

А.В. Князьков, П.А. Гринимайер, Е.Л. Лысенко
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СУДОВ
С ДИНАМИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ ПОДДЕРЖАНИЯ

ОАО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева»

Рассматриваются ключевые отличия судов с динамическим принципом поддержания от водоизмещающих судов и других транспортных средств. В качестве анализируемых параметров рассматриваются аэрогидродинамическое качество, диапазон эксплуатационных скоростей и оценка транспортной эффективности различных транспортных средств на основе методологических материалов. Показывается, что суда с динамическими принципами поддержания позволят в XXI веке успешно реализовать и вывести скоростное судостроение на качественно новый уровень для эффективного решения многих стратегических транспортных и оборонных задач.

Ключевые слова: суда с динамическим принципом поддержания, скоростные суда, перспективы развития.

В России одной из важных комплексных транспортных проблем является эффективное круглогодичное обеспечение грузовых и пассажирских перевозок в регионах Сибири, Дальнего Востока и Севера, экономическое освоение которых с экологических позиций представляет особую актуальность. В этих районах, занимающих около 50% территории страны, сосредоточено от 80 до 100% минеральных энергетических ресурсов, потенциально необходимых для развития экономики России.

Для регионов Сибири, Дальнего Востока и Севера свойственны большая удаленность от экономических центров, наличие отдельно расположенных и удаленных на сотни и тысячи километров друг от друга очагов промышленно-индустриального освоения, многообразная структура и небольшие размеры сельскохозяйственного производства. Здесь проживает менее 4% населения страны, плотность сельского населения Севера в 80 раз ниже, чем в среднем по стране. В большинстве случаев северные районы России характеризуются бездорожьем, экстремальными природно-климатическими условиями и особой остротой экологической проблемы, обусловливаемой интенсивным антропогенным и техногенным воздействием на уникальный природный комплекс тундры, который сильно уязвим и практически не способен к самовосстановлению.

Дальнейшее экономическое и социальное развитие Севера требует коренного изменения традиционных подходов к эксплуатации природных ресурсов высокоширотных территорий. В ближайшей перспективе приоритеты должны отдаваться не сиюминутной экономической выгоде от массивов вторжения хозяйственной деятельности человека в легкоуязвимые экосистемы Арктики и Субарктики, а долгосрочным эколого-экономическим программам, предусматривающим снятие противоречий между интересами ведомств и задачами сохранения природы. Создание транспортной экологически чистой техники и в целом транспортное освоение Севера является сложной научно-технической проблемой. При широкой трактовке к совокупности могут быть отнесены технические средства всех видов северного транспорта: наземного, водного, воздушного, для движения которых не нужны специальные постоянно действующие дороги. Пути развития внедорожных транспортных средств в долгосрочной перспективе будут определять качественно новые научно-технические возможности, основанные на принципиально новых открытиях и изобретениях. Экономическое, экологическое и социальное состояние регионов Сибири и Дальнего Востока неразрывно связано с эффективным функционированием транспортных систем.

Отличительными особенностями сибирских и дальневосточных регионов являются сложные климатические условия и малая плотность населения на огромных территориях. Населенные пункты, как правило, расположены на берегах крупных рек. В таких условиях

реки являются естественными и эффективными транспортными артериями. В последние годы объемы транспортной работы, выполняемой речным флотом, значительно снизились. Главными факторами, снижающими эффективность работы речного транспорта, являются короткий период навигации, невысокая скорость движения, значительное старение действующего флота, многочисленная перевалка грузов, необходимость длительного хранения грузов. В связи с этим существует острая необходимость создания и внедрения новых видов транспорта, которые могли бы обеспечить круглогодичное снабжение всем необходимым населенных пунктов Сибири и Дальнего Востока. Такими транспортными средствами должны стать суда с динамическими принципами поддержания. К ним относятся суда на подводных крыльях, суда на воздушной подушке, глиссирующие суда и экранопланы. Эти суда найдут широкое применение не только на реках Сибири и Дальнего Востока, но и на морских и океанских акваториях Заполярья, Приморья, Камчатки, Чукотки и Сахалина, на озере Байкал. В Европейской части России – на акваториях Балтийского, Черного и Каспийского морей, крупных озер и рек. За рубежом – на прибрежных и островных территориях Юго-Восточной Азии, Южной Америки и др. Упомянутые суда – глиссирующие, на подводных крыльях, воздушной подушке и экранопланы составляют группу судов с динамическими принципами поддержания (СДПП). В основном режиме эксплуатации поддержание этих судов обеспечивается не гидростатическими, как в водоизмещающем режиме, а гидродинамическими силами. При проектировании водоизмещающего судна знание вопросов гидродинамики необходимо для совершенствования его пропульсивных качеств, при проектировании СДПП – для обеспечения его поддержания. Поэтому одной из важнейших проблем, с которой приходится сталкиваться при проектировании СДПП, является определение гидроаэродинамических сил на несущих элементах. От правильного определения этих сил зависит сама возможность выхода на режимы «парения» СПК, глиссирования, движения вблизи опорной поверхности и т. д., а также устойчивость движения при расчетной скорости.

