м спуска КПТМ вертикальный траст  $F_{Tz} = 260$  кН (точка  $C$  на рис. 7.4), конечные 20 м спуска  $F_{Tz} = 280$  кН (точка  $A$  на рис. 7.4).

Отметим, что коэффициент превышения максимального вектора тяги над общим весом КПТМ, равный  $\gamma = 280 \text{ кН} / 270 \text{ кН} = 1,04$  вполне удовлетворил уровню требуемых оперативных скоростей. Округляя, можно рекомендовать для дальнейших подобных поисковых работ  $\gamma \approx 1,05$ .

### **7.1.5. Графоаналитическое исследование рабочего процесса КПТМ в формате 3D-МИТ**

Траектория изменения вектора траста (конечной точки его) для осуществления движения КПТМ по траектории расчетного примера в координатах  $x = F_{Tx}$ ,  $z = F_{Tz}$ ,  $y = V_x$  отображена на рис. 7.5 [63]. Темно-синяя поверхность – поверхность максимального траста  $F_{Tmax}$ ; розовая плоскость – уровень веса  $G_{КПТМ}$ .

Способствовать анализу может детализация особенностей, реализованная графически путем изменения диапазона представляемых аргументов и их масштаба, что выполнено на рис. 7.6 [63].

Движение вектора траста по фазам и характерным точкам траектории:  $A$  – стартовое положение КПТМ;  $B$  – фаза подъема;  $BC$  – перевод вектора на горизонтальное ускорение;  $C$  – начало горизонтального движения;  $CD$  – продольный разгон до 10 м/с;  $E$  – установившееся движение со скоростью 10 м/с;  $EF$  – перевод вектора на замедление;

$FG$  – продольное замедление до 0 м/с;  $GH$  – перевод вектора на спуск;  $H$  – фаза спуска;  $K$  – финишное положение КПТМ.

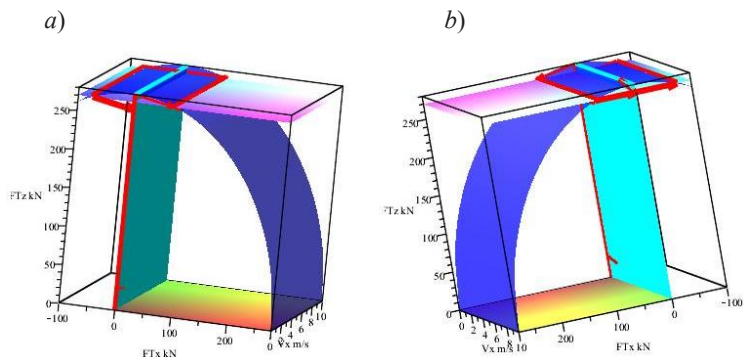


Рис. 7.5. Траектория движения конца вектора (красная линия) по фазам движения КПТМ:  $a$  – вид со стороны низких скоростей;  $b$  – вид со стороны высоких скоростей [63]

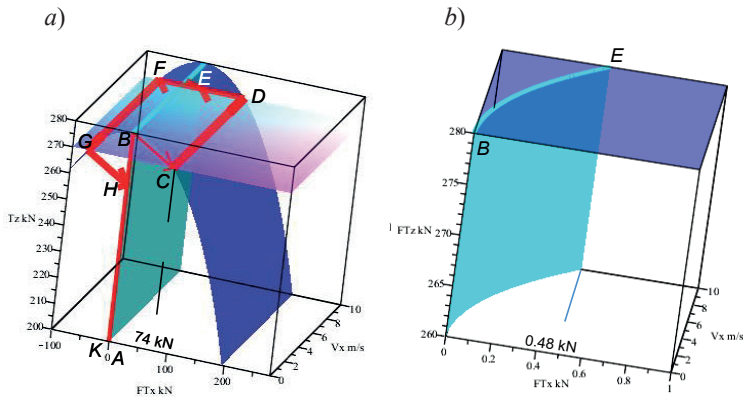


Рис. 7.6. Детализация (укрупнение) особенностей формирования вектора траста для движения по прямоугольной траектории расчетного примера:  $a$  – изменение вектора по фазам движения КПТМ;  $b$  – поверхность сопротивления воздуха горизонтальному движению КПТМ (голубая поверхность) [63]



### 7.1.6. Перспективы КПТМ

Сравним представленный способ доставки на борт судна-контейнеровоза с существующей технологией трехэтапной (реже – двухэтапной) обработки контейнера. В настоящее время сначала с помощью крана *RMG*, либо *RTG*, либо ричстакера осуществляется погрузка контейнера из складского штабеля в прицеп-погрузчик. Затем тягач перемещает прицеп с контейнером в зону действия причального понтейнера. Далее понтейнер производит перегрузку с прицепа (или площадки) на борт судна-контейнеровоза. Кроме чистого времени собственно транспортировки контейнера со склада на борт судна (маршрута с плечом 400 м – это не менее 20 мин), еще время подготовительного маневрирования трех видов технических средств (в сумме – не менее времени собственно транспортировки) – в итоге, несколько десятков минут. Кроме временного фактора – задействование трех видов техники с её подъездами-отъездами, маневрированием, оперативным занятием площадями терминала, использование персонала (не менее 5 человек) [113].

В случае же гипотетического КПТМ – один оператор. Ко времени внедрения гипотетического на сегодняшний день КПТМ, наверняка, будет развита безоperatorная техника управления дронами. Более того, плотное множество дронов-КПТМ сможет оперировать под одной системой управления и диспетчеризации, обеспечивающей максимальную интенсивность общего процесса загрузки/разгрузки судна и оптимальное использования пространства терминала.

Несмотря на простоту примера движения КПТМ по прямоугольной траектории с резкой сменой характера движения (с вертикального направления на горизонтальное и наоборот, жесткую переброску вектора траектории, а, следовательно, жесткий характер изменения ускорений ТС), всё же, по мнению автора, удалось представить общий характер картины движения КПТМ.

Движение КПТМ, конечно же, может быть более сложным и изящным, с наклонными подъемами и спусками, маневрированием над объектами терминала, учетом разницы и тонкостей

этапов подъема и спуска (в отличие от примененного здесь «зеркального» характера этих этапов).

При массовом использовании множества КПТМ может быть использована диспетчеризация с разводкой траекторий в 3D-пространстве и подчинению множества этих машин единой цели – например, быстрой загрузке судна массивом контейнеров.

Существующие подъемно-транспортные машины, в ряде случаев, вообще могут быть заменены транспортирующими машинами с КвД в их конструкциях (КПТМ), что позволит высвободить полосу движения привычного ПТМ. Подъемные машины (ПМ) (краны и т. п.) также могут быть заменены КПТМ. Более того, несколько типов ПТМ и ТМ, используемых на складах в последовательности технологических операций обработки конкретного груза, могут быть заменены одним универсальным КПТМ, осуществляющим непрерывное перемещение груза (без перегрузки с одного вида ТС на другой). Например, перемещение контейнера в открытом контейнерном терминале с накопительной площадки (или даже с борта автомашины или ж.д. платформы) непосредственно в трюм/палубу морского контейнеровоза. При этом также высвобождается наземная накопительная площадка терминала, а возникающая новая технология работ с освобождением от некоторых прежних перегрузок, а также использование 3D-пространства терминалов позволит существенно увеличить интенсивность грузопотока.

Нами рассматривалось движение КПТМ только в плоскости  $x-z$ . Однако вектор траста при реализации составляющей  $F_{Ty}$  сможет обеспечить боковое движение ТС с КвД, что обеспечит маневрирование на местности.

Немаловажным является вопрос управляемости и стабилизации КПТМ, что немислимо обеспечить одним КвД. Потребуется ещё один (или более) дополнительный КвД, вслед за чем возникнет проблема оптимального размещения КвД на корпусе КПТМ.

Все затронутые аспекты требуют раскрытия и детализации в дальнейших исследованиях.

### 7.1.7. Заключение по разделу

Исследование показало, что при условии конструктивного осуществления идей и принципов бестопливной энергетики, базирующейся на извлечении энергии из физического вакуума, концепция представленного здесь КПТМ вполне состоятельна.

Существующие ПТМ могут быть заменены транспортирующими машинами с КвД в их конструкциях (КПТМ), что позволит высвободить оперативные полосы движения традиционного ПТМ. Подъёмные машины также могут быть заменены КПТМ. Более того, несколько типов ПТМ и ТМ, используемых на терминалах и складах в последовательности технологических операций обработки конкретного груза, могут быть заменены одним универсальным КПТМ, осуществляющим непрерывное перемещение груза, без перегрузки с одного вида ТС на другой.

Всё это будет способствовать повышению пропускной способности портов и интенсивности грузопотоков в них, а, следовательно, росту эффективности логистических цепей, использующих эти порты. При этом, очевидно, уменьшится энерго- и материалоемкость рабочего процесса портов.

События с контейнеровозом в Суэцком канале в марте 2021 года, когда крупный контейнеровоз [114] сел на мель, вызвали у автора следующую мысль. Возникла дилемма: спешно разгрузить судно, либо подкапывать дно канала под ним. В отсутствие на месте происшествия портовых причалов с кранами-понтейнерами лучшим вариантом для экстренной разгрузки контейнеров с судна на берег явилась бы операция с использованием КПТМ, представленных в настоящей главе. При этом возможной была бы транспортировка контейнеров либо на неподготовленный берег, либо в ближайший (возможно далеко расположенный) контейнерный терминал. Технико-экономический расчет вариантов тогда проводился бы по методике, развитой в этой главе.

Обратная загрузка судна проводилась бы также посредством КПТМ. Экстренная доставка отряда КПТМ на место происшествия из условного центра ЧС производилась бы посредством

собственных КвД КПТМ, без привлечения других ТС для транспортировки КПТМ.

Возникшая мысль может иметь обобщение – группировки КПТМ смогут стать одним из действенных средств для борьбы с чрезвычайными ситуациями: морскими катастрофами, лесными пожарами, происшестввиями в горах и другими, поскольку генерация лифта у КПТМ не зависит ни от климатических условий, ни от запасов топлива на борту.

## **7.2. Квантовая карьерная подъемно-транспортная машина**

### *7.2.1 Цель и задачи раздела*

Цель – сформировать концепцию и рабочую гипотезу функционирования ПТМ с квантовой тягой для разработки карьеров (Квантовой карьерной подъемно-транспортной машины – ККПТМ) – как идейный базис модернизации технологии разработки открытых горных карьеров.

Решаемые задачи для достижения цели:

- описать проблемы доставки горной породы со дна карьера на верхние уровни;
- оценить особенности и возможности тяги квантовых двигателей (КвД) для осуществления подъемно-транспортных операций при разработке карьеров;
- привлечь и приспособить для расчета силового баланса и движения ККПТМ математическую модель КПТМ, рассмотренную выше в разделе 7.1 (несмотря на то, ККПТМ является частным случаем КПТМ, имеют место отличия от представленного в разделе 7.1);
- рассмотреть численные примеры перемещения породы посредством ККПТМ;
- обобщить результаты исследования и сформировать рекомендации по дальнейшим исследованиям в русле темы.

### 7.2.2. Проблемы доставки горной породы со дна карьера на верхние уровни

Общие аспекты проблематики и технологии горных работ описан на базе данных по Лебединскому горнообогатительному комбинату (ЛГОК) Курской магнитной аномалии [5, 27, 36]. Общий вид карьера ЛГОК представлен на рис. 7.7.



Рис. 7.7. Карьер ЛГОК.

Источник: <https://cont.ws/uploads/pic/2018/10/a65.jpg>

Ежегодная добыча железистых кварцитов на ЛГОК превышает 50 млн т. Размеры открытого карьера достигают 5 км в длину, 3 км в ширину, глубина карьера около 350 м [27].

После взрыва и разрушения горного массива экскаваторы, фронтальные погрузчики и бульдозеры обеспечивают погрузку рудосодержащей породы в автомобили-самосвалы, которые транспортируют и разгружают ископаемые на перегрузочных складах,

находящихся на более высоких промежуточных горизонтах карьера. Там экскаваторы загружают руду в железнодорожный состав. Конечными пунктами ископаемого являются горнообогатительная фабрика и отвалы.

Расстояние между горизонтами по высоте на Лебединском карьере составляет 15 м. Число всех ярусов – порядка 20.

На рис. 7.8 представлена условная схема осуществления работ на карьерах подобного типа. Желтая прямая (эвклидова) линия отражает связь пункта загрузки самосвалов на дне карьера (горизонт  $AB$ ) и пункта разгрузки самосвалов на горизонте перегрузочного склада (горизонт  $CD$ ). Естественно, движение самосвалов производится по расширяющейся спирали временных дорог (берм) этого нижнего откоса; длины маршрутов по спирали могут достигать 5 км. Скорости движения: 10–15 км/ч.

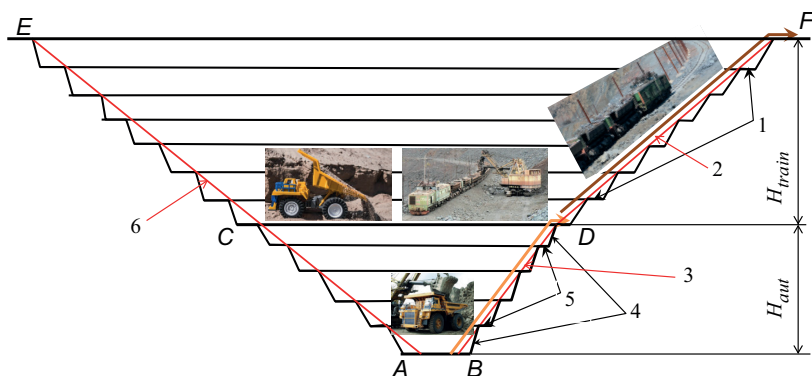


Рис. 7.8. Элементы карьера и существующей организации работ в нем: 1 – бермы верхних горизонтов; 2 – откос верхнего рабочего борта карьера; 3 – откос нижнего рабочего борта карьера; 4 – откосы уступа; 5 – бермы нижних горизонтов; 6 – откос нерабочего борта карьера;  $H_{aut}$  – высота нижнего откоса (обслуживаемого автомобилями);  $H_{train}$  – высота верхнего откоса (обслуживаемого ж.д. транспортом);  $AB$ ,  $CD$ ,  $EF$  – нижний (донный), промежуточный (перегрузочный) и верхний (выходной) горизонты соответственно [213]

На верхнем откосе (в пространстве  $CEFD$ ) перевозка породы осуществляется в основном средствами ж.д. транспорта: тяговыми агрегатами, включающими электровозы, мотор-вагоны и безмоторные платформы (думпкары). Энергообеспечение осуществляется посредством электросети, продвигающейся вглубь карьера перманентно вместе с ж.д.-полотном. Загрузка тяговых агрегатов производится на перегрузочном складе горизонта  $CD$  посредством экскаваторов. Перегрузка, естественно, значительно снижает общую скорость доставки горной массы.

Коричневая эвклидова линия отражает связь пункта загрузки тяговых агрегатов на перегрузочном складе (горизонт  $CD$ ) и пункта разгрузки этих агрегатов на верхнем горизонте  $EF$  (обогачительные фабрики для рудосодержащей породы, либо отвалы для пустой породы). Естественно, движение тяговых агрегатов производится по сети железных дорог этого верхнего откоса и прилегающей территории; длины маршрутов в пространстве  $CEFD$  верхнего откоса могут достигать 20 км. Скорости движения поездов по бермам этого откоса – порядка 15 км/ч [213].

Технология доставки горной породы с нижнего (донного) на верхний горизонт, как видим, весьма энергозатратна. Даже если брать только изложенный процесс, это загрузка на автосамосвалы, движение самосвалов по крутым, извилистым дорогам-бермам на расстояние 1–5 км (хотя по эвклидовой прямой это всего 80–100 м), разгрузка на складской площадке горизонта  $CD$ , возврат самосвалов. Затем погрузка породы на тяговый ж.д. поезд, транспортировка груженого поезда по временной низкокачественной сети ж.д. дорог на расстояние 5–20 км (хотя по эвклидовой прямой это всего 200–300 м), возврат и маневрирование поездов по сети. Кроме того, велики материало- и энергозатраты на обеспечение этого процесса доставки: прокладка и поддержание автодорог нижнего откоса, постоянное наступательное продвижение ж.д. пути и его электрообеспечения верхнего откоса.

Вся упомянутая техника в изготовлении также материало- и энергоемка – имеет большие энергозатраты, вложенные в конструкцию на стадии ее создания.

На автомобильном фронте работ карьера основная транспортная нагрузка ложится на 25 большегрузных самосвалов БелАЗ-75131 [21, 27]. Самосвалы заполняют породой с помощью электрических экскаваторов. Вместимость ковшей экскаваторов моделей ЭКГ-8Ш, ЭКГ-10, ЭКГ-11 и ЭКГ-12,5 соответственно 8, 10, 11 и 12,5 м<sup>3</sup>. Кузов автомобиля заполняется за 6...10 циклов.

За смену самосвалы вывозят 40 тыс. тонн руды и 5...6 тыс. кубометров вскрышных пород. За сутки транспортируется 120 тыс. т горной массы.

Например, среднемесячная выработка на один БелАЗ-75131 составляет 147 тыс. т, пробег с грузом достигает 18 000 км, грузооборот – 1720 тыс. т/км [27].

Основные проблемы доставки горной породы со дна карьера на верхние уровни (как для ЛГОК, так и для всего множества карьеров мира), как видно из изложенного, следующие: 1) низкие скорости доставки горной породы; 2) большая энергоёмкость как отдельных элементов, так и общего процесса доставки этой породы; 3) большая материалоемкость совокупности средств доставки и обеспечения их работы.

Снижению остроты этих проблем может послужить внедрение перспективной квантовой карьерной подъемно-транспортной техники, рассматриваемой здесь.

### **7.2.3. Математическая модель силового баланса и движения ККПТМ**

#### *Разложение вектора траста*

3D-пространственный вектор тяги (траст) в общей постановке разложим по ортам [81, 211, 212] (см. (2.9)).

Для рассматриваемой нами задачи описания курсового движения ККПТМ в плоскости угла тангажа  $\beta$  – формула покомпонентного разложения принимает вид (7.1), а в скалярной записи вид (7.2).

