

## О возможности использования транспортных средств с аэродинамическими силами поддержания в условиях Арктики и Крайнего Севера

В. Г. Сергеев <sup>1</sup>, Ю. Г. Варакоsov <sup>2</sup>, кандидат военных наук,

А. М. Макиенко <sup>3</sup>, кандидат технических наук

ООО «Экранопланостроительное объединение «ОРИОН»

Ю. Ю. Мерзликин <sup>4</sup>

ФГУП Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н. Е. Жуковского

*Рассмотрены условия сохранения почвенно-грунтового покрова тундровых растительных сообществ при эксплуатации транспортных средств в условиях Арктики и Крайнего Севера при оттаивании активного слоя. Приведен анализ возможности использования инновационных видов транспортных средств с аэродинамическими силами поддержания за счет уменьшения нагрузки на опору, обеспечивающих экологичность при сохранении почвенно-растительного покрова. Предложено создавать трассы для аппаратов на воздушной подушке с искусственным покрытием для эксплуатации в период оттаивания активного слоя многолетнемерзлых грунтов и направляющее полотно для экранопоездов. Комплексное использование инновационных видов транспорта с аэродинамическими силами поддержания позволяет формировать транспортные системы для Арктики и Крайнего Севера и определять требования к техническим характеристикам инновационных видов транспортных средств.*

**Ключевые слова:** Крайний Север, Арктика, почвенно-растительный покров, активный слой оттаивания, многолетнемерзлые грунты, инновационные виды транспорта с аэродинамическими силами поддержания, самолет с шасси на воздушной подушке, аппарат на воздушной подушке, экраноплан, экранолет, экранопезд, трасса АВП с искусственным покрытием.

При эксплуатации транспортных средств в условиях Арктики и Крайнего Севера актуальными являются вопросы обеспечения экологии и экономики. Анализ и рекомендации по использованию в Сибири и на Дальнем Востоке ноосферных транспортных систем при условии наименьшего воздействия на экологию представлены в [1].

### **Сохранение почвенно-растительного покрова как критерий соблюдения экологичности транспортных средств при эксплуатации в условиях Арктики и Крайнего Севера**

Проблемы экологии обусловлены ранимостью транспортными средствами почвенно-растительного покрова Крайнего Севера в летне-осенний период при оттаивании грунтов деятельного слоя. При этом предполагается, что в зимний период прочность замерзшей поверхности достаточна для движения любого транспорта без разрушения почвенно-растительного покрова. Вопросы возможности эксплуатации амфибийной авиационной и наземной

<sup>1</sup> e-mail: ekranoplan-orion@mail.ru.

<sup>2</sup> e-mail: ekranoplan-orion@mail.ru.

<sup>3</sup> e-mail: ekranoplan-orion@mail.ru.

<sup>4</sup> e-mail: ymerzlikin@gmail.com.

транспортной техники на слабонесущих грунтах при соблюдении экологичности в части сохранения сплошности почвенно-растительного покрова рассмотрены в [2].

Согласно [1, с. 82] в зависимости от величины механической нагрузки, характера микрорельефа и гидрогеологических условий участков выделяются следующие виды нарушений почвенно-растительного покрова тундровых сообществ:

- слабое воздействие, приводящее к малозаметной нивелировке микрорельефа, разрезанию крупных кустарников и кустарничков, незначительному смятию мохово-лишайникового покрова;
- умеренное воздействие, приводящее к значительной нивелировке микрорельефа с частичным выносом растительной дернины с колеи;
- сильное воздействие, сопровождаемое полным изменением микрорельефа, срезанием бугров, смятием кочек, уничтожением растительного покрова.

Виды нарушений почвенно-растительного покрова в значительной мере определяются нагрузкой на него, возникающей при движении транспортных средств.

Дорожная одежда должна обеспечить нагрузку на грунты в основании, не превышающую расчетного сопротивления грунта (в нашем случае грунтов деятельного слоя при их оттаивании), а также соблюдение теплового баланса многолетнемерзлых грунтов, расположенных ниже деятельного слоя. Для оценки отношения нагрузки на земляное полотно к предельной нагрузке на грунты основания можно воспользоваться сведениями из [3, с. 227—231]. В общем виде это отношение описывается выражением

$$P_H/P_{ГР} \leq 1 + (h_{ДП}/d_H)^2(E_1/E_{ГР})^{0,8} \text{ при } E_1/E_{ГР} \leq 80,$$

где  $P_H$  — интенсивность нормального давления на опору транспортного средства, кПа;  $P_{ГР}$  — несущая способность грунта, кПа;  $h_{ДП}$  — толщина слоев дорожной одежды, м;  $d_H$  — диаметр отпечатка контакта опоры колеса с дорожной одеждой, м;  $E_1$ ,  $E_{ГР}$  — модуль деформации слоев дорожной одежды и грунта основания, кПа.

Следовательно, толщина дорожной одежды и земляного полотна пропорциональна нагрузке на отпечаток контакта опоры транспортного средства, и для обеспечения прочности дорожной одежды автомобильных и железных дорог при расчетной нагрузке от транспортного средства на слабонесущих грунтах требуется возводить достаточно высокие насыпи с соблюдением требуемого соотношения модулей деформации материалов в соседних слоях конструкции дорожной одежды. Технологии создания земляного полотна в условиях многолетнемерзлых грунтов с соблюдением требований экологии, в частности при строительстве железной дороги на полуострове Ямал, приведены в [4].

Представленные в [4] технологии возведения земляного полотна увеличивают стоимость

и продолжительность строительства дорожной одежды для автомобильных дорог, аэродромов и балластного слоя для железной дороги на многолетнемерзлых грунтах, особенно на Крайнем Севере. С учетом приведенной в [5] стоимости строительства аэродромов в умеренном климате, составляющей для аэродромов класса В 2,5 млрд руб., класса Г — 1,7 млрд руб., строительство гражданских аэродромов в Арктике и на Крайнем Севере в существующих экономических условиях практически неосуществимо.