В аэродинамическом проектировании уверенный путь, ведущий к хорошим и практическим решениям, как считает известный специалист в области авиации Д. Кюхеман, - начинается с механики жидкости и газа и выбора типов течений, подходящих для инженерных целей, которые могут быть применены с определенной уверенностью. Это приведет к соответствующим типам самолетов и основным концепциям проекта и соответствующим методам. Это утверждение в равной степени справедливо для СДПП. Динамический способ поддержания СДПП обуславливает существенные отличия их архитектуры и конструкции от традиционных водоизмещающих судов, при этом влияние гидроаэродинамики на решение большинства вопросов проектирования чрезвычайно велико. Выбор способа поддержания определяет тип судна, его конструктивные особенности, которые приводят к необходимости решения специфических для данного типа судна аэрогидродинамических проблем. Таким образом, для СДПП характерна тесная взаимосвязь компоновки конструкции со способом поддержания и гидроаэродинамикой судна в целом.

Эффективность транспортных средств оценивают с помощью общих показателей. Правда, далеко не всегда такие показатели являются определяющими при решении вопроса о целесообразности создания и эксплуатации транспортного средства конкретного типа. Решающим фактором может оказаться наличие специфического свойства аппарата, например, амфибийности.

Гидроаэродинамическое совершенство транспортного средства оценивают гидроаэродинамическим качеством:

$$K = \frac{G}{R_x} = Gv_0/P_E$$

или обратной ему величиной – удельным сопротивлением: R_x/G . Гидроаэродинамическое качество не остается постоянным с изменением скорости движения. Поэтому для судна любого типа существует наиболее благоприятный диапазон скоростей

движения, соответствующий максимальному и близким к нему значениям величины K .

На рис. 1 приведены характерные зависимости обратного качества различных судов от относительной скорости, определяемой числом Фруда по объемному водоизмещению Fr_v .

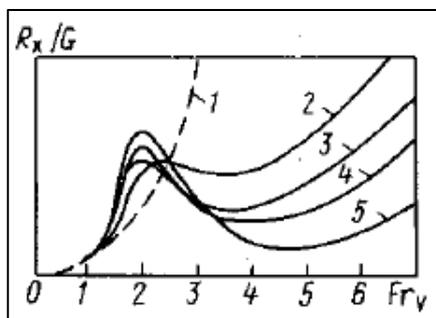


Рис.1. Удельное сопротивление различных типов судов:
1 – быстроходное водоизмещающее судно;
2 – глиссер; 3 – СПК; 4 – СВП; 5 – экраноплан

Эти зависимости представляют некоторые осредненные данные и могут служить лишь для качественного сопоставления СДПП разных типов между собой и с водоизмещающими судами. Как видно, практически все СДПП обладают существенно более высоким гидроаэродинамическим качеством, чем плавающие суда, при $Fr_v > 3$ и в то же время заметно уступают им при малых скоростях. Таким образом, значение $Fr_v = 3$ – это ориентировочно нижний предел диапазона скоростей, при которых эксплуатация большинства СДПП эффективна с точки зрения гидроаэродинамики. При $Fr_v > 1 \div 1,5$ из-за сильного роста волнового сопротивления эксплуатация водоизмещающих судов становится малоэффективной. В промежуточном диапазоне скоростей $Fr_v = 1,5 \div 2,5$ целесообразно использовать комбинированный способ поддержания за счет архимедовой и, например, гидродинамической подъемной силы на подводном крыле.