Графически это представлено на рис. 7.1.



Формулы (7.1) и (7.2) являются общими исходными для расчёта движения ККПТМ как по вертикали (отрыв груза от донной поверхности и его подъем), так и по горизонтали (перенос груза в пределах уровня карьера), а также в ситуации комбинированного движения по наклонным траекториям.

Строго вертикальному движению ККПТМ соответствуют векторы, расположенные на вертикальной оси (см. рис. 7.1). Продольному равномерному и ускоренному движению ККПТМ вперед (с реализацией прямой тяги) соответствует первый (голубой) квадрант круга обметания вектора траста. Тормозным продольным режимам и реверсу соответствует второй (розовый) квадрант.

Анализ силового баланса ККПТМ отличается от канонического силового анализа наземных ПТМ, что обусловлено вовлечением в уравнения силового баланса и движения новых для наземных транспортных средств сущностей и физических величин, проявляющихся при учете вертикальных сил: тяжести, вывешивания, воздушного сопротивления вертикальному перемещению, вертикальные ускорения.

*Уравнение силового баланса ККПТМ  
и формулы движения на его основе*

В качестве рабочей формулы для данного исследования привлечем и модифицируем уравнение силового баланса транспортного средства с КвД, выведенное выше [211, 212]:

$$\begin{aligned}
 F_T^2 = F_{Tx}^2 + F_{Tz}^2 = & (P_{w.x} + P_{j.x})^2 + (P_{w.z} + P_{j.z} + P_g)^2 = \\
 & \left( k_{w.x} S_{front} V_x^2 + \frac{G_{ККПТМ}}{g} a_x \right)^2 + \\
 & + \left( (k_{w.z} S_{план} V_z^2 + \frac{G_{ККПТМ}}{g} a_z) |F_{Tz} > G_{ККПТМ} + \min(F_{Tz}, G_{ККПТМ}) \right)^2,
 \end{aligned} \tag{7.13}$$

где  $F_T, F_{Tx}, F_{Tz}$  – траст и его координатные составляющие соответственно, Н;

$P_{w,x}$  – сила сопротивления воздуха горизонтальному движению, Н;

$P_{j,x}$  – сила сопротивления горизонтальному ускорению, Н;

$P_{w,z}$  – сила сопротивления воздуха вертикальному движению, Н;

$P_{j,z}$  – сила сопротивления вертикальному ускорению, Н;

$P_g = G_{\text{ККПТМ}}$  – часть вертикальной составляющей траста, идущей на нейтрализацию тяжести перемещаемого груженого ККПТМ, Н;

$V_x$  – текущая скорость продольного (курсового) движения ККПТМ, м/с;

$G_{\text{ККПТМ}}$  – вес ККПТМ (в зависимости от ситуации, как груженого так и негруженого), Н;

$k_{w,x}$  – коэффициент горизонтальной (продольной) обтекаемости ККПТМ воздухом, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$S_{\text{front}}$  – лобовая (фронтальная) площадь ККПТМ, м<sup>2</sup>;

$V_w$  – скорость продольного движения ККПТМ относительно воздуха (примем в данном исследовании  $V_w = V_x$ ), м/с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$a_x$  – продольное ускорение груженого ККПТМ, м/с<sup>2</sup>;

$k_{w,z}$  – коэффициент вертикальной обтекаемости ККПТМ воздухом, Н·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;

$S_{\text{план}}$  – площадь ККПТМ в плане, м<sup>2</sup>;

$V_z$  – скорость вертикального движения ККПТМ, м/с;

$a_z$  – вертикальное ускорение ККПТМ, м/с<sup>2</sup>.

Отметим, что  $G_{\text{ККПТМ}} = G_{\text{ККПТМ.0}} + G_c$ , где  $G_{\text{ККПТМ.0}}$  – вес порожнего (незагруженного) ККПТМ, а  $G_c$  – вес перемещаемого груза с его тарой.

Формула (7.13) является обобщенным выражением силового баланса ККПТМ, охватывающим следующие характерные режимы его работы:

- 1) исходное состояние ККПТМ с грузом (на дне карьера),  $F_{Tz} = 0$ ;
- 2) переходный режим частичного вывешивания груженого ККПТМ, когда  $0 < F_{Tz} < G_{\text{ККПТМ}}$ ;
- 3) граничный режим – с нулевым касанием груза опорной поверхности (без отлёта груженого ККПТМ вверх), когда  $F_{Tz} = G_{\text{ККПТМ}}$ ;

4) режим вертикального подъема ККПТМ с ускорением (при  $F_{Tz} > G_{\text{ККПТМ}}$ );

5) режим вертикального подъема ККПТМ с замедлением (при  $F_{Tz} < G_{\text{ККПТМ}}$ );

6) режим вертикального спуска с вниз направленным ускорением ( $F_{Tz} < G_{\text{ККПТМ}}$ );

7) режим вертикального спуска с вниз направленным замедлением ( $F_{Tz} > G_{\text{ККПТМ}}$ );

8) режим финальной фиксации ККПТМ (или выгрузки породы).

Имеется особенность использования формулы (7.13): член уравнения « $\min(F_{Tz}, G_{\text{ККПТМ}})$ » представляет собой усилие, направленное на преодоление гравитационной силы, создаваемой массой груженого ККПТМ: частично – когда при  $F_{Tz} \leq G_{\text{ККПТМ}}$  нет физической возможности отлёта комплекта вверх, либо при  $F_{Tz} > G_{\text{ККПТМ}}$  – когда с полным преодолением силы гравитации появляется физическая возможность отлёта ККПТМ от опорной поверхности за счет остатка силы  $R_{F_{Tz}} = F_{Tz} - G_{\text{ККПТМ}}$ .

В работе [63] автором сформирован ряд формул для частных ситуаций и режимов движения ККПТМ. Здесь полезны будут некоторые из них.

Скорость равномерного движения в горизонтальной плоскости  $V_x$  – уравнение (7.7).

Продольное ускорение полностью вывешенного ККПТМ  $a_x$  (при  $F_{Tz} = G_{\text{ККПТМ}}$ ): – (7.8).

Задав  $a_x = 0$ , можно определить максимально возможную продольную скорость вывешенного ККПТМ  $V_{x,\text{max}}$  по формуле (7.9).

При  $V_x = 0$ , продольное ускорение в начальный момент продольного движения вывешенного ККПТМ  $a_x$  определяется по формуле (7.10).

Вертикальное ускорение ККПТМ  $a_z$  (при  $F_{Tz} > G_{\text{ККПТМ}}$ ) – по формуле (7.11).

Задав  $V_z = 0$ , можно определить вертикальное ускорение в начальный момент подъема ККПТМ  $a_z$  по формуле (7.12).

Проведение анализа на базе совокупности всех приведенных и упомянутых формул может быть усилено привлечением соответствующих графических моделей. Как указывалось, нами использованы средства ППП *Maple*, в среде которого названные формулы запрограммированы с разнообразным графическим выводом [212].

#### 7.2.4. Сравнительный анализ времени доставки горной породы

Будем оценивать время доставки (а ниже и энергозатраты) порции горной породы массой 130 т с момента начала движения груженого ТС со дна карьера (сначала автомобиля Белаз-75131, а позже противопоставляемого ККПТМ). Зафиксируем результаты по доставке груза на перегрузочную площадку горизонта  $C-D$ .

Затем выполним расчет и сравнение общего времени доставки массы породы 130 т (ниже также и энергозатрат) на верхний горизонт  $E-F$ , начиная с момента начала движения груженого ТС со дна карьера и заканчивая разгрузкой на горизонте  $E-F$ . В этом случае перемещение массы груза 130 т традиционными средствами проводится в 3 этапа: автомобилем Белаз-75131 с выгрузкой на горизонте  $C-D$ , погрузкой экскаватором ЭКГ-8и на поезд, доставкой поездом на горизонт  $E-F$ . Доставка же посредством ККПТМ будет непрерываемой от начального до конечного пункта.

##### *Доставка со дна карьера на перегрузочную площадку самосвалом БелАЗ*

Оценим вариант с традиционной технологией. Даже при движении груженого самосвала БелАЗ-75131 с максимальной допустимой скоростью по бермам нижнего откоса 15 км/ч (не принимая в расчет падения скорости на поворотах и других препятствиях), при среднестатистическом пути доставки 2 км, время доставки составляет 8 мин.

*Доставка со дна карьера на верхний горизонт  
двумя традиционными ТС*

Доставка автомобилем заканчивается разгрузкой (2 мин), затем следует выдержка на перегрузочной площадке для консолидации груза с нескольких самосвалов и погрузки общего груза на тяговый поезд (30 мин), движение грузового состава (42 мин [90]) – в общей сложности 72 мин.

Грузоподъемность поезда 1040 т [27, 90] определяет число порций горной породы массой 130 т, заполняющей поезд, равным 8. Если фонд времени на работу с грузовым составом ( $30 + 42 = 72$  мин) привести к одной порции грузовой массы 130 т, то получим  $72 / 8 = 9$  мин. Тогда приведенный временной ресурс, отводимый на доставку 130 т породы со дна карьера на верхний горизонт, составит  $8 + 2 + 9 = 19$  мин.

*Доставка со дна карьера на перегрузочную  
площадку посредством ККПТМ*

Рассмотрим теперь вариант замены автомобильного транспорта квантовыми подъемниками (ККПТМ) на нижних горизонтах карьера. Вместо перемещения породы самосвалами по берам-серпантинам нижних горизонтов (см. позицию 5 на рис. 7.8) рассмотрим подъем породы до перегрузочной площадки посредством ККПТМ по прямоугольной траектории 8 (см. рис. 7.9) [213].

Заменяя самосвал БелАЗ-75131 для разового переноса порции породы массой 130 т, привлекаем ККПТМ с собственной массой 40 т (30 т масса силового кузова + 10 т масса КвД, опорных, крепежных, замковых и прочих конструктивных элементов (величину этой массы определяем экспертно [213])). Грузеный подъемник тогда имеет массу 170 т (весом  $\approx 1700$  кН).

Нетрудно представить, что конструкция ККПТМ, компонованная для транспортировки горной породы, оперативно собирается из двух частей: силового кузова и траверсы-спредера, включающей КвД.

Силовой кузов предназначен для размещения в нем горной породы. Для осуществления заполнения породой на дне карьера, посредством

экскаватора, кузов имеет открытый верх. После заполнения породой кузова сверху подходит спредер, и конструкция ККПТМ замыкается (крепёжные и замковые устройства в конструкции, естественно, имеются). Грузёный ККПТМ отправляется в путь, несомый вертикальной тяговой силой траста  $F_{Tz}$ , генерируемого в КвД и прикладываемого к силовому кузову. На разгрузочной площадке горизонта  $CD$  разгрузка ККПТМ может осуществляться как на грунт, так и на платформу тягового поезда. Для этого в конструкцию ККПТМ должно быть внесено устройство самосвального опорожнения кузова (с осью вращения с какого-либо борта кузова). В процессе этой разгрузки вектор траста должен уменьшаться соответственно изменяющейся массе ККПТМ. Силовой кузов может также ставиться на грунт или платформу поезда и отцепляться затем от спредера или замыкаться для возвращения на дно карьера за новой порцией породы.

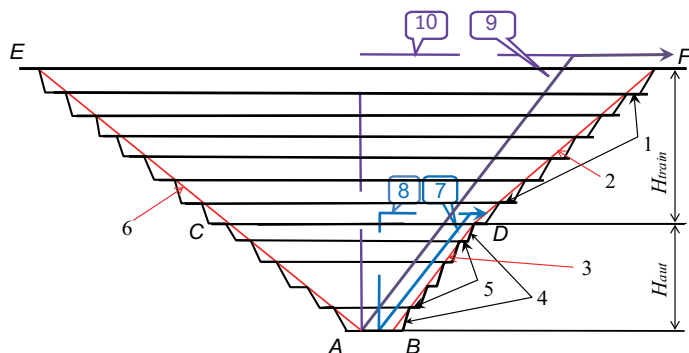


Рис. 7.9. Элементы карьера и движения перспективного ККПТМ в нем: 1 – бермы верхних горизонтов; 2 – откос верхнего рабочего борта карьера; 3 – откос нижнего рабочего борта карьера; 4 – откосы уступа; 5 – бермы нижних горизонтов; 6 – откос нерабочего борта карьера; 7 – наклонная траектория движения ККПТМ до перегрузки на ЖД; 8 – прямоугольная траектория движения ККПТМ до перегрузки на ЖД; 9 – наклонная траектория движения ККПТМ до наивысшего горизонта; 10 – прямоугольная траектория движения ККПТМ до наивысшего горизонта;  $H_{aun}$  – высота нижнего откоса;  $H_{ain}$  – высота верхнего откоса

Допустим, верхняя часть конструкции ККПТМ представляет собой траверсу-спредер (наподобие траверсы для подъема контейнеров [132, 177], однако большего размера и массы), оснащенную КВД. Остальные необходимые характеристики груженого ККПТМ, необходимые для моделирования, зададим экспертно:

$$k_{w,x} = 0,8 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; S_{front} = 10 \text{ м}^2; k_{w,z} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4; S_{план} = 20 \text{ м}^2.$$

По аналогии с обоснованием примера по переносчику контейнера в п. 7.1 и работе [63], примем величину максимального траста, превышающую общий вес подъемника примерно на 5–6 %, т. е. 1800 кН.

На рис. 7.10 представлены реализации трастовой характеристики ККПТМ: вертикальный максимальный траст  $F_{Tz,acc}$ , обеспечивающий подъем ККПТМ с ускорением по вертикалям прямоугольных траекторий 8 и 10 (рис. 7.10), и также максимальные, но наклонные трасты  $F_{T,acc}$  и  $F_{T,dec}$ , обеспечивающие движение уже вывешенного ККПТМ по горизонтальной части прямоугольных траекторий 8 и 10 (рис. 7.10). Углы  $\beta_{acc}$  и  $\beta_{dec}$  равны  $70,8^\circ$ .  $F_{Tz,acc} = 1800 \text{ кН}$ ,  $F_{Tz,dec} = 1600 \text{ кН}$ .  $F_{Tz,hov} = G_{\text{ККПТМ}} = 1700 \text{ кН}$ ,  $F_{Tx,ac} = -F_{Tx,dec} = 592 \text{ кН}$ .

Путь задан прямоугольная траектория 8 движения груженого ККПТМ (рис. 7.9):

- 1) вертикальный подъем на высоту 78 м (на 3 м выше линии горизонта  $CD$ ): с ускорением – затем замедлением до  $V_z = 0$ ;
- 2) горизонтальное перемещение на расстояние 90 м: равноускоренное–равнозамедленное до  $V_x = 0$ ;
- 3) опорожнение бункера.

Вертикальное ускорение обусловлено избытком вертикальной тяги над весом ККПТМ (т. е.  $1800 - 1700 = 100 \text{ кН}$ , см. рис. 7.10):

$$a_z = \frac{g}{G_{\text{ККПТМ}}} (F_{Tz,acc} - G_{\text{ККПТМ}}) = 9,8 \cdot (1800 - 1700) / 1700 = 0,576 \text{ м/с}^2 \text{ (что приемлемо).}$$

Тогда время подъема на высоту  $78 / 2 = 39 \text{ м}$ :  $t = \sqrt{2h / a_z} = \sqrt{2 \cdot 39 / 0,576} = 11,6 \text{ с}$ .

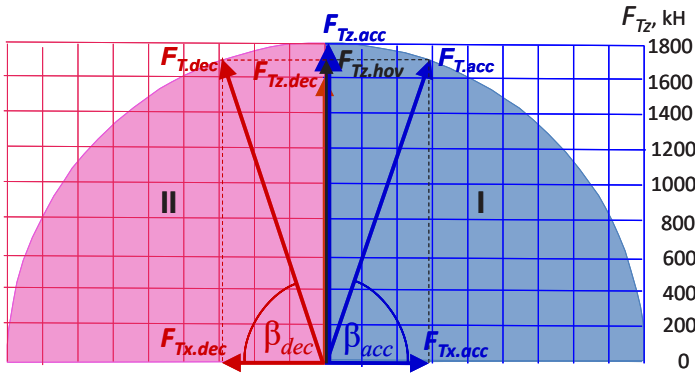


Рис. 7.10. Трастовая характеристика ККПТМ

и соответствие реализаций траста режимам движения:

$F_{Tz,acc}$  – вертикальный подъем с ускорением (либо вертикальный спуск с падением скорости);  $F_{Tz,hov}$  – висение (*hovering*);  $F_{Tz,dec}$  – вертикальный подъем с замедлением (либо вертикальный спуск с ростом скорости);  $F_{Tx,acc}$  – горизонтальное ускорение;

$F_{T,dec}$  – горизонтальное замедление;  $F_{Tx,acc}$  – горизонтальная компонента ускоряющего траста;  $F_{Tx,dec}$  – горизонтальная компонента замедляющего траста;  $\beta_{acc}$  и  $\beta_{dec}$  – углы наклона ускоряющего и замедляющего трастов, соответственно

Вертикальная скорость в момент выхода на высоту 39 м  $V_z = \sqrt{2a_z \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 0,576 \cdot 39} = 6,7$  м/с (что также приемлемо).

Оценим силу сопротивления воздуха на этой скорости:

$P_{w,z} = k_{w,z} S_{план} V_z^2 = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4 \cdot 20 \text{ м}^2 \cdot 6,7^2 \text{ м}^2/\text{с}^2 = 808 \text{ Н} = 0,808 \text{ кН}$ . Это составляет малую толику (0,8 %) на фоне реализуемого избытка вертикальной тяги. Поэтому пренебрежем фактором сопротивления воздуха для таких скоростей движения ККПТМ.

Этап замедления примем «зеркальным» предшествующему этапу разгона – выполняем его с ускорением  $-0,576 \text{ м}/\text{с}^2$ . Это реализуется недостатком вертикальной тяги до веса ККПТМ (т. е.  $1600 - 1700 = -100 \text{ кН}$ , см. рис. 7.10).



$$a_z = \frac{g}{G_{\text{ККПТМ}}} (F_{Tz.dec} - G_{\text{ККПТМ}}) = 9,8 \cdot (1600 - 1700) / 1700 = -0,576 \text{ м/с}^2.$$

Тогда общее время осуществления подъема на высоту 78 м:  $t = 11,6 \cdot 2 = 23,2 \text{ с}$ .