Таким образом, в качестве одного из критериев обеспечения экологии при использовании транспортных средств в условиях многолетнемерзлых грунтов может использоваться сохранение почвенно-растительного покрова тундровых сообществ. При создании инфраструктуры и в частности земляного полотна для использования традиционных средств автомобильного, железнодорожного, авиационного транспорта обеспечение требований экологии приводит к очень высоким затратам финансовых, материальных и трудовых ресурсов.

Выходом из подобной ситуации, как показано в [5], может быть использование инновационных видов транспорта, общей характеристикой которых является малая нагрузка на опору, взаимодействующую с поверхностью.

#### **Инновационные виды транспорта с низкой нагрузкой на опору**

Существуют различные способы снижения нагрузки на опору, взаимодействующую с подстилающей поверхностью. Одним из них является использование аэродинамических сил для снижения нагрузки на поверхность (или аэродинамической разгрузки). К таким транспортным средствам можно отнести:

- самолеты, гидросамолеты-амфибии, самолеты с шасси на воздушной подушке (СШВП), вертолеты;
- аппараты на статической воздушной подушке (АВП);
- экранопланы и экранолеты, в том числе аэросани и аэроглицсеры с аэродинамической разгрузкой;
- экранопоезда.

Целесообразность использования амфибийной авиационной и наземной транспортной техники, в том числе самолетов с шасси на воздушной подушке, экранопланов и АВП, в региональных и местных транспортных системах Сибири, Якутии, Дальнего Востока, Крайнего Севера и приморских регионов показана в [6; 7]. Особенности и перспективы использования экранопланов в условиях Крайнего Севера и Арктики изложены в [2; 8]. География полуострова Ямал, ландшафт и традиционный для условий Арктики и Крайнего Севера транспорт представлены на рис. 1 и 2 [8].

Рассмотрим особенности использования транспортных средств с аэродинамической разгрузкой



Рис. 1. Географические характеристики полуострова Ямал [8]

в условиях многолетнемерзлых грунтов, в частности на полуострове Ямал.

1. Для эксплуатации самолетов требуются аэродромы, строительство которых сопряжено с большими материальными затратами, поскольку требуется построить покрытие, обеспечивающее в летний период и при осенней и весенней распутице низкие нагрузки на слабонесущие грунты в основании искусственных покрытий, при сохранении теплового режима многолетнемерзлых грунтов. Этого можно добиться при уменьшении нагрузки на главные опоры самолета, увеличения пятна контакта авиационных колес за счет увеличения их диаметра и снижения давления в пневматиках, использования лыжного и гусеничного шасси, а также шасси на воздушной подушке [9, глава 2].

Использование пневматиков с низким давлением приводит к существенному изменению конструкции самолетов, что обуславливает использование других компоновочных и конструктивных решений по сравнению с самолетами с традиционной компоновкой. В Центральном аэрогидродинамическом институте им. профессора Н. Е. Жуковского (ЦАГИ) разработан ряд аэродинамических компоновок самолетов, обеспечивающих их эксплуатацию на аэродромах с грунтами с малой несущей способностью. Такие самолеты имеют меньшую величину полезной нагрузки, большую тяговооруженность и более низкое аэродинамическое качество по сравнению с традиционными компоновками, что

увеличивает затраты топлива на транспортировку грузов и пассажиров.

Самолеты с лыжным шасси эксплуатируются только в зимнее время на аэродромах местных воздушных линий.

Самолеты с шасси на воздушной подушке с точки зрения требований к поверхности и прочности аэродромного покрытия имеют неоспоримое преимущество, поскольку на покрытие аэродромов действует нагрузка, равная статическому давлению в камере воздушной подушки и составляющая в зависимости от взлетной массы СШВП от 2,5 до 8 кПа [9, с. 29]. Принципиальным преимуществом шасси на воздушной подушке является возможность эксплуатации самолетов и транспортных средств с таким шасси практически на любой относительно ровной поверхности: на грунтах любой прочности, на воде, даже покрытой битым льдом, на песке, на тундровых и заболоченных территориях. При этом, создавая давление ниже 3,5 кПа, воздушная подушка оказывает минимальное воздействие на подстилающую поверхность, не разрушает растительный покров, не вызывает экологически необратимых последствий.

Однако при использовании аппаратов с большой массой и давлением в камере воздушной подушки более 3,5 кПа в зазор между поверхностью и ограждением воздушной подушки за счет избыточного давления в камере воздушной подушки истекает струя воздуха, скорость которой может достигать 50 м/с