Каковы же реальные максимальные значения гидродинамического качества? У глиссирующих судов значение $K = 6 \div 7$ и примерно с $Fr_v > 4$ более эффективными оказываются СПК. У хорошо спроектированных СПК $K = 12 \div 14$. СВП могут обладать в том же диапазоне скоростей еще большими значениями K , однако для оценки их эффективности нужно учитывать энергетические затраты на создание воздушной подушки. С этой целью вводят понятие пропульсивного качества: $K_0 = \frac{Gv_0}{P_\Sigma}$, где P_Σ – суммарная мощность, затрачиваемая на движение и поддержание с учетом КПД движителей и нагнетателей.

Для глиссирующих судов и СПК, у которых на поддержание непосредственно мощность не расходуется, $K_0 = \eta_d K$, где η_d – пропульсивный КПД движителя, имеющий для гребных винтов значение $\eta_d = 0,7 \div 0,8$.

Для СВП: $P_\Sigma = P_d + P_n$, где P_d и P_n – мощности, потребляемые соответственно движителями и нагнетателями. Пропульсивное качество СВП не превышает значений $K_0 = 8 \div 9$ и, как правило, ниже значений K_0 , характерных для СПК. При еще больших скоростях движения наиболее эффективными являются экранопланы. При $Fr_v > 10$ значения аэродинамического качества экранопланов могут достигать значений $K_0 = 20 \div 25$, заметно превышающих качество обычных самолетов. В области $Fr_v = 1,5 \div 2,5$ полупогруженные суда с подводными крыльями могут иметь значения $K = 15 \div 20$ (рис. 2) [1]. Диапазоны эксплуатационных скоростей различных типов судов показаны на рис. 3. [1].

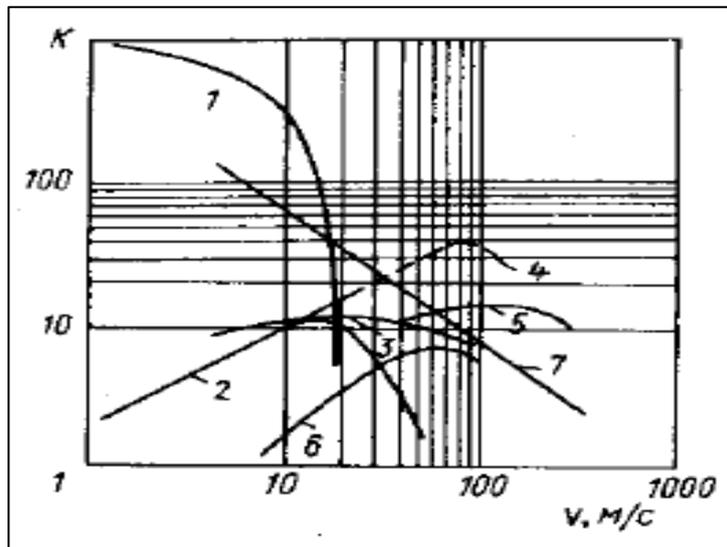


Рис. 2. Аэрогидродинамическое качество различных транспортных средств:
 1 – водоизмещающие суда; 2 – СПК; 3 – СВП; 4 – экранопланы;
 5 – самолеты; 6 – вертолеты; 7 – наземный транспорт

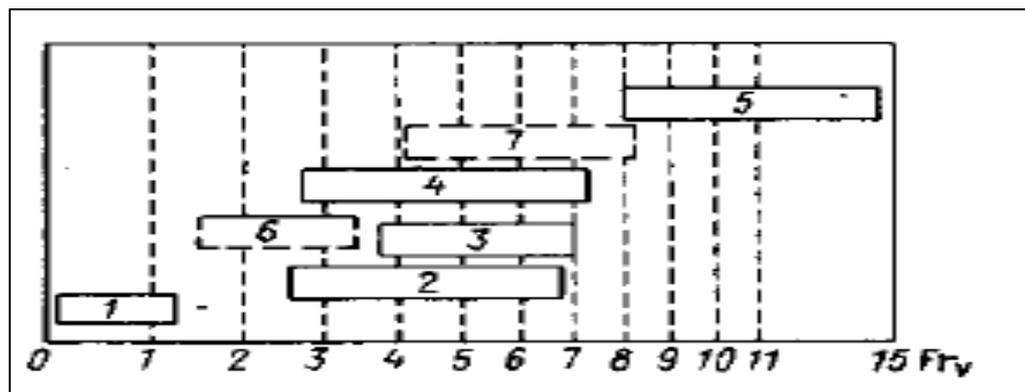


Рис. 3. Диапазоны эксплуатационных скоростей различных судов:
 1 – водоизмещающие суда; 2 – глиссеры; 3 – СПК; 4 – СВП;
 5 – экранопланы; 7 – СПК с аэродинамической разгрузкой.