Горизонтальное движение на плече 90 м складывается аналогично из этапов Разгон – Замедление.

$$\text{Разгон: } a_x = \frac{F_{Tx.acc} \cdot g}{G_{\text{ККПТМ}}} = 592 \text{ кН} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 / 1700 \text{ кН} = 3,41 \text{ м/с}^2.$$

Время разгона на отрезке 45 м:  $t = \sqrt{2l/a_x} = \sqrt{2 \cdot 45 / 3,41} = 5,14 \text{ с}$ .

Этап замедления примем «зеркальным» предшествующему этапу разгона – выполняемым с ускорением  $-3,41 \text{ м/с}^2$ . Тогда общее время горизонтального движения на отрезке 90:  $t = 5,14 \cdot 2 \approx 10,3 \text{ с}$ .

Общее время доставки породы со дна карьера на перегрузочную площадку горизонта  $CD$ :  $t = 23,2 + 10,3 = 33,5 \text{ с}$ .

Сравним этот результат со временем доставки самосвалом БелАЗ-75131. При движении самосвала по бермам нижнего откоса со скоростью 15 км/ч, при среднестатистическом пути доставки 2 км, время доставки – 8 мин. То есть время доставки посредством ККПТМ в раз меньше времени доставки автомобилем ( $480 \text{ с} / 33,5 \text{ с} = 14$ ).

*Доставка со дна карьера на верхний горизонт E–F  
посредством ККПТМ*

Пусть задана прямоугольная траектория 10 (рис. 7.9) движения груженого ККПТМ:

1) вертикальный подъем на высоту 350 м: с ускорением – затем замедлением до  $V_z = 0$ ;

2) горизонтальное перемещение на расстояние 500 м: равноускоренное–равнозамедленное  $V_x = 0$ ; 3) опорожнение бункера.

Вертикальное ускорение обусловлено избытком вертикальной тяги над весом ККПТМ (т. е.  $1800 - 1700 = 100$  кН):

$$a_z = \frac{g}{G_{\text{ККПТМ}}} (F_{Tz,acc} - G_{\text{ККПТМ}}) = 9,8 (1800 - 1700) / 1700 = 0,576 \text{ м/с}^2 \text{ (что приемлемо).}$$

Тогда время подъема на высоту  $350 / 2 = 175$  м:  $t = \sqrt{2h / a_z} = \sqrt{2 \cdot 175 / 0,576} = 24,65$  с.

Вертикальная скорость в момент выхода на высоту 175 м  $V_z = \sqrt{2a_z \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 0,576 \cdot 175} = 14,2$  м/с (что также приемлемо).

Оценим силу сопротивления воздуха на этой скорости:

$P_{w,z} = k_{w,z} S_{\text{план}} V_z^2 = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4 \cdot 20 \text{ м}^2 \cdot 14,2^2 \text{ м}^2 / \text{с}^2 = 3629 \text{ Н} = 3,629 \text{ кН}$ . Это составляет незначительную величину (3,6 %) на фоне реализуемого избытка вертикальной тяги. Можно пренебречь фактором сопротивления воздуха в данном случае движения ККПТМ.

Этап замедления примем «зеркальным» предшествующему этапу разгона – выполняемым с ускорением  $-0,576$  м/с<sup>2</sup>. Тогда общее время осуществления подъема на высоту 350 м:  $t = 24,65 \cdot 2 = 49,3$  с.

Горизонтальное движение на плече 500 м складывается аналогично из этапов Разгон – Замедление.

Разгон (см.рис.5 квадрант I):

$$a_x = \frac{F_{Tx,acc} \cdot g}{G_{\text{ККПТМ}}} = 592 \text{ кН} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 / 1700 \text{ кН} = 3,41 \text{ м/с}^2.$$

Время разгона на отрезке 250 м:  $t = \sqrt{2l / a_x} = \sqrt{2 \cdot 250 / 3,41} = 12,1$  с.

Этап замедления (квадрант II) примем «зеркальным» предшествующему этапу разгона – выполняемым теперь с ускорением  $-3,41$  м/с<sup>2</sup>. Тогда общее время горизонтального движения на отрезке 500 м:  $t = 12,1 \cdot 2 = 24,2$  с.

Общее время доставки породы со дна карьера на берег карьера – горизонт  $E-F$ :

$$t = 49,3 + 24,2 = 73,5 \text{ с} \approx 1,3 \text{ мин.}$$

Сравним этот результат с суммарным временем доставки 130 т породы в варианте комбинации двух видов традиционного транспорта с перегрузкой между ними (напомним приведенное время было 19 мин). Констатируем, что доставка посредством ККПТМ занимает времени в  $19/1,3 \approx 14$  раз меньше.

### **7.2.5. Сравнительный анализ энергозатрат по доставке горной породы**

*Доставка породы со дна карьера на перегрузочную площадку самосвалом БелАЗ*

Расчет энергозатрат при перевозке породы самосвалом БелАЗ-75131 выполним (для подстраховки) двумя способами:

1) по нормативному расходу топлива на транспортную работу в г/(т·км);

2) по статистическому расходу топлива на подъем 1 т горной массы на 1 м высоты.

**Первый способ.** В соответствии с работой Леля Ю. И. [69] нормы расхода топлива карьерными самосвалами могут быть отражены номограммой рис. 7.11.

Для нашего случая норма  $N_a = f(L, m) = f(2,0; 3,0) = 100$  г/т·км. При перевозке 130 т породы на расстояние 2 км расход дизтоплива составит  $100 \text{ г/т·км} \cdot 130 \text{ т} \cdot 2 \text{ км} = 26 \text{ кг}$ .

**Второй способ.** В соответствии с работой Ворошилова Г. А. [29], зависимость удельного расхода дизтоплива БелАЗ-7519 (близкого по характеристикам к БелАЗ-55131) при движении на подъем ( $P$ ) от уклона ( $i$ ) и сопротивления качению ( $\omega_0$ ) может быть отражена номограммой рис. 7.12.

В нашем случае уклон  $i = 80 \text{ м} / 2000 \text{ м} = 0,04$ . Тогда для  $\omega_0 = 0,03$   $P = 2,7$  г/т·м. Для подъема горной породы массой 130 т на высоту 80 м потребуется расход дизтоплива

$$2,7 \text{ г/т·м} \cdot 130 \text{ т} \cdot 80 \text{ м} = 26,325 \text{ кг}$$

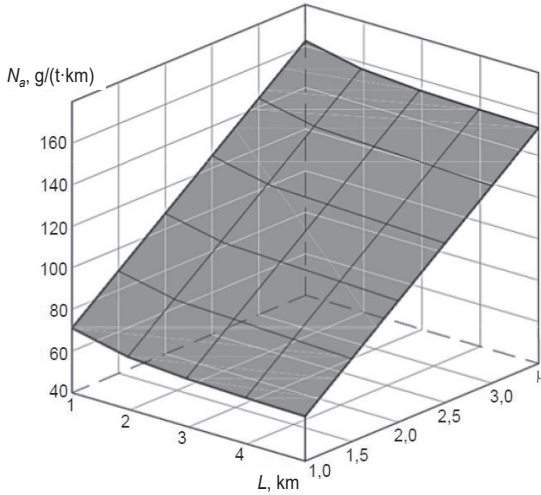


Рис. 7.11. Зависимость нормы расхода топлива карьерным автосамосвалом  $N_a$ , г/(т·км), от расстояния транспортирования  $L$  и коэффициента сложности трассы  $\mu$  [69]

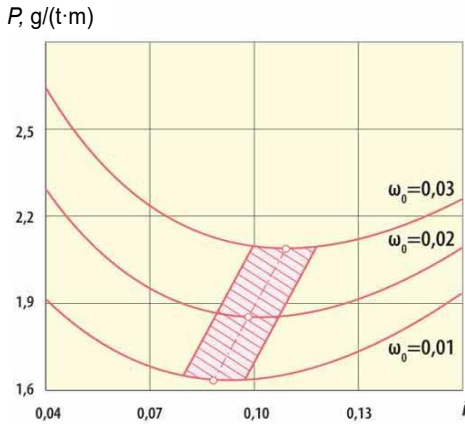


Рис. 7.12. Зависимость удельного расхода дизтоплива БелАЗ-7519 при движении на подъем ( $P$ ) от уклона ( $i$ ) и сопротивления качению ( $\omega_0$ ) [29]

Результаты вычислений двумя способами – близки. Остановимся на показателе 26 кг.

Переведем в Джоули:  $E_{Aut} = 26 \text{ кг} \cdot 42,7 \text{ МДж/кг} = 1110 \text{ МДж}$ .

*Доставка породы со дна карьера на верхний горизонт  
двумя традиционными ТС*

Погрузка породы в ж.д. платформы на горизонте  $CD$  производится экскаваторами ЭКГ-8и, имеющими норму удельного потребления  $1,11 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  [100].

Масса горной породы 130 т, при насыпной плотности железной руды  $2 \text{ т}/\text{м}^3$  [42] занимает объем  $65 \text{ м}^3$ . Таким образом, потребление энергии при загрузке 130 т руды на поезд посредством ЭКГ-8и составляет  $65 \text{ м}^3 \cdot 1,11 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3 = 72,15 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 259 \text{ 740 кДж} \approx 260 \text{ МДж}$ .

Энергозатраты на перевозку породы ж.д. поездом определим с привлечением данных Ворошилова Г. А. [29] по расходу электроэнергии на подъем 1 т горной массы на 1 м высоты.

Удельная энергоемкость ж.д. транспорта при работе на подъем горной массы из карьеров  $0,009\text{--}0,012 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}\cdot\text{м}$  [29]. Примем  $0,01 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{т}\cdot\text{м}$ . Тогда доставка 130 т на высоту 270 м потребует энергии:  $0,01 \cdot 130 \cdot 270 = 351 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \approx 1264 \text{ МДж}$ .

Полные энергозатраты на доставку породы со дна карьера на верхний горизонт двумя традиционными видами транспорта с перегрузкой между ними составят:  $1100 + 260 + 1264 = 2634 \text{ МДж}$ .

*Доставка со дна карьера на перегрузочную площадку  
посредством ККПТМ*

В варианте доставки посредством ККПТМ используется энергия физического вакуума для генерации несущего вектора траста.

Общий путь складывается из вертикальной и горизонтальной частей:  $L = 78 + 90 = 168 \text{ м}$ . Величина вектора траста на участке подъема с ускорением (39 м)  $F_{Tz,acc} = 1800 \text{ кН}$ , на участке подъема с замедлением (39 м)  $F_{Tz,dec} = 1600 \text{ кН}$ , на горизонтальных участках  $F_T = 1800 \text{ кН}$  (меняется лишь его направление при переходе с ускорения на замедление). Совершаемая работа  $A = 1800 \text{ кН} \cdot 39 \text{ м} + 1600 \text{ кН} \cdot 39 \text{ м} + 1800 \text{ кН} \cdot 90 \text{ м} = 294 \text{ 600 кДж}$ .

Особо отметим, что, несмотря на то, что движение по горизонтали инициируется горизонтальной составляющей траста  $F_T$ ,

т. е. силой  $F_{Tx} = 592$  кН, совершаемая работа при этом на горизонтальном участке 90 м определяется силой  $F_T = 1800$  кН, поскольку энергетика движения здесь связана с одновременным преодолением гравитационной силы (осуществляемым с энергозатратами) и поддержкой ККПТМ на высоте полета в пределах всего участка горизонтального движения.

С учетом того, что 10 % потока мощности (условно, с учетом результатов исследований [215]) затрачивается на поддержание работы КвД по извлечению энергии из физического вакуума и генерации траста, энергозатраты составят  $E_{\text{ККПТМ}} = A \cdot 1,1 = 324\,060$  кДж  $\approx 324$  МДж.

Сравним энергозатраты:  $E_{\text{Aut}} / E_{\text{ККПТМ}} = 1110 \text{ МДж} / 324 \text{ МДж} = 3,43$ . То есть энергозатраты при доставке посредством ККПТМ будут меньше в 3,43 раза.

*Доставка со дна карьера на верхний горизонт посредством ККПТМ*

Общий путь складывается из вертикальной и горизонтальной частей:  $L = 350 + 500 = 850$  м. Величина вектора траста на участке подъема с ускорением (175 м)  $F_{Tz,acc} = 1800$  кН, на участке подъема с замедлением (175 м)  $F_{Tz,dec} = 1600$  кН, на горизонтальных участках  $F_T = 1800$  кН (меняется лишь его направление при переходе с ускорения на замедление). Совершаемая работа  $A = 1800 \text{ кН} \cdot 175 \text{ м} + 1600 \text{ кН} \cdot 175 \text{ м} + 1800 \text{ кН} \cdot 500 \text{ м} = 1\,495\,000$  кДж = 1495 МДж.

С учетом того, что 10 % потока мощности затрачивается на поддержание рабочего процесса КвД, энергозатраты составят  $E_{\text{ККПТМ}} = A \cdot 1,1 = 1644500$  кДж  $\approx 1645$  МДж.

Сравним энергозатраты:  $E_{\text{Aut+Train}} / E_{\text{ККПТМ}} = 2634 \text{ МДж} / 1645 \text{ МДж} = 1,6$ . То есть энергозатраты при доставке посредством ККПТМ будут меньше в 1,6 раза.

Видим, что затраты времени на доставку горной породы из карьера при внедрении квантовых подъемников могут быть снижены на порядок, а энергозатраты – в 1,5–3 раза.

Несмотря на простоту примера движения ККПТМ по прямоугольной траектории с резкой сменой характера движения (с вертикального направления на горизонтальное, жесткую переброску вектора траста, а, следовательно, жесткий характер изменения ускорений ККПТМ), всё же, по мнению автора, удалось представить общую картину движения ККПТМ.

### 7.2.6. Обсуждение

Обобщение результатов вычислений помещено в табл. 7.1.

Движение ККПТМ, конечно же, может быть более сложным и изящным, с наклонными подъемами и спусками, маневрированием над объектами карьера, учетом разницы и тонкостей этапов подъема и спуска (в отличие от примененного здесь «зеркального» характера этих этапов).

Транспортные работы на ГОК требуют не менее половины как энерго-, так и общих экономических затрат. К тому же выемка пород, из-за стесненности и сложности транспортного пространства в карьере, – медленный процесс. Постоянно продвигающийся процесс подготовки АД и ЖД к транспортировке породы, обеспечивающий основной процесс вывоза, также затратный по временным и материальным ресурсам. ККПТМ могут существенно снизить все названные затраты: во-первых, благодаря возможности использования для перемещения воздушного пространства карьера; во-вторых, устраняя фронт трудоемких продвигающихся дорожных работ; наконец, заменяя существующую материалоемкую дорожную, транспортную и электросетевую технику.

При массовом использовании множества ККПТМ может быть внедрена диспетчеризация с разводкой траекторий в 3D-пространстве карьера и подчинению множества этих машин единой цели – быстрой доставке горной породы в места назначения.

Таблица 7.1

**Результаты сравнительного анализа двух  
способов перемещения горной породы**

Зона перемещения породы	Время доставки породы, мин		Кратность эффекта замены ТС, раз	Энергозатраты, МДж		Кратность эффекта замены ТС, раз
	Традиционный транспорт	ККПТМ		Традиционный транспорт	ККПТМ	
Нижние откосы	8	0,56	14	1110	324	3,43
Совокупность всех откосов	19	1,3	14	2634	1645	1,6



Внедрение ККПТМ может осуществляться поэтапно: сначала произойдут замены на автомобильном фронте (контур *ABCD* на рис. 7.8 и 7.9), затем замены охватят железнодорожный фронт (*CDEF*). В дальнейшей перспективе доставка горной породы со дна карьера непосредственно на обогатительные фабрики и отвалы, возможно, будет обеспечиваться только объединенными группами унифицированных ККПТМ под управлением АСУ.

Изъятие автомобильного и железнодорожного фронтов с откосов карьера позволит вести проходческие работы не только на дне, но и по откосам одновременно – это ускорит темпы разработки карьера в целом. Внедрение способов извлечения энергии физического вакуума, вероятно, приведет и к модернизации техники и технологии проходческих работ.

Детализация затронутых аспектов, несомненно, будет углубляться с освоением квантовой техники.

### *7.2.7. Заключение по разделу*

Исследование показало, что при условии конструктивного осуществления идеи и принципов бестопливной энергетики, базирующейся на извлечении энергии из физического вакуума, концепции представленного здесь ККПТМ и его использования в технологиях разработки карьеров вполне состоятельны.

Материальная реализация концепции ККПТМ потребует, однако, колоссальной исследовательской и внедренческой работы научно-технического сообщества по формированию и освоению бестопливной энергетики, находящейся пока в крайне зачаточном состоянии. По ходу развития этой энергетики будут совершенствоваться материалы, оборудование и технологии, что, конечно, определит отличие будущих устройств типа ККПТМ от начертанной здесь условной машины и технологии её использования.

В пространстве предстоящих глобальных поисковых и внедренческих работ по освоению энергии физического вакуума, если сузить проблематику до сферы транспорта, центральная роль

в прорыве к новым технологиям, конечно, будет принадлежать решению проблемы создания квантовых двигателей. Это потребует, уже в ближайшей перспективе, активизации поиска необходимых технических решений КвД и технологических возможностей изготовления этих двигателей.

### **7.3. Особенности локомотива с квантовым двигателем – квантовоза**

Попытаемся спрогнозировать возможные конструктивные и эксплуатационные особенности локомотива с КвД – квантовоза, в сравнении с традиционными локомотивами: тепловозами, электровозами и др. Требовать от этого прогноза соразмерной глубины анализа по всей номенклатуре свойств локомотива затруднительно из-за отсутствия вообще каких-либо данных по несуществующим пока конструкциям квантовозов. Однако приводимый ниже обзор, на взгляд автора, будет небесполезным для создателей будущих концепт-вариантов квантовозов.