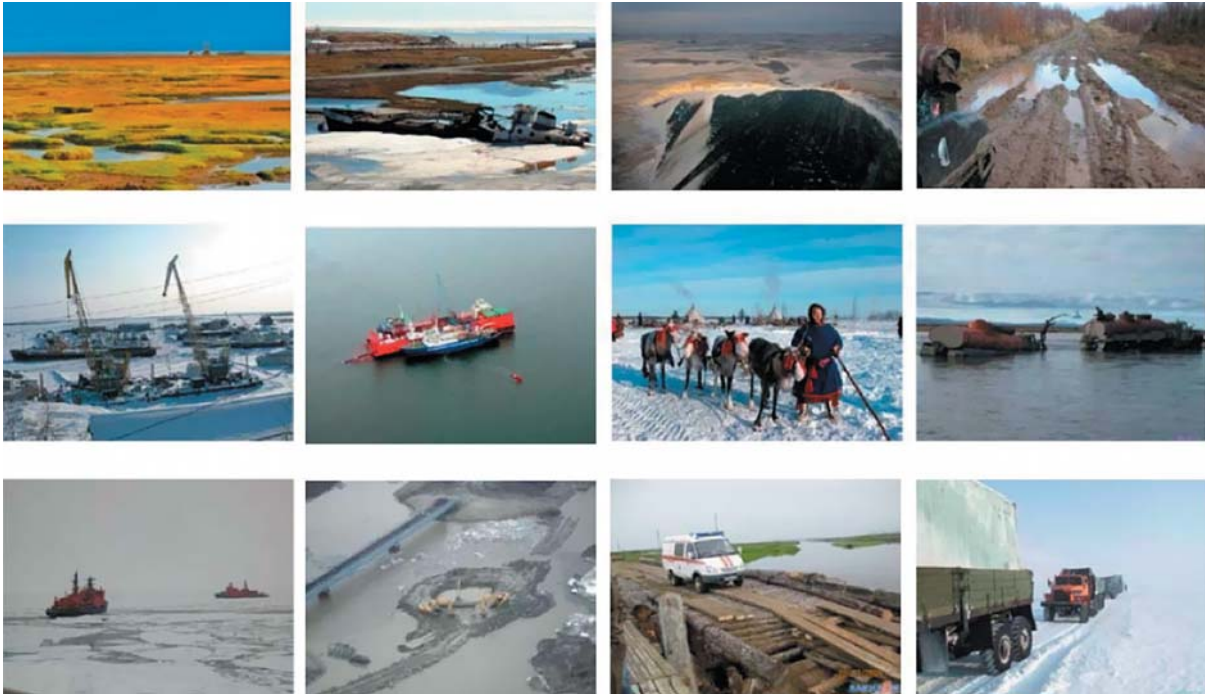


Рис. 2. Примеры ландшафта и применения традиционных видов транспорта на Ямале [8]

и более [3, с. 94]. Струи воздуха при таких скоростях, как и струи от воздушных винтов и реактивных двигателей самолета, могут оказать среднее и даже сильное воздействие на почвенно-растительный покров, особенно при регулярной эксплуатации. Ослабить воздействие струи на почвенно-растительный покров можно путем уменьшения давления в камере воздушной подушки до 3,5 кПа (что приводит к уменьшению массы полезной нагрузки), а также укреплением поверхности на аэродроме в зоне движения СШВП, например, созданием покрытия из обработанных вяжущим пород с правильно подобранным гранулометрическим составом [3, с. 199—201], сборными аэродромными покрытиями и т. п.

В ЦАГИ выполнен комплекс работ, связанных с созданием СШВП типа «Динго» (главный конструктор В. П. Морозов), который по летно-эксплуатационным качествам превосходит созданные за рубежом СШВП. Грузоподъемность самолета «Динго» составляет восемь пассажиров или 750 кг груза.

Гидросамолеты и гидросамолеты-амфибии могут найти широкое применение в условиях Крайнего Севера в связи с большим количеством водоемов, которые могут использоваться для взлетов и посадок. В ЦАГИ проведен комплекс работ по обеспечению создания гидросамолета-амфибии Бе-103 и его модификаций, серийный выпуск которых налажен в Комсомольске-на-Амуре. Также выполнен комплекс исследований по гидросамолету типа Р-50 «Роберт», темпы разработки которого опережали темпы создания Бе-103, а уровень разработок доведен до постройки и испытаний самоходной

модели одноместного самолета — копии Р-50. Работы по самолету Р-50 были остановлены в период кризиса 1998 г.

Недостатком использования самолетов в условиях Крайнего Севера является высокая стоимость пассажиро-километра (тонно-километра), высокая стоимость воздушного судна, а также зависимость от метеоусловий (скорости ветра, осадков, видимости, гололедицы, заснеженности и обледенения поверхности аэродромов). Также высоки затраты на очистку аэродромов от снега, борьбу с гололедицей и гололедом.

2. Аппараты на статической воздушной подушке обычно применяются при движении по горизонтальной (водной и замерзшей, в том числе заснеженной) поверхности. При этом давление в камере воздушной подушки АВП аналогично СШВП достигает 8 кПа, а скорость вытекающей из зазора между ограждением камеры воздушной подушки и поверхностью струи воздуха достигает 50 м/с и более.

Транспортные средства с шасси на воздушной подушке, как и СШВП, могут круглогодично использоваться на всей территории России, в том числе в малоосвоенных и слабонаселенных регионах Сибири, Якутии, Крайнего Севера. Аппараты с шасси на воздушной подушке с величинами давления в камере воздушной подушки до 3,5 кПа не требуют создания сетей дорогостоящих автомобильных дорог и аэродромов и способны решать транспортные задачи даже в таких условиях, когда применение другой транспортной техники вообще невозможно. Именно благодаря этим свойствам аппараты на воздушной

подушке могут успешно конкурировать с альтернативными транспортными средствами, несмотря на свою относительную сложность и более высокую потребную энерговооруженность.

Воздушная подушка, как «аэростатическая», так и «динамическая», может полноценно выполнять все функции обычного шасси: поддерживать аппарат в рабочем положении, амортизировать и демпфировать колебания, обеспечивать устойчивость движения.

При движении по суше с негоризонтальной или неровной поверхностью АВП оснащаются наземным (обычно колесным или гусеничным) движителем. В связи со сложностью обеспечения минимального зазора между ограждением воздушной подушки и поверхностью в условиях случайного микрорельефа в тундре требуется повышенная мощность силовой установки.

АВП классифицируются как суда с динамическими принципами поддержания и сертифицируются в Российском морском регистре судоходства (РМРС) и Российском речном регистре (РРР). В РРР и РМРС имеется требование по эксплуатации в светлое время суток при хороших метеоусловиях, обеспечению автономности АВП на случай аварии. Для эксплуатации в условиях полярной ночи должны быть определены дополнительные требования к АВП. Для обеспечения автономности необходимо наличие на борту дополнительного запаса топлива и системы обогрева, что уменьшает дальность хода, полезную и коммерческую нагрузку АВП.

Таким образом, для эксплуатации АВП для Крайнего Севера и Арктики над твердой поверхностью должны приниматься меры по предотвращению разрушения почвенно-растительного покрова струями, истекающими из зазора между ограждением и поверхностью. Такими мерами могут быть повышение эластичности ограждения камеры воздушной подушки, уменьшение в ней давления для частичной разгрузки веса АВП, например до 3,5 кПа, а также создание трассы для АВП с искусственным покрытием и с малыми поперечными уклонами.