Суда с ДПП, особенно экранопланы, обладают огромным преимуществом по скорости перед традиционными судами: высоким аэродинамическим качеством (совершенством) и более высокой мореходностью, чем гидросамолеты. Кроме того, суда с ДПП обладают и амфибийными качествами. Все эти качества объединить каким-либо одним обобщенным показателем трудно. Поэтому сравнительную оценку экранопланов с другими видами транспортных средств можно произвести, например, по диаграмме, предложенной Карманом и Габриэлли. По оси ординат этой диаграммы нанесено значение совершенства транспортного средства (Т. С.) в виде ходового качества K (отношение массы Т. С. к силе сопротивления при его движении), которое для судов эквивалентно гидродинамическому или гидроаэродинамическому качеству; для самолетов, вертолетов и экранопланов - аэродинамическому. По оси абсцисс этой диаграммы нанесена скорость движения. На рис. 4 приведена диаграмма Кармана-Габриэлли для сравнительной оценки эффективности различных транспортных средств.

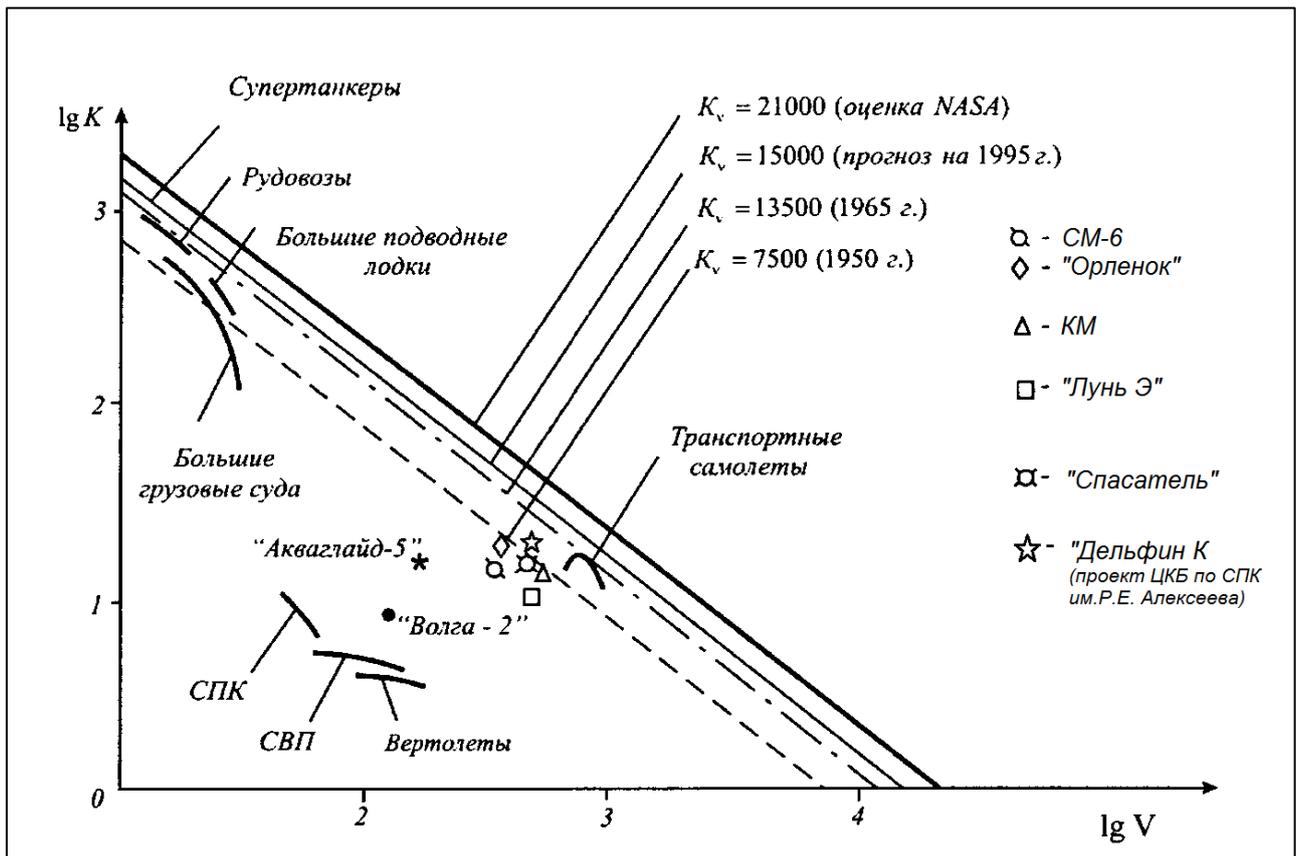


Рис.4. Диаграмма Кармана-Габриэлли для оценки транспортной эффективности различных транспортных средств

Видно, что в диапазоне скоростей 200-500 км/ч аэродинамическая эффективность экранопланов, определяемая произведением KV , значительно выше, чем у других транспортных средств. С точки зрения перспектив развития экранопланов представляет интерес оценка значений величины их KV , которая широко используется при прогнозировании развития летательных аппаратов, а также при сравнительном анализе

достигнутого уровня в области аэродинамики и проектирования. В основе этой оценки лежит известная гипотеза Кармана, согласно которой широкий класс транспортных аппаратов, включающий в себя водоизмещающие суда и корабли, подводные лодки, самолеты на данном техническом уровне характеризуется одинаковой величиной $KV = \text{const}$. Эта величина определяется наклоном огибающей линии соответствующих зависимостей $K = f(V)$, приведенных на рис. 4. Универсальность предельной линии $K = f(V)$ подтверждается практически и служит основанием для прогнозирования развития, а также открывает возможность даже по единичным экспериментальным точкам для построенных аппаратов судить о принципиально достижимом уровне аэродинамики широкого