КвД не потребует внешнего энергоносителя на основных режимах работы локомотива-квантовоза. КвД, создающий тяговую силу (траст), передаваемую непосредственно на корпус локомотива, делает силовой привод колес с трансмиссией ненужными – колёса действуют в ведомом режиме, общий КПД повышается. Частичное подвешивание экипажа за счет вверх направленной составляющей тяги можно будет использовать в монорельсовых, левитационных и вакуумных поездах. Формирование вертикальной вниз направленной составляющей тяговой силы может обеспечить поддавливание квантовоза (и мотор-вагонов) – что обеспечит возможность снижения необходимой собственной массы.

Попробуем проанализировать, в общих чертах, какие изменения претерпят свойства железнодорожного подвижного состава с квантовой тягой – квантовозы и квантопоезда.

1. Устранение контактной сети, сопровождающееся существенным экономическим эффектом и освобождением от многих

технических сложностей и ограничений (например, от скоростных ограничений по токосяему).

2. Возможность изменения рабочего (оперативного) веса локомотива (возможно и мотор-вагонов) на величину вертикальной составляющей вектора траста. Привлечем снова рис. 6.3. Если вектор траста  $\mathbf{F}$  КвД имеет техническую возможность фиксации его угла  $\beta$  в вертикальной продольной плоскости, то он разложим на две компоненты  $F_{Tx}$  и  $F_{Tz}$ . Тогда в первом и втором квадрантах отобразятся варианты с вывешиванием экипажа с силой  $F_{Tz}$ , направленной вверх, а в третьем и четвертом квадрантах отобразятся варианты с подавливанием экипажа с силой  $F_{Tz}$ , направленной уже вниз. Отметим, что здесь рассматриваем суммарную силу тяги, прикладываемую к квантовозу или мотор-вагону (без возможного распределения этой силы по конструктивным центрам масс экипажа).

3. Вывешивание экипажа особенно позитивно для автомобиля с КвД – квантомобиля, и это проработано в серии авторских публикаций [56, 58, 205]. Для железнодорожных транспортных средств это может оказаться полезным в левитационном, монорельсовом и трубно-вакуумном вариантах [64].

4. Подавливание экипажа вертикальной составляющей вектора траста, направленной вниз, может оказаться полезным для классического двухрельсового ж.д. транспорта. Собственный вес локомотива можно освободить от балластной части веса (вносимой ныне в конструкцию для обеспечения сцепления колес с рельсовым путем), компенсируя этот балластный вес вертикальной составляющей траста КвД. Более того, эту балласт-компенсаторную силу можно оперативно изменять в зависимости от режима работы (трогание, крейсерский режим и т. п.), профиля пути (подъем, спуск и т. п.). Отмеченное будет способствовать улучшению разгонной динамики и эксплуатационных скоростей поездов.

5. Если квадранты I и IV отведены для отображения равномерного и ускоренного поступательного движения квантовоза, то в квадрантах II и III отображаются замедления и торможения квантовоза со стороны КвД при развороте вектора траста назад.

Понятно, что сочетание горизонтальной  $F_{Tx}$  и вертикальной  $F_{Tz}$  составляющих вектора траста может составить основу эффективного и гибкого процесса торможения квантовоза, мотор-вагонов и поезда в целом.

6. В случае возможности «шарнирной» установки КвД на квантовозе, или по-другому, возможности 3D-обметания вектором тяги трехмерного пространства, т. е. появлением боковой составляющей траста, станет возможным создание центростремительной силы, противостоящей центробежной силе на вираже. Это привлекательно для высокоскоростных дорог, когда расчетный постоянный наклон пути (рассчитанный для определенной скорости движения) можно будет заменить гибко изменяемой (в зависимости от скорости поезда) поперечной составляющей вектора траста.

7. Силовая схема и нагрузка на компоненты локомотива изменятся. Если у существующих локомотивов тяговая сила возникает и реализуется в точках контакта ведущих колес с рельсами в виде суммарного толкающего усилия, передаваемого через мощную кузовную раму или мощную раму сочлененных тележек на продвижение как кузова, так и тележек, то у квантовоза несколько меньшая требуемая тяговая сила будет реализовываться как непосредственно толкающее/тянущее усилие на продвижение кузова локомотива, но всегда – с частичным тянущим усилием, прикладываемым к тележкам с теперь всеми ведомыми колесами. Ни мощные рамы тележек, ни силовой привод колес становятся ненужными. Конструкция становится проще и легче.

8. Точка приложения тяговой силы к корпусу экипажа – выше осей колес, тем более точек контакта с рельсами, что изменит механику движения и расчетные методики.

Установка КвД возможна в передней части экипажа, обеспечивая движение за счет тянущей силы; возможна – в центре тяжести (рис. 7.13).

9. Квантовоз не требует силового привода колес, также агрегата передачи (как у тепловозов) – это в пользу снижения веса и повышения к.п.д. силовой установки в целом. Отказ от трансмиссии

позволит обеспечить свободную подвеску колес. В состав конструкции экипажа войдут: корпус, КвД, ведомые колеса.

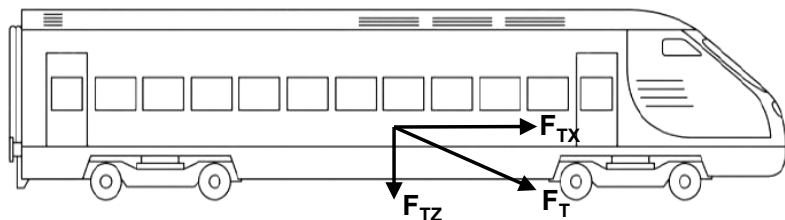


Рис. 7.13. Схема приложения траста  $F_T$  к корпусу в центре тяжести квантовоза ( $F_{Tx}$  и  $F_{Tz}$  – горизонтальная и вертикальная компоненты траста)

10. Возможность реализации повышенных курсовых ускорений, как отрицательных, так и положительных – как за счет реализации значительных величин траста, так и за счет исчезновения скольжения; при этом максимум их будет ограничиваться биомеханическими пределами пассажиров, прочностными характеристиками подвижного состава и грузов и безопасностью движения.

11. Квантопоезд может брать весьма крутые подъемы (даже не используя скоростной динамики).

12. Износ колес и рельсов – будет меньше.

13. С охлаждением КвД, его тепловым воздействием на экипаж и необходимости теплозащиты – пока неясно.

14. Влияние разброса атмосферных условий на работу КвД, по-видимому, будет отсутствовать.

15. Экология – химические выбросы меньше.

16. Уровень и биовлияние высокочастотных колебаний КвД – пока неясны.

17. Отсутствие необходимости регулярных дозаправок топливом (в случае замены тепловоза).

18. Претерпит изменение вся система технического обслуживания локомотивов и поездов.

19. Изменяются нормативы движения локомотивов и поездов.

### *Заключение по разделу*

Несмотря на отсутствие в мире опыта создания локомотивов с КвД – квантовозов, более того – каких-либо моделей и образцов, прогнозирование их основных гипотетических свойств оказалось возможным. Прогноз позволил выделить ряд несомненных преимуществ квантовозов (на фоне традиционных локомотивов): упрощение общей конструктивной схемы экипажа; более высокий уровень разгонной и тормозной динамики, улучшение химической экологичности; меньший износ колёс и рельсов, другое [64].

Очевидно, потребуются формирование новых расчетных методик, методов исследования и решений, например, по силовым схемам и нагрузкам на компоненты локомотива, пересмотр колебательных систем квантовоза и поезда в целом, другое.

Также очевидно, что появление массового КвД-транспорта приведет к значительным изменениям всей инфраструктуры и технологии работ на железнодорожном транспорте.

## **Глава 8. ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ КВАНТОМОБИЛЕЙ**

Представленный выше материал обозначил не только необходимость ускоренного создания Теории квантомобиля, но и предпосылки перманентной подготовки транспортной отрасли к соответствующему перевооружению.

Несмотря на то, что рассмотренные теоретические концепции ещё требуют всесторонней технической апробации и верификации со стороны научной общественности, всё же возрастающее число патентов и действующие лабораторные образцы антигравитационных устройств с квантовой тягой уже вселяют уверенность в появлении в обозримом будущем автомобилей с КвД – квантомобилей. И это определяет необходимость осмысления встречного движения со стороны автопрома и других транспортных комплексов: проведение расчетных и экспериментальных исследований тяговых сил КвД, мест установки КвД (трастеров) в/на корпусе транспортного средства, прогнозирование многофункциональности КвД и управления ими.

Ниже предпримем попытку планирования НИОКР для ранних стадий создания квантомобилей (после появления натуральных образцов КвД-трастеров): исследование формирования и приложения тяговой силы КвД при установке на экипаже КвД-трастеров – одного или нескольких (с поправкой материалов [58]).

### **8.1. Общая установка комплекса НИОКР**

Этап 1 – опробование первых опытных тяговых КвД и схем установки этих КвД на шасси существующих конструкций автомобилей.

Этап 2 – проработка схем подвеса квантомобиля на двух тяговых КвД.

Этап 3 – проработка схем подвеса квантомобиля на трёх КвД (тяговых и векторно-управляемых по горизонту).

Этап 4 – проработка схем подвеса квантомобиля на четырёх КвД (тяговых, векторно-управляемых по горизонту и по вертикали).

Этап 5 – проработка концептов квантомобилей на множестве КвД разной функциональности.

Естественно, будет необходимо рабочее пространство для перемещения и монтажа КвД, опробования различных схем установки, размещения лабораторного оборудования и персонала. Поэтому рационально использовать ходовые лаборатории на базе грузового автомобиля (особенно на первых этапах).

Для представления концептуальных аспектов продвижения по этапам настоящей работы нами выбран в качестве базового экипажа автомобиль КамАЗ-4326 (тот самый, который участвовал в гонке «Дакар» – см. рис. 8.1). А почему бы и нет? – Камский автозавод, с его мощной производственной и научно-исследовательской базой, передовыми технологиями, пытливым мышлением и амбициозными устремлениями инженерного корпуса, вполне может оказаться в первых рядах производителей будущих массовых квантомобилей. Автор, небезуспешно выполнивший в течение первых 18 лет (1974–1992 гг.) становления Камского автозавода для него множество НИР, и хорошо познавший потенциал этого коллектива, – убежден в этом.



Рис. 8.1. Автомобиль КамАЗ-4326 [43]



В табл. 8.1 приведены основные схемно-компоновочные особенности этапов НИОКР.

Таблица 8.1

План экспериментальных работ

Этап	Число КвД на опытном квантомобиле	Варианты мест установки
1	1	1 – 9
2	2	10 – 15
3	3	16 – 27
4	4	28 – 35
5	N	Произвольно

Варианты мест установки трастеров пронумерованы в соответствии с рис. 8.2.

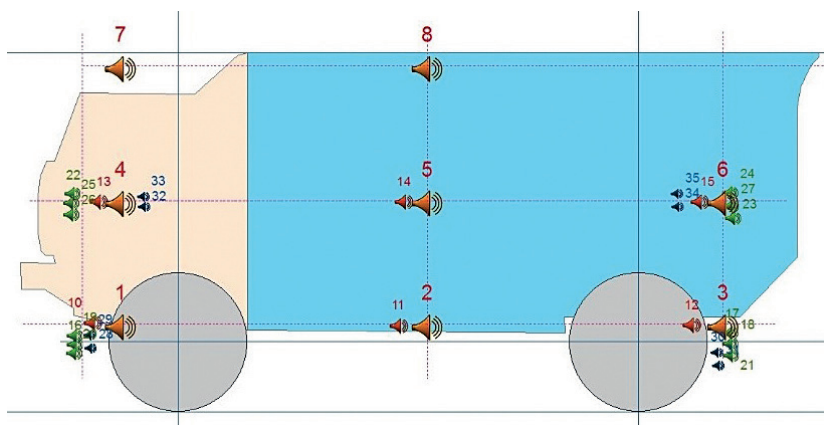


Рис. 8.2. Суммарная картина плана локаций КвД по четырем этапам НИОКР (вид сбоку): нумерация локаций соответствует табл. 8.1.

*Этап 1 – опробование первых опытных тяговых КвД  
и схем установки этих КвД на шасси существующих  
конструкций автомобилей*

На этом, начальном этапе будут осуществляться первые попытки проектирования и изготовления опытных образцов КвД автомобильного класса, уделяться внимание решению компоновочных вопросов, поиску оптимальных силовых схем квантомобиля общего характера, расчету общей тяговой динамики, рассмотрению колебательной системы экипажа, принципиальным вопросам обеспечения управляемости экипажа и безопасности его движения, безопасности персонала.

Естественно, начинать надо с одного КвД на автомобиль и только с горизонтальной курсовой тягой. Аналитически и экспериментально установка единственного КвД должна быть опробована и изучена на трёх горизонтальных уровнях: в плоскости осей колес автомобиля, в плоскости плавающего центра тяжести автомобиля, в максимально высокой точке крепления КвД. Также уместно опробовать и изучить установку КвД в трех вертикальных сечениях: в плоскости (и/или впереди) передней оси автомобиля, в плоскости с плавающим центром тяжести автомобиля, в плоскости (и/или сзади) задней оси автомобиля. На рис. 8.3 это отражено в виде условной матрицы аналитических и экспериментальных работ.

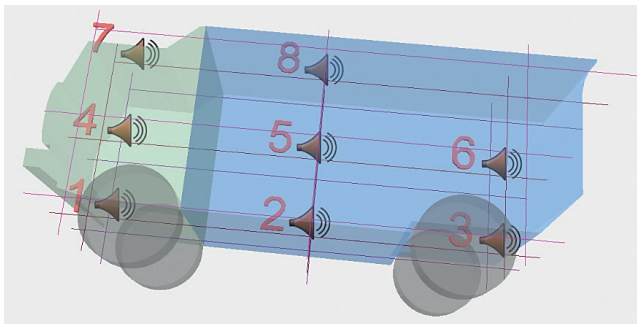


Рис. 8.3. Матрица плана эксперимента мест установки единственного КвД

Естественно, установка единственного КвД должна осуществляться в центральной продольно-вертикальной плоскости автомобиля. Точка 9 отсутствует из-за явной бессмыслицы по причине возникновения опрокидывающего (ключющего) момента (хотя для автопоезда это может иметь смысл).

*Этап 2 – проработка схем подвеса квантомобиля  
на двух тяговых КвД*

На этом этапе будут продолжены попытки проектирования и изготовления опытных образцов КвД автомобильного класса, уделяться внимание решению компоновочных вопросов, поиску оптимальных силовых схем квантомобиля, расчету тяговой динамики, рассмотрению колебательной системы экипажа, принципиальным вопросам обеспечения управляемости экипажа и вопросам безопасности.

Поскольку два соосно установленных КвД улучшают (в сравнении с одним КвД) продольную устойчивость, гибкость развесовки нагрузки по осям автомобиля, а также создают возможность бокового рыскания вектора тяги – дополнительно к аспектам первого этапа подключаются эти вопросы. Здесь появляется понятие КвД, векторно-управляемого по горизонту.

Аналитически и экспериментально установка двигателей должна быть опробована и изучена на двух горизонтальных уровнях: в плоскости осей колес автомобиля, в плоскости плавающего центра тяжести автомобиля. Уместно опробовать и изучить установку КвД в трех вертикальных сечениях: в плоскости (и/или впереди) передней оси автомобиля, в плоскости с плавающим центром тяжести автомобиля, в плоскости (и/или сзади) задней оси автомобиля.

На рис. 8.4 отражена матрица экспериментальных мест установки КвД. Выбор пар КвД по здравому смыслу имеет множество вариантов (по крайней мере 12). Естественно, установка обоих КвД должна осуществляться в центральной продольно-вертикальной плоскости автомобиля.

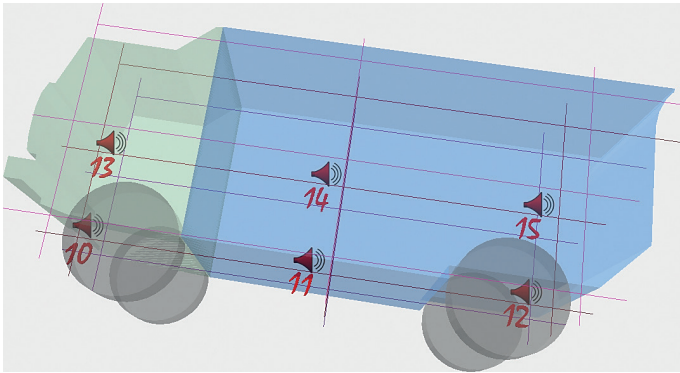


Рис. 8.4. Матрица плана эксперимента мест установки пары КвД

На этом этапе 2, когда по результатам работ этапа 1 состоятельность квантомобиля принципиально будет доказана, необходимо начинать ранние НИОКР по КвД-строению, квантомобилестроению, их технологическому обеспечению.

*Этап 3 – проработка схем подвеса квантомобиля на трёх КвД (тяговых и векторно-управляемых по горизонту)*

На этом этапе продолжаютсЯ НИОКР с детализацией вопросов, генерированных на этапах 1 и 2. Усиливается исследование продольной устойчивости. Добавляется изучение поперечной устойчивости. Осуществляется выделение одного (из трёх) КвД на управление траекторным движением.

Планэкспериментальнойустановки трёхКвДсостоитизчетырёх треугольников, образованных локациями этих КвД (см. рис. 8.5): 16–17–18; 21–19–20; 22–23–24; 27–25–26. В каждой из этих четырёх связок на первом месте стоит локация острого угла треугольника (расположенного на продольной оси автомобиля), а далее – две позиции бортового расположения.

Исследуются способности векторного управления по горизонту посредством КвД на продольной оси автомобиля. Возможно

исследование частичного подвешивания автомобиля горизонтальными тяговыми векторами боковых КвД.