Конструкция искусственного покрытия трассы для АВП должна обеспечивать сохранение почвенно-растительного слоя, в том числе от истекающих из под ограждения камеры воздушной подушки струй воздуха, воспринимать нагрузки от наземного движителя, иметь незначительные поперечные уклоны, сохранять тепловой баланс многолетнемерзлого грунта, расположенного под активным слоем. Такие трассы с искусственным покрытием могут использоваться для АВП с величиной давления в камере воздушной подушки более 3,5 кПа (для повышения весового совершенства АВП) и преимущественно в период оттаивания активного слоя.

3. Экранопланы и экранолеты (экранопланы типов В и С) при движении используют экранный эффект, заключающийся в повышении статической составляющей полного давления набегающего потока

вследствие торможения потока между опорной поверхностью и нижней поверхностью корпуса и крыла планера экраноплана. Естественными трассами при всепогодной эксплуатации для экранопланов, как и для АВП, являются реки, озера, водохранилища, море, в том числе покрытые льдом и снегом. Созданный при выполнении федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники в 2009—2016 годы» (ФЦП РГМТ) с участием Крыловского государственного научного центра и ЦАГИ научно-технический и конструкторский завод позволил создать экспериментальный образец экраноплана типа В «Орион-20».

Экранопланы, как и АВП, сертифицируются в РМРС и РРР как суда с динамическими принципами поддержания, с аналогичными требованиями по эксплуатации в светлое время суток при хорошей видимости и с ограничениями по метеоусловиям и волнению водной поверхности. Также предъявляются требования по обеспечению автономности (обогрев салона, действие радиосвязи, обеспечение водой и пищей на случай аварийного происшествия). Это, как и для АВП, приводит к снижению полезной и коммерческой нагрузки.

Для перелета на другие акватории и облета препятствий целесообразно использовать экранолеты — экранопланы типов В и С по классификации РМРС в соответствии с «Временным руководством по безопасности экранопланов» Международной морской организации, которые могут кратковременно выходить из зоны действия экранного эффекта на высоту до 150 м (экранопланы типа В) или летать в самолетных режимах (экранопланы типа С).

В настоящее время разработаны принципы проектирования аэродинамических компоновок экранолетов, в том числе имеющих практически одинаковые углы отклонения рулей высоты при изменении высоты полета вплоть до самолетных режимов при сохранении скорости полета. В то же время экраноплан с системой поддува для создания динамической воздушной подушки под несущей поверхностью обеспечивает режим движения на воздушной подушке, но с меньшей энергетической эффективностью, чем у АВП.

Нагрузка на поверхность, над которой перемещается экраноплан, сопоставима с нагрузкой на крыло экраноплана, не превышающей 6 кПа, а струи воздуха от воздушных винтов или реактивных двигателей действуют на поверхность, как на самолетах, за исключением движения на поддуве, при котором струи воздуха направляются под крыло для создания динамической воздушной подушки. Поэтому для сохранения почвенно-растительного покрова в распутицу и летнее время целесообразно выполнять взлеты с использованием поддува с воды или с подготовленной поверхности — аэродрома.

Таким образом, использование экранопланов и экранолетов представляется перспективным, поскольку по своим свойствам экранопланы являются



Рис. 3. Предложения по применению экранопланов типа «Орион-20» в качестве пассажирского транспорта на Ямале [8]

универсальными транспортными средствами и могут заменить или дополнить самолеты, гидросамолеты, гидросамолеты-амфибии и АВП. При этом требуется доработка норм PPP и РМРС по экранопланам и разработка специального оборудования для эксплуатации в условиях Арктики и Крайнего Севера, в том числе во время полярной ночи.

Предложения по применению экранопланов типа «Орион-20» в качестве пассажирского транспорта в условиях Арктики и Крайнего Севера приведены в [8], пример их применения на полуострове Ямал показан на рис. 3.

4. Повысить транспортную эффективность экранопланов можно путем создания оптимальных условий для реализации преимуществ экранного эффекта в аэродинамическом качестве и скорости при полете вдоль специально профилированного основания-полотна. По признаку движения по направляющему основанию-полотну такой экраноплан можно назвать экранопоездом. Некоторые вопросы создания экранопоездов рассмотрены в [10; 11], а возможные технические решения — в [12]. Сравнение энергетической эффективности экранопоезда с поездами на магнитном подвесе, приведенное в [13, с. 81—86], показывает неоспоримое энергетическое преимущество экранопоезда.

Предпроектная проработка экранопоезда показала, что полезная нагрузка (топливо плюс коммерческая нагрузка) достигает 0,65 взлетного веса экранопоезда, а производство аэродинамического

качества на скорость может превысить существующий показатель любых других видов транспорта: кривая  $K = f(V)$  на универсальной транспортной диаграмме превышает достигнутый уровень транспортной эффективности. Пример такой диаграммы приведен на рис. 4. Представлена зависимость в логарифмическом масштабе отношения веса к силе сопротивления при движении  $K$  от скорости движения  $V$  для разных видов транспорта. Для летательных аппаратов и видов транспорта с аэродинамической разгрузкой величина  $K$  соответствует аэродинамическому качеству, равному отношению аэродинамической подъемной силы  $Y$  к аэродинамическому сопротивлению  $X$ :  $K = Y/X$ . Представленные в обозначениях экранопланов коды соответствуют классификации экранопланов, приведенной в [10].