класса летательных аппаратов и наряду с этим оценить степень их аэродинамического совершенства. Каждому уровню технического развития какого-либо транспортного средства соответствуют свои значения $KV = \text{const}$. В частности, например, уровень 1985-1995 годов для самолетов оценивался величиной $KV = 15 \cdot 10^3$. Оценка предельных значений аэродинамической эффективности экранопланов и сопоставление ее с аналогичной оценкой для самолетов показывает, что на одном и том же техническом уровне предельные значения KV экранопланов и самолетов близки.

Главными преимуществами экранопланов перед надводными судами являются значительно большая (в 5-10 раз) скорость хода и амфибийность. Последняя обеспечивает экраноплану способность самостоятельного выхода на относительно ровный необорудованный берег, в том числе и при наличии ледового припая, и базирования на берегу. Способность экранопланов двигаться над заснеженными и ледовыми поверхностями, а также над землей делает их всесезонным видом водного транспорта. Имея высокие мореходные качества, экранопланы значительно превосходят гидросамолеты при использовании в морских и океанских условиях. Спасательные экранопланы позволят эффективно решать задачи по спасению людей с терпящих бедствие судов, кораблей, подводных лодок, летательных аппаратов и приводнившихся космических объектов, а также оказывать им первую медицинскую помощь. Как по скоростным возможностям, так и по мореходным качествам, автономности и большой грузоподъемности экранопланы будут незаменимы при ведении спасательных операций. Важное место отводится экранопланам и в Военно-Морском Флоте [2].

Одним из создателей судов с ДПП является наш земляк – нижегородец, Ростислав Евгеньевич Алексеев. В мировой технике Алексеев оказался в числе первых судостроителей, практически воплотивших многовековую мечту в жизнь. В 50-х годах XX века фактически одновременно, но независимо друг от друга Р.Е. Алексеев (СССР) и Г. Шертель (Германия) стали авторами первых в мировой истории скоростных пассажирских судов на подводных крыльях «Ракета» и морского пассажирского теплохода на подводных крыльях РТ-10 соответственно. Алексеев и Шертель использовали в изобретенных ими подводных крыльевых системах различные принципы движения судна на подводных крыльях.