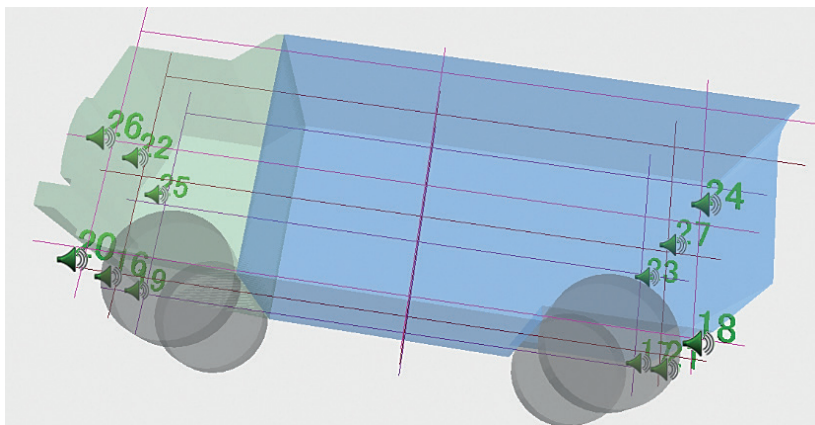


Рис. 8.5. Матрица плана эксперимента мест установки тройки КвД

На этом этапе 3 необходимо продолжать НИОКР по КвД-строению, квантомобиле-строению, их технологическому обеспечению.

По результатам этапов 1–3 желательна также подготовка монографий, учебных пособий, курсов специальной подготовки инженеров и преподавателей этой новой отрасли.

*Этап 4 – проработка схем подвеса квантомобилia на четырёх КвД (тяговых, векторно-управляемых по горизонту и вертикали)*

Цели НИОКР этого этапа: использование знаний, накопленных на трёх предыдущих этапах, для создания квантомобилia с частичным или даже полным замещением колёсной опоры, с реализацией продольной тяги, тракторного и бокового управления, возможности зависания. Отработка системы КвД – тяговых, векторно-управляемых по горизонту и вертикали.

Матрица плана расчетных и экспериментальных работ – на рис. 8.6.

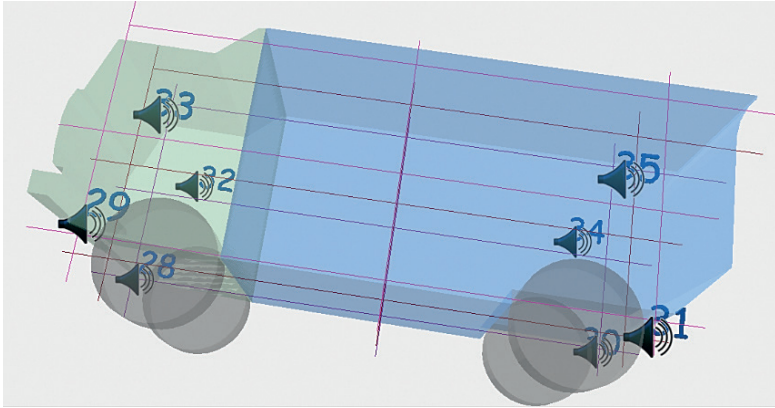


Рис. 8.6. Матрица плана эксперимента мест установки четырёх КвД

Суммарная картина плана локаций КвД по всем четырем этапам НИОКР отражена на рис. 8.2 и 8.7.

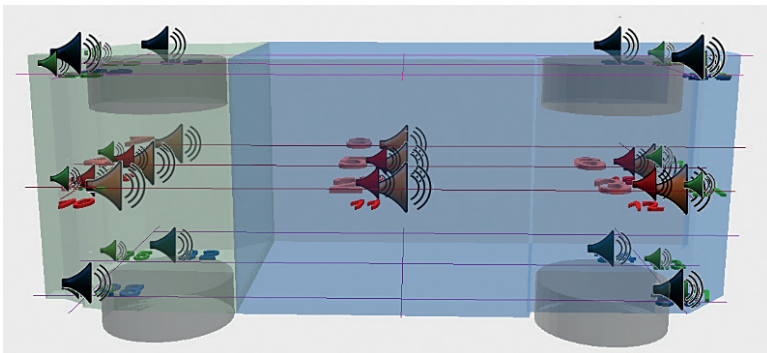


Рис. 8.7. Суммарная картина плана локаций КвД по четырем этапам НИОКР (вид снизу)

На этом этапе 4 необходимо выполнение пилотных проектов по внедрению предприятий КВД-строения, квантомобиле-строения, их технологической оснастки.

По результатам этапов 1 – 4 необходима подготовка монографий, учебных пособий, курсов подготовки инженеров и преподавателей этой отрасли квантомобилестроения, внедрение соответствующих специальностей в вузах и колледжах.

*Этап 5 – проработка концептов квантомобилей  
на множестве КвД разной функциональности*

Это этап дальней перспективы. НИОКР будут посвящены утонченной функциональности комплекса КвД на квантомобиле, возможному отказу от опорных колёс, реализации, по сути дела, концепции квантолёта.

## Заключение

Рассмотрение достижений физики в области извлечения энергии физического вакуума квантовыми двигателями (КвД), прогнозирование перспектив внедрения КвД в объекты транспорта – квантомобили, обосновало необходимость формирования Теории квантомобилия.

1. Проведены общие структурные построения Теории квантомобилия. Введены основные понятия и определения. Представлен широкий диапазон применимости понятия «квантомобиль»: от классического автомобиля, но с КвД (в самом узком смысле конструктивного состава и лишь продольным движением экипажа), до всесреднего мультимодального квантомобилия (ВМК) с настраиваемой конфигурацией корпуса и системой управления под среду движения.

Поочередно рассмотрены отдельные аспекты Теории.

2. Освещены понятия физического вакуума, концепции КвД, вопросы формирования и использования квантовой тяги (траста) КвД (трастера). Из множества представлений и моделей физического вакуума, развиваемых различными коллективами по миру, автор, для развития инженерной концепции квантомобилия, предпочел Теорию Суперобъединения Леонова В. С. с соответствующей реализацией КвД – как наиболее конструктивную по построению и имеющую лабораторно-экспериментальное подтверждение работоспособности.

3. Рассмотрены вопросы движения наземного квантомобилия – только с продольным вектором траста. Начав с выявления функциональных и конструктивных различий автомобиля и квантомобилия, автор закончил эту часть исследования представлением графика сравнения тягового баланса двух экипажей. Нашли отражение два важных фактора в пользу квантомобилия: 1) увеличение динамики движения за счет устранения трансмиссии и вывода из силового привода ведущих колес; 2) возможность реализации ускорений экипажа более  $0,8g$  – благодаря устранению необходимости сцепления ведущих колес с ОП.



Показано различие в генерации тяговой силы сравниваемых типов экипажей, оценено отличие сил сопротивления движению. Названное подкреплено численным примером оценки энергетики квантомобиля на фоне автомобиля-аналога. В сравнении с аналогом КамАЗ-4326 энергозатраты квантомобиля в 2–3 раза меньше (в зависимости от дорожных условий).

4. Подключено рассмотрение движения квантомобиля в плоскости тангажа, обеспечиваемого наклонным вектором траста. Анализ силового баланса квантомобиля при наличии вертикальной составляющей вектора траста приводит к отличию от канонического анализа автомобиля, что обусловлено вовлечением в уравнение силового баланса квантомобиля новых для наземного ТС сущностей, проявляющихся при учете вертикальных сил: тяжести, вывешивания, воздушного сопротивления вертикальному перемещению, вертикальные ускорения.

Сформировано обобщенное уравнение силового баланса квантомобиля (УСБК) для движения в плоскости тангажа (формула 4.8)), а также его частные случаи (4.9–4.19). Они использованы для расчета демонстрационных примеров.

Численные примеры для квантомобиля весовой категории КамАЗ-4326 позволили продемонстрировать построение Скоростных характеристик экипажа для множества значений коэффициента сопротивления опорной поверхности – как нулевой вариант вывешивания (степень вывешивания  $\gamma = 0$ ) (рис. 4.3).

Введено понятие Трастовой характеристики скоростного среза силового баланса – в виде диаграммы пространственного использования траста (зависимости необходимой величины траста от угла его наклона  $\beta$  для обеспечения выбранной скорости движения) (рис. 4.4). Трастовая характеристика расширена на множество значений коэффициента сопротивления ОП (рис. 4.6).

С привлечением УСБК и его частных случаев выявлен характер зависимости величины траста, необходимого для равномерного движения на заданной скорости, от степени вывешивания экипажа (рис. 4.7). Анализ показал, что при средней степени вывешивания

(при  $\gamma \approx 0,3 \dots 0,7$ , а  $\beta \approx 35\text{--}55^\circ$ ) выявляются наибольшие запасы тяги в использовании траста (рис. 4.6 и 4.7).

Двухмерный графический подход – прост для интерпретации расчетов по УСБК, но недостаточен для демонстрации топологии зависимостей, учитывающих одновременно изменение силового баланса с изменением скорости движения при изменяющемся трасте (его величины и направления). А стало быть, этот подход недостаточен для выявления запасов тяги и предельных возможностей экипажа с КвД по всему скоростному диапазону движения.

5. Возможности 2-мерного графического представления, приемлемого для силового анализа автомобиля, недостаточны для анализа квантомобиля, поскольку такое представление неспособно передать компонентную раскладку траста, представляемую диаграммой типа рис. 4.1. Объединить возможности диаграмм типа рис. 4.1, 4.3 и 4.6 способна 3D-модель.

В среде ППП *Maple* построена графическая 3D-модель использования траста – 3D-МИТ (рис. 5.1–5.8). Основным результатом этих построений явилось формирование графоаналитического базиса для будущих оптимизационных расчетов траекторий движения квантомобиля, изменения траста его КвД и соответствующих управляющих воздействий.

Трехмерные графические образы реализации траста в пространстве «скорость экипажа – горизонтальная компонента – вертикальная компонента траста», совместно с ограничением в виде цилиндрической поверхности максимального траста КвД, позволили визуализировать области наличия ресурсов тяги для обеспечения динамики движения квантомобиля.

Графический анализ с привлечением образов 3D-МИТ, в частности, показал, что при одной и той же величине траста максимальная скорость экипажа в частично вывешенном состоянии в полтора раза выше скорости экипажа в невывешенном состоянии – и это только лишь за счет направления вектора траста. Последнее является ещё одним подтверждением того, что в каждом конкретном случае необходим поиск оптимальных значений

величины и направления траста в срединной части степени вывешивания ( $\gamma \approx 0,3 \dots 0,7$ ).

Модель 3D-МИТ способна намечать и оценивать возможные варианты траектории изменения вектора траста в процессе разгона экипажа, что весьма полезно для выработки оптимальных законов управления вектора траста (его величиной и направлением) (см. рис. 5.11).

Даны рекомендации по включению в 3D-МИТ Базовых регуляторных характеристик (БРХ) КвД – для поиска законов регулирования в поле от двухрежимных до всережимных вариантов (рис. 5.12).

Даны концептуальные рекомендации по дальнейшему развитию графоаналитического базиса исследований квантомобиля. Естественным будет развитие представленной модели по пути возрастающей сложности. На следующих этапах должно быть запрограммировано целиком Обобщенное уравнение движения квантомобиля (с учетом крена и рыскания), далее должен быть осуществлен переход к дифференциальным моделям движения экипажа, подключение модели управления КвД, затем переход к оптимизационным моделям траекторного управления движением, разработка специальной аэродинамики квантомобиля-квантолёта (с оперением и без, разновидностями шасси), индифферентное движение по горизонту (комплексирование в одно целое курсового и бокового движений), наконец, переход к конструкции летающей тарелки. По мнению автора, выполнение расчетно-аналитической части всех перечисленных работ способны обеспечить ППП *MatLab+Simulink* и *Maple*.

Сформировано понятие Всесреднего мультимодального квантомобиля (ВМК) – как экипажа, способного функционировать на земле, в воздушном, водном пространствах и на стыке этих сред. Определено 10 характерных режимов движения ВМК в этих средах – от воздушного квантолёта до подводной квантомарины (табл. 6.1).

Рассмотрено наследование ВМК и их математическими моделями свойств традиционных ТС и их ММ.

Затронуты аспекты математического моделирования ВМК. Особое внимание уделено выбору систем координат (СК) для моделей ВМК, поскольку обзор всего множества вариантов применения СК (даже внутри видов ТС и способов их движения) обнаружил существенную разнорядицу в этом. Обращено внимание на тенденцию гибкого подхода к применению СК в последних версиях продвинутых ППП, например, *MatLab-Simulink*.

Отмечены оригинальные гипотетические конструкционные возможности ВМК: квантовые управляющие трастеры; спуск/подъем ВМК в режиме подлодки посредством лифта и антилифта вектора траста (что освобождает от необходимости использовать балластную воду); использование антилифта для увеличения сцепления приотпленного ВМК с грунтом; использование боковой компоненты вектора траста для компенсации центробежной силы на поворотах; и другие.

Осуществлено расширение использования квантовой тяги КвД на класс подъемно-транспортных машин: портовых, карьерных, а также – на ж.д. транспорт.

Исследование показало, что при условии конструктивного осуществления идей и принципов, базирующихся на извлечении энергии из физического вакуума, концепция представленного квантового ПТМ для порта вполне состоятельна. Подъемные машины могут быть заменены КПТМ. Более того, несколько типов ПТМ и ТМ, используемых на терминалах и складах в последовательности технологических операций обработки груза, могут быть заменены одним универсальным КПТМ, осуществляющим непрерывное перемещение груза, без перегрузки с одного вида ТС на другой.

Группировки КПТМ смогут стать действенным средством для борьбы с чрезвычайными ситуациями: морскими катастрофами, лесными пожарами, происшествиями в горах и другими, поскольку генерация лифта у КПТМ не зависит ни от климатических условий, ни от запасов топлива на борту.

Сформирована концепция и рабочая гипотеза функционирования ПТМ с квантовой тягой для разработки карьеров (Квантовой

карьерной подъемно-транспортной машины – ККПТМ) – как идейный базис модернизации технологии разработки открытых горных карьеров.

Для расчета силового баланса и движения ККПТМ привлечена и приспособлена ММ портовой КПТМ. Рассмотрены численные примеры перемещения породы напрямую со дна карьера на верхний горизонт посредством ККПТМ в сравнении с традиционной схемой «автомобиль на серпантине – выгрузка на промежуточной площадке – погрузка в ж.д. состав – ж.д. доставка по спирали на верхний горизонт».

Затраты времени на доставку горной породы из карьера при внедрении квантовых подъемников могут быть снижены на порядок, а энергозатраты – в 2–3 раза (см. табл. 7.1). Совокупные материальные издержки на функционирование открытых карьеров при внедрении рассмотренной квантовой технологии доставки породы могут быть существенно снижены.

В плане первых исследовательских действий при появлении работоспособных КвД будет поиск мест размещения этих трастеров на корпусе квантомобиля – оптимальных с точки зрения обеспечения управляемости и устойчивости экипажа (см. рис. 8.2–8.7).

Рассмотрено размещение трастеров на опытных концептах квантомобилей. Дан прогноз дальнейших исследований.

## Библиографический список

1. Автомобили-амфибии. Эволюция от 1950-х годов до наших дней. <https://mexanizm.livejournal.com/34183.html>.
2. Автомобиль-подлодка: Submarine Car. <https://www.popmech.ru/vehicles/265152-avtomobil-podlodka-submarine-car/>.
3. *Агейкин, Я. С.* Проходимость автомобиля / Я. С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. *Айдаркин Д. В.* Векторная алгебра и метод координат: учеб. пособие / Айдаркин Д. В., Поленищенко. Ульяновск: УВАУ ГА, 2007. – 116 с. [http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2014/Aidarkin\\_Polenishchenko\\_1.pdf](http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2014/Aidarkin_Polenishchenko_1.pdf).
5. *Алексеев, В. Е.* Создание комплекса геопространственной основы на территорию ОАО «Лебединский горно-обогатительный комбинат». *geomatics* №2'2012 с. 35–38. <https://sovzond.ru/upload/iblock/b7b/b7bf534d-70f8a22651d231947819aa4b.pdf>.
6. *Амелькин Н. И.* Кинематика и динамика твердого тела (кватернионное изложение). МФТИ. – М., 2000. – 61 с.
7. *Анисимов П. С.* Выбор осей координат при оценке колебаний вагона с несимметрично расположенным грузом. *МИР ТРАНСПОРТА*, т. 13, № 4, С. 16–23. 2015. <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/479/738>.
8. *Антонов А. С., Магидович Е. И., Коновович Ю. А., Прозоров С. П.* Армейские автомобили. – М., Воениздат. 1970 – 522 с.
9. *Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А.* Магнитолевитационная транспортная технология / под ред. В. А. Гапановича. – М.: Физматлит, 2014. – 476 с.
10. Аэродинамика самолета. Взлет самолета. <https://nasamoletah.ru/sovety/kak-vzletaet-i-letaet.html#i-5>.
11. Аэродинамическое обоснование взлета самолета. <https://lektsia.com/1x6210.html>.
12. Аэродинамика подднищевой зоны автомобиля. <http://reno-symbol.ru/texty/poddnisch.html>.
13. *Базаров И. П.* Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с. – ISBN 5-06-000626-3.
14. *Балонин Н. А.* Новый курс теории управления движением. – СПб.: Изд-во С.-Петербур.ун-та, 2000. 160 с.
15. *Бартини Р. О.* Некоторые соотношения между физическими константами // Доклады Академии наук СССР. – М., 1965. – Т. 163(4). – С. 861–864.
16. *Бартини Р. О.* Соотношения между физическими величинами // в сб.: «Проблемы теории гравитации и элементарных частиц» / под ред.

К. П. Станюковича. – М.: Атомиздат, 1966. – С. 249–266. – URL: [http://www.univer.omsk.su/omsk/Sci/Bartini/Bartini\\_1.pdf](http://www.univer.omsk.su/omsk/Sci/Bartini/Bartini_1.pdf)

17. *Бартини Р. О., Кузнецов П. Г.* Множественность геометрий и множественность физик // Моделирование динамических систем. Вып. 2. Труды семинара «Кибернетика электроэнергетических систем». – Брянск, 1974. – URL: <http://www.metodolog.ru/01380/01380.html> (дата обращения 26.04.2017).

18. *Басин А. М.* Ходкость и управляемость судов: учеб. пособие для ВУЗов водного транспорта. – М., Транспорт. 1977, 456 с.