Большая величина относительной полезной нагрузки экранопоезда возможна в связи с тем, что полет выполняется на малой высоте со значительно меньшей атмосферной турбулентностью. В результате расчетные перегрузки определяются не атмосферной турбулентностью (как на самолетах), а скоростью полета и радиусами трассы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, задаваемыми в техническом задании. Это позволяет существенно уменьшить относительный вес конструкции экранопоезда и увеличить относительную полезную и коммерческую нагрузку, сопоставимую с относительной полезной нагрузкой наземного транспорта и значительно превышающую относительную полезную

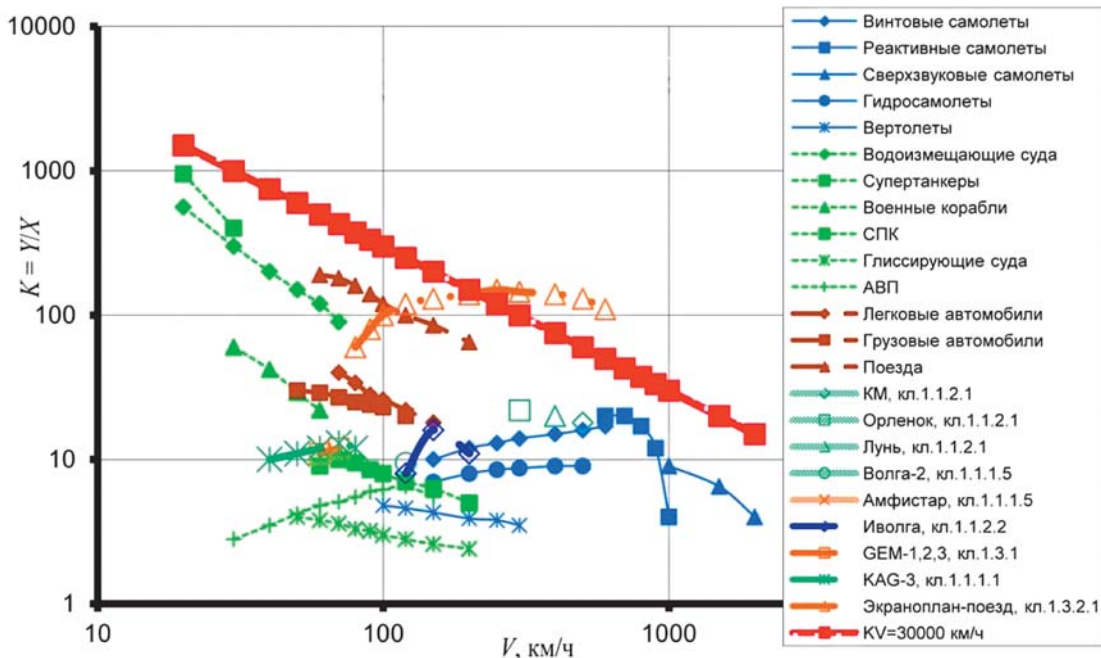


Рис. 4. Универсальная транспортная диаграмма  $K = f(V)$

нагрузку поездов с магнитным подвесом, составляющую 0,08—0,30 их веса [14, с. II.10—II.11].

Особенностью экранопоезда является также низкая нагрузка на полотно, сопоставимая с нагрузкой на крыло, т. е. не более 6—8 кПа. За счет большой скорости движения, которая может составлять 300—700 км/ч, неровности полотна (например, возникающие при морозном пучении) не изменяют траекторию движения экранопоезда.

Подобная транспортная система с экранопоездом может составить конкуренцию перспективным высокоскоростным колесным поездам и поездам на магнитном подвесе. В условиях Крайнего Севера с учетом низких нагрузок на полотно и допустимости большей неравномерности морозного пучения, чем для дорожной одежды и балластного слоя, затраты на строительство направляющих будут меньше, чем на строительство автомобильной и железной дороги с такой же пропускной способностью. При этом скорость движения экранопоезда может составить более 300 км/ч.

Конструкция направляющих, как и конструкция искусственного покрытия для АВП, должна обеспечивать сохранение почвенно-растительного покрова, в том числе от струй воздуха, истекающих из области повышенного давления под нижней поверхностью планера экранопоезда, воспринимать нагрузки от наземного движителя в случае остановки экранопоезда и сохранять тепловой баланс многолетнемерзлого грунта, расположенного под активным слоем. Направляющие предпочтительно использовать круглогодично с обеспечением очистки от снега, льда, осадков и поддержанием их профиля. Для обоснования аэродинамической компоновки

экранопоезда и поперечного профиля необходимо выполнить поисковые научно-исследовательские работы с расчетно-экспериментальными исследованиями вариантов моделей компоновок экранопоезда и направляющих. Такие работы проводятся в ряде стран.

**Экономичность инновационных видов транспорта**

Экономичность рассмотренных выше инновационных видов транспорта с аэродинамической разгрузкой можно оценить при использовании универсальной транспортной диаграммы, предложенной во второй половине 1940-х годов зарубежными исследователями Карманном и Габрилли и советским авиаконструктором и ученым Р. Л. Бартини.

Создатели универсальной транспортной диаграммы предположили, что «не занятая» существующими видами транспорта область  $K—V$  будет заполняться новым видом транспорта. Таким видом является экранопланый транспорт, обладающий более высокими величинами скорости передвижения  $V$  по сравнению с водным и наземным транспортом и лучшим аэродинамическим качеством  $K$  по сравнению с воздушным транспортом. Очевидно, что развитие существующих (традиционных) видов транспорта может идти в направлении повышения скорости и аэродинамического качества, в том числе за счет использования экранного эффекта. При этом параметры  $K—V$  существенно зависят от условий эксплуатации.

Экранопланы могут эпизодически эксплуатироваться как над водной, так и над ровной, без резкого перепада высот микрорельефа твердой поверхностью и при уклоне до 5°. Использование

поддува струй газа под корпус (крыло) в маршевом режиме движения, реализованное на экранопланах «Волга-2», «Амфистар», «Акваглайд», как показано в [1], расширяет область эксплуатации АВП в сторону увеличения скорости движения и аэродинамического качества. В маршевом режиме поддув обеспечивает разгрузку на 10—15% веса, остальная разгрузка осуществляется за счет аэродинамической силы, обусловленной экранным эффектом. Возникающая при поддуве динамическая воздушная подушка «поднимает» экраноплан из воды, что снижает гидродинамическое сопротивление на «горбе» сопротивления и позволяет значительно снизить потребную стартовую тяговооруженность при движении на воде. При этом для поддува и на маршевом режиме используется единая силовая установка. На диаграмме на рис. 4 показана область, соответствующая характеристикам  $K$ — $V$  экраноплана «Волга-2».