Принцип движения на мало погруженных подводных крыльях, предложенный Алексеевым, позволил создать большой класс речных и морских судов на подводных крыльях водоизмещением до 150 т, пассажироместимостью до 250 чел., со скоростями до 100 км/ч и мореходностью до 2,5 м высоты волны. Суда на подводных крыльях «прошли путь от второстепенного туристского развлечения до средства транспорта». Это выдающееся достижение Алексеева в области мирового транспорта было отмечено в 1962 году высшей наградой страны — Ленинской премией, лауреатами которой стали Алексеев и члены его команды. В своем втором, не менее выдающемся изобретении, Алексеев практически реализует идею судна на воздушных крыльях. Созданные впервые в мировой технике высокоскоростные суда на воздушных крыльях – экранопланы снимают ограничение по скорости, которое имеют суда на подводных крыльях из-за кавитации подводных крыльев (около 100 км/ч), они обладают амфибийными качествами и пригодны для круглогодичной эксплуатации над водой, заснеженной и ледовой поверхностями. Несомненно, что

экранопланы станут наиболее эффективным видом водного транспорта XXI века.

Высокий интерес к экранопланам во многих странах мира (в Китае и Корее приняты государственные программы создания экранопланов различных назначений и водоизмещений) является не только подтверждением этому, но и предупреждением стране, создавшей первые экранопланы: без активной поддержки государства лидерство в этой важнейшей области новейших эффективных транспортных технологий в обозримом будущем можно утратить [3]. Воплотив многовековую мечту судостроителей о создании высокоскоростных судов, способных конкурировать по скоростным характеристикам с другими видами транспорта, в том числе с самым скоростным видом транспорта, который создан человечеством – воздушным транспортом, отечественные конструкторы скоростных судов во главе с Р.Е. Алексеевым впервые в истории мировой техники создали практические образцы таких судов, названных ими экранопланами, и разработали основы их проектирования. Эти работы успешно продолжаются соратниками и последователями Р.Е. Алексеева в области создания и внедрения экранопланов. Нет сомнения в том, что в любой стране мира будущее транспорта, его эффективность и ширина области применения будут существенно зависеть от того, насколько там удастся использовать наработанный нашей страной практический задел.

В нашей стране созданы первые практические образцы СПК и экранопланов, у нас есть все необходимое, для того чтобы сохранить мировое лидерство в этой весьма перспективной области строительства скоростных судов [3]. Настоящий труд, подытоживая важный, более чем сорокалетний период работы российских создателей скоростных судов, показывает заслуги безусловных профессионалов в своем деле, в частности, Главного конструктора Р.Е. Алексеева, без любви к своему делу, без упорства и трудолюбия которого, Россия не стала бы мировым лидером в области скоростного судостроения [2].

В заключение необходимо отметить, что дальнейшее развитие СДПП позволит в XXI веке успешно реализовать и вывести скоростное судостроение на качественно новый уровень путем создания высокоскоростных, высокомореходных, всесезонных и высокоэффективных СДПП различных назначений, способных базироваться и эксплуатироваться в самых сложных климатических и метеорологических условиях мира, независимо от сезонных особенностей региона эксплуатации и более эффективно решать многие стратегические транспортные и оборонные задачи, чем другие виды транспорта, а в ряде случаев и те задачи, которые другим видам транспорта недоступны.

Библиографический список

1. **Плисов, Н.Б.** Аэрогидродинамика судов с динамическими принципами поддержания: Учебное пособие [Текст] / Н.Б. Плисов, К.В. Рождественский, В.К. Трешков. – Л.: Судостроение, 1991. – 248с.
2. **Маскалик, А.И.** Крылатые суда России [Текст] / А.И. Маскалик, Р.А. Нагапетян, А.Я. Вольфензон, В.В. Иваненко. – СПб.: Судостроение, 2006. – 240 с.
3. **Маскалик, А.И.** Экранопланы – транспортные суда будущего [Текст] / А.И. Маскалик, Р.А. Нагапетян, А.И. Лукьянов. – СПб.: Судостроение, 2013. – 352 с.
4. **Прудников, Ю.А.** Оценка максимальной аэродинамической эффективности и дальности полета экранопланов с несущей системой из составных крыльев [Текст] /Ю.А. Прудников, В.И. Петошин // Вопросы аэродинамики и динамики экранного полета. Тематический выпуск №4. Труды СибНИА, 1978.