19. *Басин А. М., Анфимов В. Н.* Гидродинамика судна. – Л.: изд-во «Речной транспорт», 1961. – 684 с. [https://dl.booksee.org/genesis/200000/61b183c43080e9fbddd78e2e5c74490/\\_as/](https://dl.booksee.org/genesis/200000/61b183c43080e9fbddd78e2e5c74490/_as/).

20. *Баяндина Т. А., Балакин В. Л.* Математические модели движения летательных аппаратов: электрон. курс лекций / В. Л. Балакин, Т. А. Баяндина; Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королёва (Нац. исслед. ун-т). – Самара, 2013.

21. БелАЗ-75131: технические характеристики. <https://trucksreview.ru/belaz/belaz-75131-tehnicheskie-harakteristiki.html>.

22. *Бень Е.* Модели и любительские суда на воздушной подушке: пер. с польск. – Л.: Судостроение, 1983. – 128 с.

23. *Большаков Ю. И.* Элементарная теория подводной лодки. М., Воениздат, 1977, 134 с.

24. *Борисов Р. В.* и др. Статика корабля. – 2005. 256 с. <https://deckofficer.ru/titul/study/item/stat>.

25. *Борисова Е.* За последние 4 года уже 8 компаний провели тестовые полеты летающих автомобилей. <https://www.rzd-partner.ru/logistics/news/za-poslednie-4-goda-uzhe-8-kompaniy-proveli-testovye-polety-letayushchikh-avtomobiley/>.

26. *Ваганов А. Б., Тан Н. Н.* Динамика судна при сложном внезапном воздействии внешних сил. <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-sudna-pri-slozhnom-vnezapnom-vozdeystvii-vneshnih-sil>.

27. *Васильев В.* Основные средства Лебединского ГОКа. <https://os1.ru/article/6592-osnovnye-sredstva-lebedinskogo-goka-ch-1>.

28. *Волков Е. В.* Теория движения автомобиля: монография / Е. В. Волков. – Хабаровск: изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 204 с.

29. *Ворошилов, Г. А., Лель Ю. И.* Энергоемкость транспортных систем карьеров: оценка и перспективы. <http://library.stroit.ru/articles/trankar/>.

30. Всесредный беспилотник. <http://www.rosinform.ru/za-rubezhom/861296-vs srednyy-bes pilotnik/>.

31. *Гордеев В. Н.* Кватернионы и бикватернионы с приложениями в геометрии и механике / В. Н. Гордеев. – Киев: изд-во «Сталь», 2016. – 316 с.
32. Горение. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5>.
33. *Гуцевич Д. Е.* Моделирование поведения летательного аппарата самолетного типа с автоматическим управлением в различных режимах полёта // Математическое моделирование, компьютерный и натуральный эксперимент в естественных науках. 2018. №1. <http://mathmod.esrae.ru/>.
34. Девять этапов развития экранопланов. <https://warspot.ru/2356-9-etapov-razvitiya-ekranoplanov>.
35. *Демешко Г. Ф.* Проектирование судов. Амфибийные суда на воздушной подушке. Книга 2 / Г. Ф. Демешко. – СПб.: Судостроение, 1992.
36. *Дзен.* Как работает железная дорога Лебединского ГОКа. <https://zen.yandex.ru/media/b282/kak-rabotaet-jeleznaia-doroga-lebedinskogo-goka-5bb4fa56049c1c00aa162763>.
37. *Дирак П. А.* Собрание научных трудов / под ред. А. Д. Суханова. – М.: Физматлит, 2002–2004. – (Серия «Классики науки»).
38. *Егер С. М.* Сборник 75 лет МАИ. / Егер С. М., Матвеев А. М., Шаталов И. А. [https://oat.mai.ru/book/glava05/5\\_6/5\\_6.html](https://oat.mai.ru/book/glava05/5_6/5_6.html).
39. *Заев Н. Е.* Бестопливная энергетика (проблемы, решения, прогнозы). Памяти П. К. Ощепкова. – М., 2001. – URL: [http://www.rusphysics.ru/files/Saev.Beztoplinnaya\\_%20energetika.pdf](http://www.rusphysics.ru/files/Saev.Beztoplinnaya_%20energetika.pdf).
40. *Зимелев Г. В.* Теория автомобиля. – М., Машгиз. 1959. – 156 с.
41. *Иванников С. В., Родионов Г. Л., Сидоренко А. С.* О построении математической модели движения автомобиля. <http://www.trudymai.ru/upload/iblock/363/o-postroenii-matematicheskoy-modeli-dvizheniya-avtomobilya.pdf>.
42. Инженерный справочник DPVA.ru. (2019) Плотность насыпная. <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsDensity/PlotnostUgolOtkosaTreniyaSypuchihMaterialov/>.
43. КамАЗ-мастер: что мы знаем о легендарной гоночной команде. – URL: [https://mhealth.ru/technics/garage/kamaznyj\\_fond/](https://mhealth.ru/technics/garage/kamaznyj_fond/).
44. *Карно С.* Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу. – М.; Л.: Госиздат, 1923.
45. *Кладов Д. Ю., Трифонова О. И., Буренин В. В.* Остойчивость машины-амфибии при движении по воде, МАДИ. 2017. <https://cyberleninka.ru/article/n/ostoychivost-mashiny-amfibii-pri-dvizhenii-po-vode>.
46. Колебания локомотива. [https://studref.com/541364/tehnika/kolebaniya\\_lokomotiva](https://studref.com/541364/tehnika/kolebaniya_lokomotiva).



47. *Константинов С. И.* Космическая среда, парадоксы электродинамики и устройства на субатомном уровне. –
48. *Косинов Н. В., Гарбарук В. И., Поляков Д. В.* Энергетический феномен вакуума. 2003. – URL: <http://www.shramenko.kiev.ua/top/physics/studies/5.shtml>.
49. *Котиков Ю., Будыко Ю., Лисицын А.* Использование модифицированных универсальных характеристик для оценки топливной аппаратуры автомобильных двигателей. Труды ЦНИТА, № 71, Л., 1978, с. 62–67.
50. *Котиков Ю. Г.* Структура системы формирования оценок показателей двигателей подвижных машин // Двигателестроение. 1982. № 5. – С. 37–40.
51. *Котиков Ю. Г.* Анализ энергоэффективности транспорта с помощью измерителя Тран//Интегрированная логистика. – 2005. – № 3. – С. 15–20.
52. *Котиков Ю. Г.* Энергетическая эффективность автотранспортного комплекса // Вестник транспорта. – 2005. – № 4. – С. 37–39.
53. *Котиков Ю. Г., Ложкин В. Н.* Транспортная энергетика. – М.: Издат. центр «Академия», 2006. – 272 с.
54. *Котиков Ю. Г.* Методика оценки энергоэффективности транспорта с привлечением сущности Transfer Бартини // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 6 (65). – СПб.: СПбГАСУ. – С. 271–279. DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-6-271-279.
55. *Котиков Ю. Г.* Использование сущности Volergy (L8T–4 таблицы Бартини) для оценки энергоэффективности транспортно-складского обслуживания 3D пространственных объектов. // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 5(70). – СПб.: СПбГАСУ. – С. 182–189. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-182-189.
56. *Котиков Ю. Г.* Конструктивные и эксплуатационные особенности автомобиля с квантовым двигателем // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ, 2018. – № 1 (66). – С. 164–174. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-1-164-174.
57. *Котиков Ю. Г.* Квантомобиль: исследование формирования и приложения тяговой силы // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4 (69). СПб.: СПбГАСУ. – С. 164–174. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-189-198.
58. *Котиков Ю. Г.* Энергетика транспорта: моногр. / Ю. Г. Котиков; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – 206 с.
59. *Котиков Ю. Г.* Тягово-скоростные свойства квантомобилia // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ, – 2019. – № 1 (72). – С. 168–176. DOI 10.23968/1999-5571-2019-15-6-168-176.

60. *Котиков Ю. Г.* Расчетное исследование силового баланса квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 2(73). СПб., СПбГАСУ. С. 147–152. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-2-147-152.
61. *Котиков Ю. Г.* Графоаналитическое исследование баланса сил квантомобиля в плоскости тангажа // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4(75). СПб., СПбГАСУ. С. 126–133. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-4-126-
62. *Котиков Ю. Г.* Трехмерная модель использования траста двигателя квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 5(76). СПб., СПбГАСУ. С. 237–248. DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-5-237-248.
63. *Котиков Ю. Г.* Оценка возможности использования квантовых транспортных средств в рабочем процессе порта // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 1(78). СПб., СПбГАСУ. С. 173–181. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-173-181.
64. *Котиков Ю. Г.* Особенности локомотива с квантовым двигателем – квантовоза. Третья международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (Санкт-Петербург, 23–25 октября 2019 г.): сборник трудов: в 2-х частях / под ред.: А. А. Краснощека, П. К. Рыбина. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2020. – Ч. 2: Логистические технологии и управление на транспорте. Транспортное образование. С. 154–162.
65. *Котиков Ю. Г.* Квантомобиль как всересное транспортное средство // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ, – 2020. – № 4 (81). – С. 182–188. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-4-182-188.
66. *Котиков Ю. Г.* Использование свойств транспортных средств в концепте всересного мультимодального квантомобиля // Вестник гражданских инженеров. – СПб.: СПбГАСУ. – 2020. – № 6 (83). – С. 195–205. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-6-195-205.
67. *Лайн В.* Сверхсекретные архивы Теслы: специальное расследование / пер. с англ. А. Т. Панкиной. – URL: [http://ut27972.narod.ru/Book\\_2/97\\_Book\\_2\\_part\\_97.files/arxiv\\_Tesla.pdf](http://ut27972.narod.ru/Book_2/97_Book_2_part_97.files/arxiv_Tesla.pdf).
68. *Лебедев Л.* Британская гравицапа. 2014. <http://lebed.com/2014/art6559.htm>.
69. *Лель Ю. И., Зырянов И. В., Ильбульдин Д. Х., Мусихина О. В., Глебов И. А.* Методика нормирования расхода топлива автосамосвалами в глубоких карьерах // Известия УГГУ. 2017. Вып. 4(48). С. 66–71. DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-66-71. <https://iuggu.ru/download/Lel-4-17+.pdf>.

70. *Леонов В. С.* Теория упругой квантованной среды. Минск: Биспринт, 1996. – 156 с.
71. *Леонов В. С.* Теория упругой квантованной среды. Ч. 2. Новые источники энергии. – Минск: Полибиг, 1997, – 122 с.
72. *Леонов В. С.* Патент РФ № 2185526. Способ создания тяги в вакууме и полевой двигатель для космического корабля (варианты). Бюллетень № 20 от 20.07.2002. – URL: <https://drive.google.com/file/d/0B1gwB1O4JZNwdjVCdWtrN3ZSVDJMMUfWlpFVHRIZw/view>.
73. *Леонов В. С.* Результаты испытаний 2009 года квантового двигателя для создания тяги без выброса реактивной массы. – URL: [http://rnto.club/up/files/321/rezultati\\_ispitaniy\\_2009.pdf](http://rnto.club/up/files/321/rezultati_ispitaniy_2009.pdf).
74. *Леонов В. С.* Космос: результаты испытаний квантового двигателя для создания тяги без выброса. – URL: <http://www.astronomy.ru/forum/index.php/topic,77730.0.html>.
75. *Леонов В. С.* Эйнштейн против Хиггса: или что такое масса? – URL: <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001e/3139-In.pdf>
76. *Леонов В. С.* Космический миникорабль с квантовым двигателем долетит до Альфы Центавра за 8 лет. – URL: <http://leonovpublitzistika.blogspot.ru/2016/04/8.html>.
77. *Леонов В. С.* О научно-технической революции. – URL: <http://www.quanton.ru/o-nauchno-tehnicheskoy-revoljucii/>.
78. *Леонов В. С.* Новые энергетические концепции. – URL: <http://www.quanton.ru/novye-jenergeticheskie-koncepcii/>.
79. *Леонов В. С.* Открытие нулевого элемента таблицы Д. И. Менделеева. 2017. – URL: <http://zg5.cosmotest.ru/leonov7.php>.
80. *Леонов В. С.* Квантовые двигатели-генераторы. 2017. – URL: <http://www.quanton.ru/kvantovye-dvigateli-generatory/>.
81. *Леонов В. С.* Основы теории реактивной и нереактивной тяги. 2018. – URL: [https://drive.google.com/file/d/1ZPHqpyZ0hjoyvWxbvuRpOV\\_yRVu2yt0F/view](https://drive.google.com/file/d/1ZPHqpyZ0hjoyvWxbvuRpOV_yRVu2yt0F/view).
82. Летают, но низенько: пять необычных машин-гибридов на воздушной подушке. <https://www.kolesa.ru/article/letajut-no-nizenko-pjat-neobychnyh-mashingibridov-na-vozdushnoj-podushke-2016-05-08>.
83. *Линейчатая поверхность*. Большая советская энциклопедия. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/103746/%D0%9B%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%8F>.
84. *Литвинов А. С., Фаробин Я. Е.* Автомобили: Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение. 1989. 240 с.

85. *Лодер Т. К.* Технологии космического и земного транспорта и энергетические технологии XXI века // Новая энергетика. № 1, 2003. С. 42–46.
86. *Максвелл Д. К.* Трактат об электричестве и магнетизме: в 2 т. Т. 1. – М.: Наука, 1989. – 415 с.
87. *Маслов О. Ю.* Энерговалюта Побиска Кузнецова. 2008. – URL: <http://www.polit.nnov.ru/2008/01/15/multigcconsens/>.
88. *Мамити Г. И.* Теоретические и экспериментальные основы нового уравнения движения колесной машины // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 1(58) с 45–52.
89. *Матвеев В. И., Ощепков П. К.* К 100-летию со дня рождения // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 2. – URL: <http://www.idspektr.ru/download/Oschepkov.pdf>.
90. Механизация горного предприятия на примере АО "Лебединский горно-обогатительный комбинат". <https://knowledge.allbest.ru/geology/d-2c0a65635a3ac69a5d43a88521216c26.html>.
91. Место экранопланов в общей системе транспортных средств. <http://oobskspetsavia.ru/2015/11/22/mesto-ekraioplanov-v-obshhej-sisteme-transportnyx-sredstv/>.
92. *Митешов А. А.* Вакуумный двигатель – будущее космонавтики. 2015. – URL: [http://www.avmodels.ru/news/interesting/index\\_full.html?id=4333](http://www.avmodels.ru/news/interesting/index_full.html?id=4333).
93. *Михайловский Е. В.* Аэродинамика автомобиля. М.: Машиностроение, 1973. – 223 с.
94. *Мямлин С. В., Науменко Н. Е., Маркова О. М., Ковтун Е. Н., Малый В. В.* Оценка динамических показателей шестиосного локомотива. 2015. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dinamicheskikh-pokazateley-sheshtiosnogo-lokomotiva>. doi: 10.15802/stp2015/46078.
95. *Никитин А. П.* К энергодинамике движущегося космоса // ЖРФМ. – 2014. – № 1–12 (ЖРФХО, Т. 86, вып. № 2). – URL: <http://www.rusphysics.ru/files/Nikitin.pdf>.
96. *Никонов В. Н.* Реконструкция ДТП. [https://ridero.ru/books/rekonstrukciya\\_obstoyatelstv\\_dtp/freeText](https://ridero.ru/books/rekonstrukciya_obstoyatelstv_dtp/freeText).
97. *Никущенко Д. В.* К вопросу о выборе системы координат при исследовании динамики подводных объектов. № 2 (28) Т. 1. 2015. Морские интеллектуальные технологии, с. 19–26.
98. *Онушкин Ю. П.* Динамика полета / Онушкин Ю. П., Кочиш С. И. Сызрань, СВАИ, 2004, 161 с.
99. *Опарин Е. Г.* Физические основы бестопливной энергетики. Ограничения второго начала термодинамики. 2007. – URL: <http://www.vixri.com/>

d/Oparin%20E.G.%20%20\_Fizicheskie%20osnovy%20Bestoplivnoj%20energetiki.pdf.

100. Основы горного дела. Проведение горных выработок. Белогорск, 2001. – 74 с. <https://vunivere.ru/work15856/page11>.

101. *Паркер Б.* Мечта Эйнштейна. В поисках единой теории строения Вселенной / пер. с англ. В. И. и О. И. Мацарских; под ред. Я. А. Смородинского. – М.: Наука, 1991. – 223 с. – URL: <http://ega-math.narod.ru/Reid/Parker.htm>.

102. *Паули В.* Физические очерки. – М.: Наука, 1975. – URL: <http://www.read.in.ua/book154211/>.

103. *Пашков А. К., Ролярин Ю. Н.* Складское хозяйство и складские работы. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 366 с.

104. *Петров А.* Россия успешно испытала антигравитационный двигатель Леонова. 2016. – URL: <http://www.km.ru/science-tech/2015/01/16/nauka-i-tehnologii/753573-rossiya-uspeshno-ispytala-antigravitatsionnyi-dvi>.

105. *Петропавлов Ю. В.* Разработка теоретического чертежа. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теория корабля и технических средств освоения океана» для студентов дневной формы обучения, направление подготовки 051201 «Судостроение и океанотехник» / Сост. Ю. В. Петропавлов. – Херсон: Херсонский филиал НУК, 2012. – 60 с. <https://lektsii.org/3-65015.html>.

106. Подъемная сила воздушного потока. <http://900igr.net/prezentacija/literatura/19-janvarja-2008-goda-223477/podjomnaja-sila-vozdushnogo-potoka-8.html>.

107. Профиль и элементы взлета. <https://nasamoletah.ru/sovety/kak-vzle-taet-i-letaet.html#i-5>.

108. Робастная стабилизация бокового движения судна на воздушной подушке. [https://knowledge.allbest.ru/transport/2c0b65625a3bd78b5c43b88421216d37\\_0.html](https://knowledge.allbest.ru/transport/2c0b65625a3bd78b5c43b88421216d37_0.html).

109. *Рождественский В. В.* Динамика подводной лодки. – Л.: Судостроение, 1970. – 352 с. <http://bookfi.net/book/1239132>.

110. *Роберт Орос ди Бартини* – советский авиаконструктор, физик-теоретик, философ. Статьи по физике и философии / сост. А. Н. Маслов. – М.: Самообразование, 2009. – 224 с.