Оснащение судов на подводных крыльях (СПК) воздушным крылом, реализованное, например, на экраноплане «Циклон», увеличивает скорость движения (на экраноплане «Циклон» — до 180 км/ч) и аэрогидродинамическое качество СПК до величин  $K = 12$ —14. В проектах транспортных амфибийных платформ ТАП-500 и ТАП-700 использование экранного эффекта и поддува для создания воздушной подушки обеспечивает аэродинамическую разгрузку на 75—80% и скорость движения 200—250 км/ч при аэрогидродинамическом качестве  $K = 10$ —12. Использование экранного эффекта экранолетами ЭЛ-7 «Иволга» (главный конструктор В. В. Колганов), «Стриж» и других существенно увеличивает аэродинамическое качество при движении на экранных высотах по сравнению с «самолетными» высотами полета, а также самолетами и гидросамолетами такой же размерности, расширяет область использования катеров при больших, недоступных водоизмещающим судам скоростях движения и повышает безопасность за счет маневрирования по высоте.

Оснащение аэросаней и аэроглиссеров-амфибий воздушным крылом, расположенным на высоте действия экранного эффекта, обеспечивает аэродинамическую разгрузку, уменьшая нагрузку при касании корпуса с поверхностью, по которой они перемещаются, что позволяет увеличить скорость движения.

В представленных примерах экранопланы и экранолеты частично обладают свойствами наземного, водного и воздушного транспорта, область использования которого они расширяют. Это обстоятельство предопределяет разнообразие компоновочных решений экранопланов с заимствованием у транспорта-прототипа технических решений, отражающих условия эксплуатации. Так, экраноплан «Волга-2» увеличивает качество быстроходных глиссирующих судов, катер-экрanoплан «Циклон» увеличивает скорость и аэрогидродинамическое качество судов на подводных крыльях, проектные

характеристики экранопланов ТАП-500, ТАП-700 обладают большими скоростями и аэрогидродинамическим качеством по сравнению с АВП, а экранолет ЭЛ-7 «Иволга» вблизи экрана имеет большее аэродинамическое качество по сравнению с винтовыми самолетами такой же размерности при равных скоростях полета. Использование действующего в зоне действия экранного эффекта воздушного крыла на аэросанях и аэроглиссерах-амфибиях обеспечивает повышение скорости и проходимости при снижении нагрузки на поверхность, по которой они перемещаются. Это расширяет область использования аэросаней и аэроглиссеро-амфибий и обеспечивает их экологичность при эксплуатации в Арктике и на Крайнем Севере.

Таким образом, использование инновационными видами транспорта аэродинамической разгрузки позволяет обеспечить экологичность в части сохранения почвенно-растительного покрова Крайнего Севера и Арктики и экономичность эксплуатации по сравнению с традиционными видами транспорта. Создание «дорожной одежды», предотвращающей разрушение почвенно-растительного покрова струями, истекающими из области повышенного давления, или от воздушных винтов и турбореактивных двигателей, создает предпосылки для специализации инновационных видов транспорта, в частности АВП и экранопоездов, в направлении повышения их энергетической эффективности и, следовательно, экономичности. Кроме того, создание «дорожной одежды» для транспортных средств с аэродинамической нагрузкой обеспечивает возможность создания транспортной сети между населенными пунктами и месторождениями в летне-осенний период при оттаивании активного слоя многолетнемерзлых грунтов. При этом сроки и стоимость создания таких трасс значительно меньше по сравнению с возведением дорожного полотна автомобильных и железных дорог и аэродромов для традиционных видов транспорта.

Создание транспортных систем для Арктики и Крайнего Севера с использованием инновационных видов транспорта с аэродинамической разгрузкой создает условия для комплексного подхода к формированию технических заданий на разработку и создание транспортных средств с аэродинамической разгрузкой по грузоподъемности, дальности, скорости хода и условиям эксплуатации. Такой подход обеспечит жителям Крайнего Севера и Арктики при освоении и обслуживании месторождений и трубопроводов доступность пассажирских и грузовых перевозок, оказание медицинской помощи и связи.

### **Достигнутый уровень развития инновационного транспорта с аэродинамической разгрузкой**

В рамках выполнения ряда федеральных целевых программ в последнее время в России проведены научно-исследовательские и опытно-кон-





Рис. 5. Заводские испытания опытного образца экраноплана «Орион-20», март 2015 г.



Рис. 6. Выход экраноплана «Орион-20» на поддуве из полыни. Февраль 2014 г.



Рис. 7. Подлет экраноплана «Орион-20». Февраль 2014 г.

структурские работы (НИОКР) по инновационным видам транспорта с аэродинамической разгрузкой.

При выполнении ФЦП РГМТ выполнены НИОКР по экранопланам типа В, т. е. экранопланам, способным совершать подлеты до высоты 150 м над опорной поверхностью. Проведены исследования аэродинамических компоновок [15], выполнено обоснование использования для экранопланов типа В аэродинамической компоновки с составным крылом и катамаранной схемой установки поплавков [16]. В аэродинамической трубе Крыловского государственного научного центра выполнена отработка компоновки экспериментального образца экраноплана «Орион-20» при продувках в присутствии неподвижного экрана и без него и при моделировании импульса (тяги) воздушных винтов двигателей [15; 16]. Полученные результаты использованы при формировании математической модели экраноплана для исследований на пилотажном стенде ПСПК-102 ЦАГИ [15; 17]. В гидроканалах Крыловского центра проведены исследования гидродинамической компоновки экспериментального образца экраноплана «Орион-20» с моделированием импульса (тяги) струи воздушных винтов впереди расположенных двигателей. В гидроканале ЦАГИ проведены исследования перспективной взлетно-посадочной механизации крыла экраноплана, включающей щелевую механизацию передней кромки и двухзвенной закрывки, с моделированием тяги воздушных винтов [18]. Выполнен ряд исследований и испытаний на прочность и ресурс элементов крыла, изготовленного из композитных материалов. Подготовлена программа наземных, прочностных и ходовых испытаний экспериментального образца экраноплана «Орион-20» катамаранной схемы с «составным крылом».

На Онежском озере начаты заводские испытания эксперимен-

тального образца экраноплана «Орион-20» с взлетной массой до 14 т (рис. 5). В ходе испытаний продемонстрирована возможность выхода экраноплана из полыньи на тонкий лед (рис. 6), осуществлены подлеты (рис. 7) и полеты надо льдом, подлеты с воды 6 ноября 2013 г. (командир экипажа летчик-испытатель 1-го класса Ю. А. Чиркин), 17 и 30 июля 2015 г. (командир экипажа летчик-испытатель 1-го класса И. Г. Добровольский). Отработаны приемы пилотирования при взлетах и полетах с воды и со льда. Проведены учения с участием МЧС по спасению терпящих бедствие (рис. 8).

Помимо работ по федеральной целевой программе изготовлена малая серия экранопланов «Орион-12» со взлетной массой до 4,5 т. Также малой серией изготовлены экранопланы типа А «Волга-2», «Амфистар» и «Акваглайд». В [19] предлагается для приморских районов Арктики и Крайнего Севера использовать экранопланы типа А «Волга-2», разработаны проекты экранопланов типа В «Стриж-3» и типа С водоизмещением около 50 т.

Продолжаются разработки ряда новых проектов СШВП с взлетной массой от 20 до 35 т. Прототипом таких СШВП может послужить созданная совместно с ЦАГИ, ЗАО «Самолеты Яковлева» и ООО «Предприятие «Аэро-рик» радиоуправляемая модель СШВП (рис. 9), которая в натуральных испытаниях по заснеженной поверхности при выбранной схеме создания шасси на воздушной подушке показало высокую проходимость. При испытаниях в аэродинамической трубе ЦАГИ достигнуто максимальное аэродинамическое качество  $K = 8,3$ , а при испытаниях в опытовом бассейне ЦАГИ — максимальное гидродинамическое качество на горбе сопротивления на спокойной воде  $K = 13,7$  и при регулярном волнении  $K = 10,5$ .

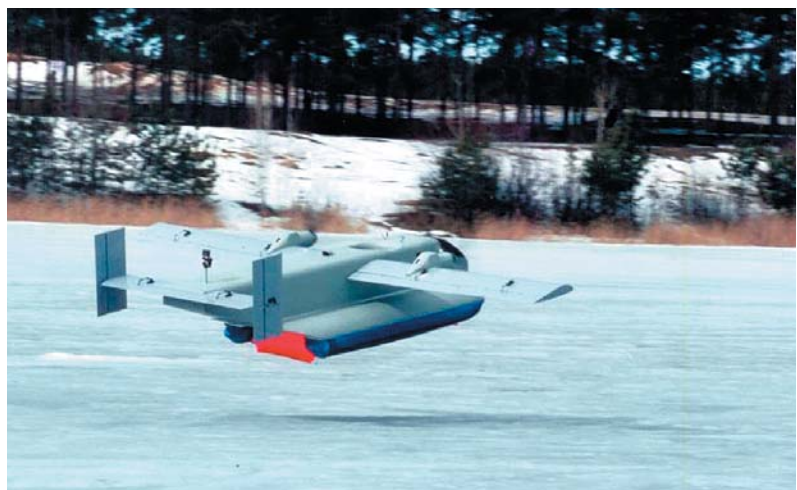
Накопленный опыт разработки и научно-технический задел позволяют сегодня создавать



Рис. 8. Учения с участием МЧС



а



б

Рис. 9. Радиоуправляемая модель СШВП: а — на стопе, б — в полете



Рис. 10. Испытания АВП «Альбатрос»



Рис. 11. АВП «Пардус»

высокоэффективные шасси на воздушной подушке практически для любых условий эксплуатации. При этом важно уже на стадии проектирования четко определить их требуемые характеристики, что позволит правильно выбрать проектные и технические решения.

Обычными целями создателей аппаратов на воздушной подушке являются достижение наиболее высоких показателей проходимости, обеспечение приемлемых характеристик устойчивости (остойчивости), управляемости и плавности хода, снижение потребной энерговооруженности, снижение сопротивления движению аппарата на водной и грунтовой поверхностях, а также снижения влияния на подстилающую поверхность.

В настоящее время создан и испытан ряд АВП весом до 4 т с давлением в камере воздушной подушки 1,5—2,5 кПа для сохранения почвенно-растительного покрова. В качестве примеров таких АВП можно привести созданный в рамках выполнения ряда федеральных целевых программ с участием ЦАГИ и ЗАО «КОМВЕН» АВП «Альбатрос» и его модификацию, оснащенную контактным гусеничным движителем с приводом от гидротрансмиссии (рис. 10).

Другой пример — созданный в рамках выполнения ряда федеральных целевых программ с участием ЦАГИ и ОАО «ЦКБ «Нептун»» АВП «Пардус» (рис. 11), в котором использована гидротрансмиссия для

привода воздушных нагнетателей и воздушных винтов, обеспечивающая возможность эксплуатации при низких температурах Арктики и Крайнего Севера.

### Выводы

1. Инновационные виды транспортных средств с разгрузкой веса аэродинамическими силами имеют нагрузку на поверхность, над которой они движутся, не превышающую 10 кПа, что сопоставимо с несущей способностью активного (деятельного) слоя многолетнемерзлых грунтов. Однако наличие высоких скоростей воздушных струй винтов, турбореактивных двигателей, а также истекающих из зазоров между конструкцией статической и динамической воздушной подушки и поверхностью со скоростью до 50 м/с и более могут оказать умеренное и сильное воздействие на почвенно-растительный покров.

2. Использование транспортных средств с разгрузкой веса аэродинамическими силами позволяет заметно снизить затраты на изготовление для АВП трасс с искусственным покрытием, обеспечивающим сохранение почвенно-растительного покрова и теплового баланса многолетнемерзлых грунтов под активным слоем, по сравнению со строительством земляного полотна для автомобильных дорог, аэродромов и железных дорог. При этом трассы с искусственным покрытием для АВП целесообразно использовать в период оттаивания активного слоя многолетнемерзлых грунтов.