111. *Рябинин А. Н.* Введение в экспериментальную аэродинамику. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2015. – 30 с. <https://dSPACE.spbu.ru/bitstream/11701/6210/1/Riabinin.pdf>.

112. Самолет и вертолет, их устройство и оборудование. <http://industrial-wood.ru/aerofotosemka/5973-samolet-i-vertolet-ih-ustroystvo-i-oborudovanie.html>.

113. *Сагизлы А.* Береговые причальные перегружатели. – URL: <https://os1.ru/article/6824-beregovye-prichalnye-peregrujateli>.
114. Самый большой контейнеровоз. – URL: [https://yandex.ru/images/search?text=%D1%81%D0%B0%D0%BC%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B7%20%D0%B2%20%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B5%202018&img\\_url=https%3A%2F%2Ftheloadstar.co.uk%2Fwp-content%2Fuploads%2FBuild\\_31-1024x683.png&pos=28&rpt=simage&lr=2](https://yandex.ru/images/search?text=%D1%81%D0%B0%D0%BC%D1%8B%D0%B9%20%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%88%D0%BE%D0%B9%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B7%20%D0%B2%20%D0%BC%D0%B8%D1%80%D0%B5%202018&img_url=https%3A%2F%2Ftheloadstar.co.uk%2Fwp-content%2Fuploads%2FBuild_31-1024x683.png&pos=28&rpt=simage&lr=2).
115. СанПиН 2.2.4.3359–16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
116. СанПИН 2.2.4.0-95 «Гигиенические требования при работе в условиях воздействия постоянных магнитных полей».
117. *Санюк В. И., Суханов А. Д.* Дирак в физике XX века // Успехи физических наук. – 2003. – Т. 173, № 9. – С. 965–984. – URL: [https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0ahUKewiV04Tp19DYAhVKI1AKHem2DcQQFghJMAU&url=https%3A%2F%2Fufn.ru%2Fufn03%2Fufn03\\_9%2FRussian%2F039c.pdf&usg=AOvVaw258e4U1gq\\_H2OIdp1KhFwz](https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&ved=0ahUKewiV04Tp19DYAhVKI1AKHem2DcQQFghJMAU&url=https%3A%2F%2Fufn.ru%2Fufn03%2Fufn03_9%2FRussian%2F039c.pdf&usg=AOvVaw258e4U1gq_H2OIdp1KhFwz).
118. *Сапогин Л. Г., Рябов Ю. А., Участкин В. И.* Унитарная квантовая теория и новые источники энергии: учеб. пособие / МАДИ(ГТУ). – М., 2003. – 174 с.
119. Секретный проект Армии США – летающий диск. <https://masterok.livejournal.com/1234148.html>.
120. *Селифонов В. В., Хусаинов А. Ш., Ломакин В. В.* Теория автомобиля: учеб. пособие. – М.: МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.
121. *Семенов В. Н.* Моделирование продольного движения подводных суперкавитирующих аппаратов. Прикладная гидромеханика. 2010. Т. 12, № 4. С. 81–88. [http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-12-4\(81-88\).pdf](http://hydromech.org.ua/content/pdf/ph/ph-12-4(81-88).pdf).
122. Системы координат, применяемые в динамике полета. <http://oobskspetsavia.ru/2015/11/05/sistemy-koordinat-primenyayemye-v-dinamike-poleta/>.
123. *Смирнов С. А.* Суда на воздушной подушке скегового типа. – Л.: Судостроение, 1983. – 216 с.
124. *Сороко-Новицкий В. И.* Испытания автотракторных двигателей. – М.: Машгиз. 1955. – 532 с.
125. *Степанов Г. Ю.* Гидродинамическая теория аппаратов на воздушной подушке. М., МАШГИЗ, 1963. – 94 с.

126. *Сухарев М.* Энергорубль и инфодоллар. – URL: <http://worldcrisis.ru/crisis/129629>.
127. *Тесла Н.* Патенты. – Самара: издат. дом «Агни», 2009. – 496 с. – URL: <http://mexalib.com/view/19985>.
128. *Тесла Н.* Статьи. Миссия науки. Free Press Detroit. 2 сентября 1900 г. – URL: <http://library.raikevich.com/tesla/37.htm>.
129. *Тигунцев С. Г.* Потенциальная и кинетическая энергия при равномерном горизонтальном движении тел. 2014. – URL: [http://www.russika.ru/userfiles/adm\\_1404275497.pdf](http://www.russika.ru/userfiles/adm_1404275497.pdf) (accessed on: 30.10.2017).
130. Типы датчиков. <https://source.android.com/devices/sensors/sensor-types>.
131. *Тихонов М. Н., Довгуша В. В.* Электромагнитная безопасность // Мост. – 2001. – № 48–50.
132. *Траверса* для 20-футового контейнера. [http://gpo.alfa72.com/trav\\_kont.php](http://gpo.alfa72.com/trav_kont.php). (accessed on: 09.10.2019).
133. *Фалькевич, Б. С.* Теория автомобиля: учебник / Б. С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. – 239 с.
134. *Фролов А. В.* Свободная энергия. <http://www.rusphysics.ru/articles/366>.
135. *Фролов А. В.* Новые источники энергии. – 9-е изд. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – 219 с. – URL: <http://www.faraday.ru/book01.pdf>.
136. *Фролов А. В.* Новые космические технологии. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – 198 с. – URL: <http://www.faraday.ru/book2.pdf>.
137. *Фролов А. В.* Роль альтернативной энергетики для развития России // Новая энергетика. – 2005. – № 4 (23). – URL: [http://001-lab.at.ua/New-Energy/novaja\\_energetika-2005\\_no.04.pdf](http://001-lab.at.ua/New-Energy/novaja_energetika-2005_no.04.pdf).
138. *Хайтун С. Д.* «Тепловая смерть» на Земле и сценарий ее предотвращения. Ч. 1. Энергетика, построенная на круговороте тепла и вечных двигателях 2-го рода. – М.: Либроком, 2016. – 192 с.
139. *Хайтун С. Д.* «Тепловая смерть» на Земле и сценарий ее предотвращения. Ч. 2. Вечные двигатели 2-го рода и несостоятельность запрета на них. – М.: Либроком, 2013. – 304 с.
140. *Хайтун С. Д.* Несостоятельность запрета на вечные двигатели 2-го рода и их возможное использование для предотвращения «тепловой смерти» на Земле: преобразование энергетики в круговорот тепла. – URL: [http://old.ihst.ru/files/khaitun/vechn\\_dvigatel.pdf](http://old.ihst.ru/files/khaitun/vechn_dvigatel.pdf).
141. *Хорошун В.* Теоретическая механика. <https://pandia.ru/text/80/202/17685-30.php>.
142. *Циолковский К. Э.* Второе начало термодинамики // Журнал русской физической мысли. – 1991. – № 1. – С. 22–39. (Калуга:





infourok.ru/tematicheskaya-tekuschaya-lekciya-karernie-gruzi-i-sredstva-ego-peremescheniya-gruzooborot-i-gruzopotok-karerov-2717043.html.

152. *Эйнштейн А.* Единая теория физического поля // Собрание научных трудов. Т. 2. – М.: Наука, 1963. – С. 286–301.

153. *Эйнштейн А.* Собр. научных трудов. Т. IV. – М.: Наука, 1967.

154. Энергия ЭМВ. <https://yandex.ru/search/?text=%D0%9F%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%20%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BE%D1%82%D0%BA%D1%80%D1%8B%D1%82%D1%8B%D0%B5%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D1%8B&lr=2>.

155. *Энергия вакуума.* – URL: <http://www.psciences.net/main/sciences/physics/articles/energiya-vakuuma.html>.

156. *Эткин В. А.* Теоретические основы бестопливной энергетики. – Canada: Altaspera Publishing & Literary Agency Inc., 2013. – 159 с. – URL: <http://bourabai.ru/etkin/energy.pdf>.

157. *Эткин В. А.* К бестопливной энергетике. Ч. 1. Преобразователи энергии магнитных полей. – URL: [http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=47&ved=0ahUKEwjng8240NrYAhWJKlAKHWGzBuk4KBAWCEswBg&url=http%3A%2F%2Fwww.alt-tech.org%2Ffiles%2Ffizika%2Fetkin\\_p1.doc&usg=AOvVaw3yYo-rvQoNtZlhd8duS0-6](http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=47&ved=0ahUKEwjng8240NrYAhWJKlAKHWGzBuk4KBAWCEswBg&url=http%3A%2F%2Fwww.alt-tech.org%2Ffiles%2Ffizika%2Fetkin_p1.doc&usg=AOvVaw3yYo-rvQoNtZlhd8duS0-6).

158. *Якимов Н. М.* Программное Средство Для Комплексного Математического Моделирования Сложных Технических Объектов / Н. М. Якимов, С. Н. Чувашев // Информационные технологии. – 2014. – № 11. – С. 23–30.

159. *Янте А.* Механика движения автомобиля. Часть 1 / А. Янте [пер. с нем. Владинца Н. И., Левина И. А.]. – М.: Машгиз, 1958. – 263 с.

160. *Янтковский Е. И.* Поток энергии и эксергии. – М.: Наука, 1988. – 144 с.

161. *Aleinikov A.* Nine new laws of conservation: future science horizons // Allied Academies International Conference. – 2007. – № 6(2). – Pp. 5–10.

162. *Aleinikov A., Smarsh D.* 11 New Laws of Conservation: Expanding Physics Horizons for Strategic Management // Proceedings of the Allied Academies' Internet Conference. – 2011. – Vol. 13. – Pp. 130–131. – URL: [http://www.alliedacademies.org/pdfs/Internet\\_Proceedings\\_Vol\\_13\\_2011.pdf](http://www.alliedacademies.org/pdfs/Internet_Proceedings_Vol_13_2011.pdf).

163. Amphibious Dump Truck or Swamp Dumper. [http://www.marshexcavator.com/product/amphibious-dump-truck-or-swamp-dumper?gclid=EAiaIQobChMIhrPlvpDZ6gIVgaiyCh2FdQHJEAMYASAAEgLDe\\_D\\_BwE](http://www.marshexcavator.com/product/amphibious-dump-truck-or-swamp-dumper?gclid=EAiaIQobChMIhrPlvpDZ6gIVgaiyCh2FdQHJEAMYASAAEgLDe_D_BwE).

164. *Ball T., Turner S., Marshall D.* Short Takeoff Performance using Circulation Control. [https://mafiadoc.com/short-takeoff-performance-using-circulation-control\\_5b3039a5097c4700448b45d9.html](https://mafiadoc.com/short-takeoff-performance-using-circulation-control_5b3039a5097c4700448b45d9.html).

165. *Bartini R. O.* Relations between Physical Constants // Progress in Physics. Vol. 3, October 2005. – URL: <http://www.ptep-online.com/2005/PP-03-06.PDF>.

166. *Brady D., White H., March P., Lawrence J., and Davies F.* “Anomalous Thrust Production from an RF Test Device Measured on a Low-Thrust Torsion Pendulum,” 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2014, p. AIAA 2014-4029. doi:10.2514/6.2014-4029 (PDF) *The SpaceDrive Project – First Results on EMDrive and Mach-Effect Thrusters*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/325177082\\_The\\_SpaceDrive\\_Project\\_-\\_First\\_Results\\_on\\_EMDrive\\_and\\_Mach-Effect\\_Thrusters](https://www.researchgate.net/publication/325177082_The_SpaceDrive_Project_-_First_Results_on_EMDrive_and_Mach-Effect_Thrusters) [accessed Apr 10 2021].

167. *Brandenburg J.* GEM theory, QV–Thruster // Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop, 19–22 September 2016. – Estes Park, Colorado, USA. CSU Fullerton – Physics Konuence Research Institute. – URL: [http://ssi.org/wp-content/uploads/2017/02/ssi\\_estes\\_park\\_proceedings\\_201609.pdf](http://ssi.org/wp-content/uploads/2017/02/ssi_estes_park_proceedings_201609.pdf).

168. *Bronz M., Drouin A.* Preliminary Design Estimation of the V/STOL Airplane Performance. International Journal of Micro Air Vehicles, SAGE, 2015, 7 (4), pp 449–462. hal-01204527. <https://hal-enac.archives-ouvertes.fr/hal-01204527/document>.

169. *Brown G. B.* A new treatment of the theory of dimensions // Proc. Phys. Soc. – 1941. – Vol. 53, № 4. – P. 418–432.

170. *Brown G. B.* Science: Its Philosophy and Method. – London, 1950. – P. 122.

171. *Brown G. B.* Fundamentals of Classical Electric and Magnetic Theory, 1940, Nature, London, 147, 789. <https://docslide.us/download/link/fundamentals-of-classical-electric-and-magnetic-theory>.

172. *Burago S. G.* The engine " Em Drive " for space flights, and the laws of physics. Working Paper · February 2017. DOI: 10.13140/RG.2.2.26818.38082.

173. *Bykerk T., Verstraete D., Steelant J.* Low speed lateral-directional dynamic stability analysis of a hypersonic waverider using unsteady Reynolds averaged Navier Stokes forced oscillation simulations. Aerospace Science and Technology 106 (2020) 106228.

174. *Card J.* Overview of the Current State of Understanding of the EMDrive. <http://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3772&context=smallsat>.

175. *Carnot S.* Reflections on the Motive Power of Fire. – 1824. – 55 p.
176. *Clausius R.* On the Motive Power of Heat. – 1850. – 43 p.
177. Container spreaders. [https://products.teccontainer.com/en/container-spreaders/?gclid=Cj0KCQjwivbsBRDsARIsADyISj9D7bUkI1N0O2LrPJTToL-uHhR5hmf3rV-j\\_f8uxfCrMAUJg2iumLAaAmhJEALw\\_wcB](https://products.teccontainer.com/en/container-spreaders/?gclid=Cj0KCQjwivbsBRDsARIsADyISj9D7bUkI1N0O2LrPJTToL-uHhR5hmf3rV-j_f8uxfCrMAUJg2iumLAaAmhJEALw_wcB). (accessed on: 09.10.2019).
178. *Davies. P.* Superforce. The Search for a Grand Unified Theory of Nature. A Touchstone Book. Published by Simon & Schuster, Inc. New York. 1985. – URL: <http://cyber-ek.ru/world/davies/superforce1.html>.
179. *Dirac P. A. M.* The Principles of Quantum Mechanics. – Oxford: The Clarendon Press, 1930.
180. Dude, where's my amphibious car? <https://www.popsci.com/why-no-one-has-swimming-cars-anymore/>.
181. *Falconer R. A., Junqiang Xia J.* Hydrodynamic modelling to support enhanced flood risk estimation, Article in Revista de Obras Publicas. 2013. <https://www.researchgate.net/publication/286113949>.
182. *Fearn H., Woodward J.F.* Breakthrough Propulsion I: The Quantum Vacuum. JBIS, Vol. 69, 2016. <http://www.ayuba.fr/images/emdrive/JBIS-69-05.pdf>.
183. *Fetta G.* Electromagnetic Thruster. Patent US 2014 013724 A1. – URL: <http://www.rexresearch.com/fetta/US2014013724A1.pdf>.
184. Fiat 1100 Boat Car (1953). [https://autoroute4x4.com/it/210201\\_fiat\\_1110\\_boat\\_car\\_1953.html#.XxQqS\\_6P76U](https://autoroute4x4.com/it/210201_fiat_1110_boat_car_1953.html#.XxQqS_6P76U).
185. *Froning H. D.* Quantum Vacuum Engineering for Power and Propulsion from the Energetics of Space. Presented at Third International Conference on Future Energy, Washington Hilton Hotel, Washington DC, October 9–10, 2009. <http://www.integrityresearchinstitute.org/Froning-quantumvacuum.pdf>.
186. *Gabrielli-von Karman* diagram. [https://en.wikipedia.org/wiki/Von\\_K%C3%A1rm%C3%A1n%E2%80%93Gabrielli\\_diagram#/media/File:Gabrielli-von\\_Karman\\_en.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Von_K%C3%A1rm%C3%A1n%E2%80%93Gabrielli_diagram#/media/File:Gabrielli-von_Karman_en.svg).
187. *Gruber J.* New Hope for Our Planet: Space-Age Energy and a New Kondratieff Cycle // Vortex Sci. Technol. – 2015. – Vol. 2, Is. 1. DOI: 10.4172/2090-8369.1000113. – URL: <https://www.omicsonline.org/open-access/new-hope-for-our-planet-space-age-energy-and-a-new-kondratieff-cycle-2090-8369-1000113.php?aid=41745>.
188. *Gucwa M., Schafer A.* The impact of scale on energy intensity in freight transportation. Transportation Research Part D 23 (2013) 41–49. [http://www.at-slab.org/wp-content/uploads/2017/10/Gucwa\\_Schafer\\_2013.pdf](http://www.at-slab.org/wp-content/uploads/2017/10/Gucwa_Schafer_2013.pdf).

189. *Hammond G., Jones C.* Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Energy 161 May 2008 Issue EN2 Pages 87–98. doi: 10.1680/ener.2008.161.2.87. [http://opus.bath.ac.uk/12382/1/Hammond\\_%26\\_Jones\\_Embodied\\_energy\\_%26\\_carbon\\_Proc\\_ICE-Energy\\_2008\\_161%282%29\\_87-98.pdf](http://opus.bath.ac.uk/12382/1/Hammond_%26_Jones_Embodied_energy_%26_carbon_Proc_ICE-Energy_2008_161%282%29_87-98.pdf).

190. *Heaviside O.* Electromagnetic Theory. Vol. 1. – London: «The Electrician» Printing and Publishing Company, Limited, 1893. – 526 p. – URL: <http://www.shamanicengineering.org/wp-content/uploads/2014/09/Oliver-Heaviside-Electromagnetic-Theory-Volume-I.pdf>.

191. *Hedlund D.* Motor System Design for Large UAV. Thesis for the Degree of Master of Science. Malardalen University. 2017. 42 p. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1131267/FULLTEXT01.pdf>.

192. *Hilty L., Coroama V., Eicker M., Ruddy T., Müller E.* The Role of ICT in Energy Consumption and Energy Efficiency. 2009. – URL: <http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/lorenz.hilty/ref-42/2009-08%20Hilty%20Coroama%20et%20al%20EU%20ENSURE%20ICT%20Energy.pdf> (accessed on: 30.10.2017).

193. *Hughes M. J.* Analysis of Multi-component Ducted Propulsors in Unsteady Flow / M.J. Hughes. – Massachusetts Institute of Technology, 1993. 192 p. 29942941-MIT%20(5).pdf.

194. *Hyundai* запланировала выпустить линейку летающих автомобилей к 2028 году. [https://pulse.mail.ru/article/hyundai-zaplanirovala-vypustit-linejku-letayuschih-avtomobilej-k-2028-godu-1107956520278803152-7936175418955525067/?utm\\_campaign=arbitr-pulse&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fpulse.mail.ru&utm\\_source=pulse\\_mail\\_ru&from\\_stream=lenta\\_main\\_mail\\_ru\\_v1](https://pulse.mail.ru/article/hyundai-zaplanirovala-vypustit-linejku-letayuschih-avtomobilej-k-2028-godu-1107956520278803152-7936175418955525067/?utm_campaign=arbitr-pulse&utm_referrer=https%3A%2F%2Fpulse.mail.ru&utm_source=pulse_mail_ru&from_stream=lenta_main_mail_ru_v1).

195. ISO 1151. Aircraft dynamics in atmosphere.

196. *Jacobson, B.* et al. *Vehicle Dynamics*. Chalmers University of Technology. <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/244369/244369.pdf>. (accessed on: 14.04.2019).

197. *Jimenez A., Daniel I.* Thrust Vectoring System Control Concept. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1474667017354769?token=C2CAB3A542E51B7D819CDCE9A317253C6540F9523C039236CF20EA9437C2DD5404FC95AF31A8B969ADA1BA6C90C08424>.

198. *Johnson E. N., Michael A. Turbe M. A.* Modeling, Control, and Flight Testing of a Small Ducted Fan Aircraft. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.68.7519&rep=rep1&type=pdf>.



207. *Kotikov Ju.* Formation of a Function Series for Estimates of Transportation Energy Efficiency Based on Bartini's LT-table Entities // Architecture and Engineering. – 2018. – Vol. 3, Is. 3. – Pp. 3–9. DOI: 10.23968/2500-0055-2018-3-3-3-9.

208. *Kotikov Ju.* The Comparative Analysis of Power Inputs of the Modern Automobile and the Future Qantomobile // Architecture and Engineering. – 2018. – Vol. 3, Is. 4. – Pp. 26–32. DOI: 10.23968/2500-0055-2018-3-4-26-32.

209. *Kotikov Ju.* Aspects of traffic safety using vehicles with quantum engines. Transportation Research Procedia. Volume 36, 2018, Pages 352–357. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.107>.

210. *Kotikov Ju.* Specifics of the Qantomobile Force Balance. Architecture and Engineering. Volume 4 Issue 1, P.3–10. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-1-3-10.

211. *Kotikov Ju.* Actualization of the Qantomobile Force Balance in the Pitch Plane. Volume 4 Issue 2, P.53–60. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-2-53-60.

212. *Kotikov Ju.* Graphical-and-Analytical Basis for Qantomobile Near-Ground Motion Studies. Volume 4 Issue 3, P.55–64. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-3-55-64.

213. *Kotikov Ju.* Quantum Quarrying Lift-And-Transport Machinery (QQLTM). Architecture and Engineering. Volume 5 Issue 2, P.56–66. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-2-56-66.

214. *Kotikov Ju.* The Rise of The Qantomobile Theory // Architecture and Engineering. – 2020. – Vol. 5, Is. 4. – Pp. 74–81. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-4-74–81.

215. *Leonov V. S.* Quantum Energetics. Vol. 1. Theory of Superunification. – Cambridge International Science Publishing, 2010. – 745 p. – URL: [http://www.cisp-publishing.com/acatalog/info\\_54.html](http://www.cisp-publishing.com/acatalog/info_54.html).

216. *Lind E., Meijer M.* Simulation and Control of Submarines. Lund, 2014. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOid=4646251&fileOid=4646331>.

217. *McCulloch M.* Testing quantised inertia on emdrives with dielectrics // EPL (Europhysics Letters). – 2017. – Vol. 118, № 3. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1209/0295-5075/118/34003/meta>. DOI: 10.1209/0295-5075/118/34003.

218. *Pais S. C.* Craft Using an Inertial Mass Reduction Device. Patent No. : US 10144532 B2. <https://patentimages.storage.googleapis.com/de/4c/43/62c585ccc936cc/US10144532.pdf>.

219. *Páscoa J. C., Dumas A., Trancossi M., Stewart P., Vucinic D.* A review of thrust-vectoring in support of a V/STOL non-moving mechanical

propulsion system. Cent. Eur. J. Eng. 3(3). 2013. 374–388. DOI: 10.2478/s13531-013-0114-9.

220. *Pauwelussen, J. P., Dalhuijsen W., Merts M.* Tyre dynamics, tyre as a vehicle component. Part 3.: Rolling resistance. HAN University. [http://laroverket.com/wp-content/uploads/2015/03/tyre\\_as\\_car\\_component.pdf](http://laroverket.com/wp-content/uploads/2015/03/tyre_as_car_component.pdf). (accessed on: 14.04.2019).

221. *Poitras C.* To Mars in 70 days: Expert discusses NASA's study of paradoxical EM propulsion drive. <https://phys.org/news/2016-12-mars-days-expert-discusses-nasa.html>.

222. *Popov A. A., Cole D. J., Cebon D., Winkler C. B.* Laboratory Measurement of Rolling Resistance in Truck Tyres under Dynamic Vertical Load. Proceedings of the IMechE, part D, Journal of Automobile Engineering. Vol 217, Nr. 12 (2003) pp 1071–1079.

223. Proceedings of the Estes Park Advanced Propulsion Workshop. 19–22 September 2016. Estes Park. Colorado. USA.

224. *Puthoff H.* Advanced Space Propulsion Based on Vacuum (Spacetime Metric) Engineering // JBIS. – 2010. – Vol. 63. – Pp. 82–89. – URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1204/1204.2184.pdf>.

225. *Puthoff H.* Extracting energy and heat from the vacuum // Physical Review E. – 1993. – Vol. 48, № 2. [http://www.earthtech.org/publications/PREv48\\_1562.pdf](http://www.earthtech.org/publications/PREv48_1562.pdf).

226. *Sanyuk V. I., Sukhanov A. D.* Dirac in 20th century physics: a centenary assessment // УФН. – 2003. – № 9. – URL: <https://ufn.ru/ru/articles/2003/9/d/>.

227. *Sedda S., Sardu C., Lasagna D., Iuso G., Donelli R. S., De Gregorio F.* Trapped vortex cell for aeronautical applications: flow analysis through PIV and Wavelet transform tools. *10th Pacific Symposium on Flow Visualization and Image Processing Naples, Italy, 15–18 June, 2015*. [https://www.researchgate.net/publication/278781412\\_Trapped\\_vortex\\_cell\\_for\\_aeronautical\\_applications\\_flow\\_analysis\\_through\\_PIV\\_and\\_Wavelet\\_transform\\_tools](https://www.researchgate.net/publication/278781412_Trapped_vortex_cell_for_aeronautical_applications_flow_analysis_through_PIV_and_Wavelet_transform_tools).

228. *Shawyer R.* A Theory of Microwave Propulsion for Spacecraft. Satellite Propulsion Research Ltd, 2006. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/242313276\\_A\\_Theory\\_of\\_Microwave\\_Propulsion\\_for\\_Spacecraft](https://www.researchgate.net/publication/242313276_A_Theory_of_Microwave_Propulsion_for_Spacecraft).

229. *Shawyer R.* “EMDrive Thrust Load Characteristics,” in Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC, 2019, p. IAC-19-C4-10-14.

230. *Tajmar M., Kößling M., Weikert M., Monette M.* The SpaceDrive Project – First Results on EMDrive and Mach-Effect Thrusters. [SP2018\_016, Barcelo Renacimiento Hotel, Seville, Spain. 14–18 May 2018]. – URL: <https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ilr/rfs/ressourcen/dateien/forschung/>

folder-2007-08-21-5231434330/ag\_raumfahrtantriebe/SPC-The-SpaceDrive-Project-First-Results-on-EMDrive-and-Mach-Effect-Thrusters.pdf?lang=en.

231. *Tajmar M., Neunzig O., Weikert M.* High-Accuracy Thrust Measurements of the Emdrive And Elimination of False-Positive Effects. Space propulsion 2020+1. Conference Paper. 17 – 18 – 19 march 2021.

232. VDI 4600. Cumulative Energy Demand. 2012. – URL: [https://www.vdi.de/uploads/tx\\_vdirili/pdf/1807038.pdf](https://www.vdi.de/uploads/tx_vdirili/pdf/1807038.pdf)

233. Vertical and Short Takeoff and Landing Aircraft V/STOL. <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/vstol.htm>.

234. VTOL and STOL aircraft. <http://www.century-of-flight.net/Aviation%20history/evolution%20of%20technology/VTOL%20and%20STOL%20Technology%20and%20Aircraft.htm>.

235. *White H., March P, Lawrence J., Vera J., Sylvester A., Brady D., Bailey P.* Measurement of Impulsive Thrust from a Closed Radio-Frequency Cavity in Vacuum. [NASA Johnson Space Center, Houston, Texas 77058] // Journal of Propulsion and Power. – July–August 2017. – Vol. 33, No. 4. – URL: <https://arc.aiaa.org/doi/pdf/10.2514/1.B36120>. DOI: 10.2514/1.B36120.

236. *Xia J., Teo F. Y., Lin B., Falconer R. A.* Formula of incipient velocity for flooded vehicles. Natural Hazards, July 2011. DOI 10.1007/s11069-010-9639-x. <https://www.researchgate.net/publication/226028287>.

237. 6DOF (Quaternion). <https://www.mathworks.com/help/aeroblks/6dofquaternion.html>.

238. <https://cf.ppt-online.org/files/slide/e/ESbOwLPu1zjpaTKHVncFW7qkvhNZMJ06rQ318m/slide-10.jpg>.

239. <https://cf.ppt-online.org/files/slide/e/ESbOwLPu1zjpaTKHVncFW7qkvhNZMJ06rQ318m/slide-10.jpg>.

240. <https://es.mathworks.com/help/vdynblks/ug/coordinate-systems-in-vehicle-dynamics-blockset.html>.



## Оглавление

Предисловие .....	3
Список сокращений .....	5
Введение .....	7

### Глава 1. Общие структурные построения

<b>теории квантомобиля .....</b>	<b>13</b>
1.1. Общая структура теории квантомобиля .....	13
1.2. Конспективное представление компонентов теории квантомобиля .....	14
1.2.1. Предмет теории квантомобиля .....	14
1.2.2. Идеи теории Суперобъединения и их практическая реализация .....	16
1.2.3. Концептуальная основа квантового двигателя .....	16
1.2.4. Конструктивная схема квантомобиля .....	17
1.2.5. Тягово-скоростные свойства квантомобиля .....	18
1.2.6. Аэродинамика и гидродинамика квантомобиля .....	21
1.2.7. Управляемость .....	21
1.2.8. Устойчивость .....	22
1.2.9. Проходимость .....	22
1.2.10. Маневренность .....	23
1.2.11. Плавность движения .....	23
1.2.12. Экономичность (энергoeffективность) .....	23
1.2.13. Безопасность .....	24
1.2.14. Особенности инфраструктуры и технической эксплуатации .....	24
1.2.15. Расчетно-экспериментальные работы по созданию квантомобилей .....	25
1.3. Заключение по главе .....	25

### Глава 2. Концепции квантового двигателя .....

2.1. Предпосылки теории Суперобъединения .....	26
2.2. Квантовая модель электромагнетизма и гравитации теории Суперобъединения .....	28
2.3. Генерация квантовой тяги .....	33
2.4. Прототипы технических решений и образцы аппаратов с КвД .....	37
2.5. Концепции формирования тяговых сил в КвД .....	38

<b>Глава 3. Элементы теории наземного квантомобиля .....</b>	<b>44</b>
3.1. Базовые различия конструкции и силовых схем квантомобиля и автомобиля .....	44
3.2. Функциональные отличия формирования и управления тягово-скоростными свойствами автомобиля и квантомобиля .....	47
3.3. Отличия в продвижении потока энергии и формировании тягового баланса у квантомобиля в сравнении с автомобилем .....	49
3.4. Влияние отличий экипажей с ДВС и с КвД и сопротивления их движению на энергопотребление .....	51
3.4.1. Влияние различия концептуальных схем экипажей на генерацию тяговой силы .....	51
3.4.2. Отличие сил сопротивления движению экипажей .....	53
3.5. Пример оценки энергетики квантомобиля на фоне автомобиля-аналога .....	56
3.6. Обобщенная картина тягового баланса .....	61
3.7. О топографии регуляторных характеристик квантомобиля .....	63
3.8. Нормальные реакции на колесах квантомобиля .....	65
<b>Глава 4. Продольное движение в плоскости тангажа .....</b>	<b>70</b>
4.1. Компоненты вектора траста .....	70
4.2. Уравнение силового баланса квантомобиля и его сечения .....	72
4.2.1. Формирование обобщенного уравнения силового баланса квантомобиля .....	72
4.2.2. Частные случаи обобщенного уравнения .....	76
4.3. Результаты – частные случаи и их численные примеры .....	78
4.3.1. Строго горизонтальный траст КвД .....	78
4.3.2. Отрыв квантомобиля от опорной поверхности, но без его отлёта .....	81
4.3.3. Проблема оценки предельных скоростей при вывешивании квантомобиля .....	82
4.4. Трастовая характеристика скоростного среза квантомобиля при постоянном основном коэффициенте сопротивления дороги $f_{к0}$ .....	83

- 4.5. Трастовая характеристика скоростного среза квантомобиля при меняющемся основном коэффициенте сопротивления дороги  $f_{к0}$  .....86
- 4.6. Учет степени вывешивания экипажа .....89

**Глава 5. Трехмерное графоаналитическое моделирование использования вектора тяги .....93**

- 5.1. Цель и задачи исследования .....93
- 5.2. Поверхность силового баланса с разворачиванием в 3D на скоростной диапазон .....93
- 5.3. Аспекты графоаналитического исследования посредством 3D-МИТ .....104
- 5.4. Моделирование траекторий изменения вектора траста .....107
- 5.5. Рекомендации по включению в 3D-МИТ Базовых регуляторных характеристик (БРХ) КвД .....110
- 5.6. Заключение по формированию и возможностям 3D-МИТ .....111

**Глава 6. Концепции всесреднего квантомобиля .....114**

- 6.1. Базовые положения разработки .....114
  - 6.1.1. Целеполагание разработки .....114
  - 6.1.2. Обзор продвижения тематики всесредности транспортных средств .....114
  - 6.1.3. Новизна авторского подхода (и концепта) .....117
  - 6.1.4. Используемые базовые положения механики .....119
  - 6.1.5. Обобщенный вектор траста как инструмент реализации режима движения .....120
- 6.2. Варианты движения ВМК .....122
  - 6.2.1. Базовый (наземный) вариант концепта квантомобиля .....122
  - 6.2.2. Возможные варианты движения ВМК .....123
- 6.3. Движение в воздухе .....125
  - 6.3.1. Режимы 1 и 2 табл. 6.1 .....125
  - 6.3.2. О системах координат, используемых в моделировании и использовании ЛА .....128
  - 6.3.3. Экранопланы в роли прототипов .....132
  - 6.3.4. МВП в роли прототипов .....135
  - 6.3.5. Околосредное частично-вывешенное движение – режим 3 в среде воздух-земля .....140

6.4. Наземное движение – режим 4 в среде земля-воздух .....	141
6.5. Движение по мелководью – режимы 5 и 6 в среде воздух-земля-вода .....	145
6.6. Движение на плаву – режим 7 (надводного судна), среда воздух-вода .....	148
6.7. Режимы 8–10 (режимы квантомарины) .....	154
6.8. Освоение наследуемых особенностей существующих ТС и их моделей в концепте ВМК .....	161
6.9. Выбор систем координат для моделирования движения ВМК .....	164
6.10. Концепции моделирования движения ТС, применимые для ВМК .....	167
6.11. Графоаналитическое обеспечение исследования всереднего квантомобиля .....	169
6.12. Заключение по главе .....	170

## **Глава 7. Квантовая тяга в порту, рудном карьере и на железной дороге .....**

7.1. Квантовая ПТМ в рабочем процессе порта .....	172
7.1.1. Цель и задачи раздела .....	172
7.1.2. Разложение вектора траста .....	173
7.1.3. Обобщенное уравнение силового баланса КПТМ и его модификации .....	174
7.1.4. Численный пример. Результаты .....	178
7.1.5. Графоаналитическое исследование рабочего процесса КПТМ в формате 3D-МИТ .....	182
7.1.6. Перспективы КПТМ .....	184
7.1.7. Заключение по разделу .....	186
7.2. Квантовая карьерная подъемно-транспортная машина .....	187
7.2.1. Цель и задачи раздела .....	187
7.2.2. Проблемы доставки горной породы со дна карьера на верхние уровни .....	188
7.2.3. Математическая модель силового баланса и движения ККПТМ .....	191
7.2.4. Сравнительный анализ времени доставки горной породы .....	195
7.2.5. Сравнительный анализ энергозатрат по доставке горной породы .....	202

## Оглавление

---

7.2.6. Обсуждение .....	206
7.2.7. Заключение по разделу .....	208
7.3. Особенности локомотива с квантовым двигателем – квантовоза .....	209
<b>Глава 8. Этапы проведения расчетно-экспериментальных работ по созданию квантомобилей .....</b>	<b>214</b>
8.1. Общая установка комплекса НИОКР .....	214
Заключение .....	223
Библиографический список .....	229

Учебное издание

**Котиков** Юрий Георгиевич

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ КВАНТОМОБИЛЯ**

Монография

Редактор *А. А. Стешко*

Корректор *Е. Н. Апринцева*

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 03.06.2021. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 14,76. Тираж 500 экз. Заказ 58. «С» 29.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