3. Использование экранопланов и экранолетов позволяет обеспечить более высокую транспортную эффективность по сравнению с самолетами и аппаратами на воздушной подушке.

4. Экранопоезда обладают более высокой транспортной эффективностью при меньших затратах на строительство направляющего полотна по сравнению со стоимостью и трудоемкостью строительства железной и автомобильной дорог. В связи с этим целесообразно провести

комплекс научно-исследовательских и конструкторских работ по экранопоездам и направляющим для них, в ходе которых разработать предложения, в том числе по исключению нарушения путей естественной миграции представителей фауны северных регионов и Арктики.

5. Комплексное использование инновационных видов транспортных средств с разгрузкой веса аэродинамическими силами обеспечивает транспортное обслуживание по перевозке пассажиров, доставке грузов, оказанию медицинской помощи между населенными пунктами в Арктике и на Крайнем Севере, а также обслуживанию месторождений на акваториях и материке. Это диктует необходимость разработки технических заданий на создание инновационных транспортных средств с учетом их комплексного использования.

### Литература

1. Проект «Ноосферные транспортные системы Сибири и Дальнего Востока» / Рук. проекта П. Т. Драчёв; Рос. акад. естеств. наук; Акад. транспорта России; Междунар. акад. экологии и природопользования. — Новосибирск, 2000.
2. Сергеев В. Г., Архангельский В. Н., Чутков А. А. О возможности использования транспортных средств с аэродинамическими силами поддержания в условиях многолетнемерзлых грунтов // Теория и практика морской деятельности. — 2013. — Вып. 24: Инновационные транспортные подсистемы / Совет по изучению производит. сил; Минэкономразвития России; Рос. акад. наук.
3. Изыскание и проектирование аэродромов / Под ред. Г. И. Грушкова, А. А. Могилевского. — М.: Транспорт, 1979.
4. Луцкий С. Я., Шепитько Т. В., Токарев П. М., Дудников А. Н. Строительство путей сообщения на Севере. — М.: ЛАТЕМС, 2009.
5. Фаломеева-Вдовина С. Б. Развитие транспортной системы приморских территорий и прибрежных акваторий Российской Федерации: от традиционных к инновационным транспортным подсистемам // Теория и практика морской деятельности. — 2013. — Вып. 24: Инновационные транспортные подсистемы / Совет по изучению производит. сил; Минэкономразвития России; Рос. акад. наук.
6. Долгополов А. А., Зайцев В. П., Захарченко Ю. А. и др. О целесообразности применения амфибийной авиационной и наземной транспортной техники в региональных и местных транспортных системах России: Доклад на межрегион. науч.-практ. конф. ФГУП ЦАГИ 2 ноября 2009 г.
7. Морозов В. П., Соколянский В. П., Захарченко Ю. А. и др. Роль перспективных воздушных амфибий в развитии транспортной системы России, включая приморские регионы страны // Теория и практика морской деятельности. — 2013. — Вып. 24: Инновационные транспортные подсистемы / Совет по изучению производит. сил; Минэкономразвития России; Рос. акад. наук.
8. Скиндер А. В., Варакосов Ю. Г., Сергеев В. Г. О развитии экранопланного транспорта в Российской Федерации // Теория и практика морской деятельности. — 2013. — Вып. 24: Инновационные транспортные подсистемы / Совет по изучению производит. сил; Минэкономразвития России; Рос. акад. наук.
9. Кульбида В. Е., Морозов В. П. Транспортная эффективность летательных аппаратов безаэродромного базирования / НИА-Природа. — М., 2003.
10. Сергеев В. Г. Развитие экранопланного транспорта // Двигатель. — 2007. — № 4—6.
11. Архангельский В. Н., Сергеев В. Г. Некоторые вопросы создания экранопланов-поездов // Труды ЦАГИ. — 2009. — Вып. 2685: Гидродинамика скоростных двухсредных аппаратов.
12. Сергеев В. Г., Архангельский В. Н., Соколянский В. П. Патент на изобретение № 2463182 «Транспортная система (варианты), экранопоезд и направляющая для нее», приоритет 06.04.2010 г., дата публикации 10.10.2012 г.
13. Панченков А. Н., Драчёв П. Т., Любимов В. И. Экспертиза экранопланов. — Н. Новгород, 2006.
14. Винокуров В. А. От колеса к русско-немецкому «супермодернизированному трансрапиду» // Труды Девятой научно-технической конференции «Безопасность движения поездов», 30—31 октября 2010 г. — М., 2010.
15. Варакосов Ю. Г., Волик О. А., Ершов А. И. и др. О некоторых особенностях аэрогидродинамики экраноплана «Орион-20» при испытаниях над водой и льдом // Сборник докладов X научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014». — М.: ЦАГИ, 2014.
16. Сергеев В. Г. К вопросу обоснования выбора аэродинамической компоновки экраноплана типа «В» // Сборник докладов X научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014». — М.: ЦАГИ, 2014.
17. Макиенко А. М. Особенности синтеза системы автоматического улучшения ручного управления экранопланом в продольном движении // Сборник докладов X научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014». — М.: ЦАГИ, 2014.
18. Коврижных Л. Д., Сергеев В. Г., Вишневецкий Г. А. Экспериментальное исследование аэрогидродинамических характеристик модели экраноплана с центропланом, оснащённым щелевой механизацией передней кромки и двухзвеньевым закрылком // Сборник докладов X научной конференции по гидроавиации «Гидроавиасалон-2014». — М.: ЦАГИ, 2014.
19. Платонов С. В. Транспортные средства для эксплуатации на территории арктического и дальневосточного макрорайонов, предлагаемые ОАО «ККБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» // Теория и практика морской деятельности. — 2013. — Вып. 24: Инновационные транспортные подсистемы / Совет по изучению производит. сил; Минэкономразвития России; Рос. акад. наук.