

## **Анализ особенностей моментно-инерционной компоновки перспективных типов гидросамолетов относительно оси ОХ**

Долгов О.С., Куприков Н.М., Лякишев М.А

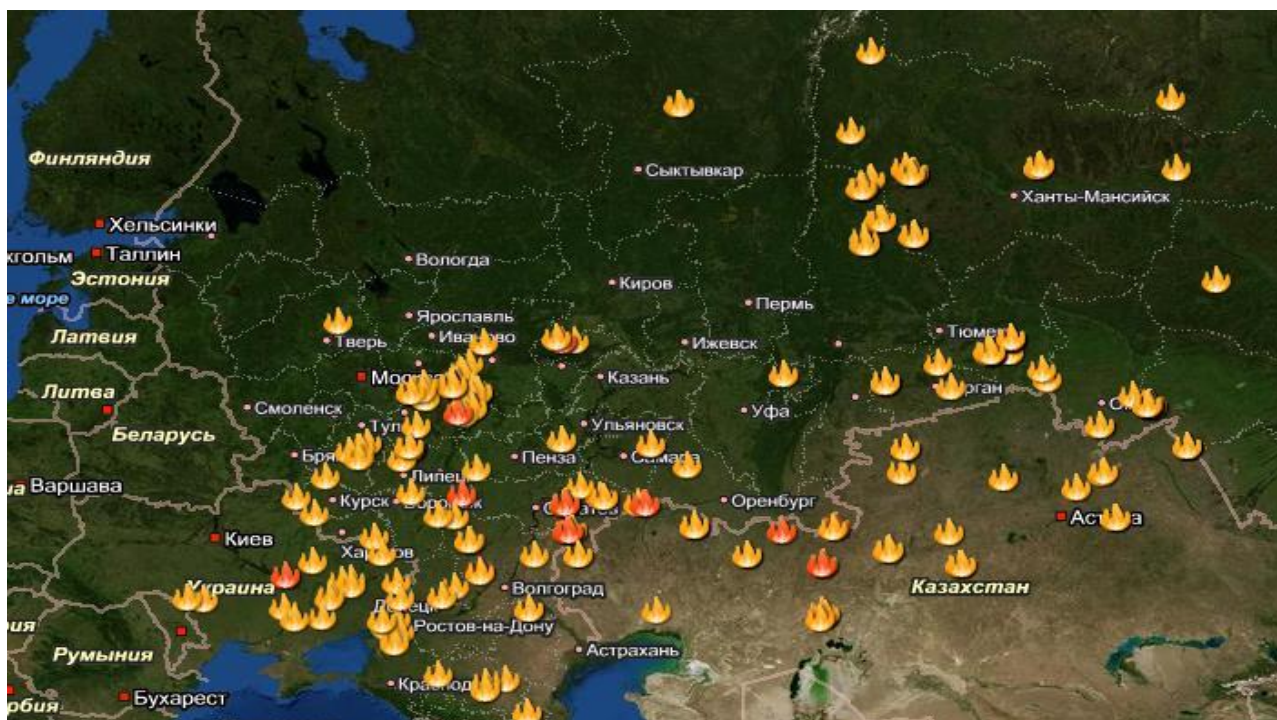
**Аннотация.** В данной работе рассмотрен вопрос формирования моментно-инерционного облика перспективных типов пожарных летательных аппаратов водного базирования относительно оси ОХ. Выявлены закономерности между геометрическими параметрами в альтернативных вариантах компоновки водных и топливных баков в фюзеляже и моментно-инерционными характеристиками самолета.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы мероприятие 1.1 по теме «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области конструирования летательных аппаратов и авиационных материалов» госконтракт № 02.740.11.0504 от 16 марта 2010 года.

**Ключевые слова:** моменты инерции, компоновка, гидросамолет, водные баки, топливные баки.

### **1. Введение**

Значительный рост количества экологических бедствий на Земле в настоящее время остро поставил вопрос о создании принципиально новых, а так же улучшении качества существующих средств предотвращения, ликвидации и защиты от экологических катастроф. Как показала практика последних лет – одними из наиболее опасных экологических бедствий для нашей страны, а так же для многих других государств, являются лесные и торфяные пожары (рис.1), которые каждый год уносят множество человеческих жизней и сжигают тысячи гектар леса.



**Рис. 1. Карта лесных пожаров лета 2010 года**

В качестве одного из наиболее эффективных средств тушения лесных и торфяных пожаров зарекомендовали себя пожарные самолеты-амфибии. Поэтому дальнейшее развитие пожарной гидроавиации является одним из наиболее перспективных направлений в повышении качества борьбы с возгораниями.

Анализируя опыт таких авиационных фирм как ОАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева», канадской фирмы "Канадэр", японской фирмы "Синмайва", можно проследить тенденцию увеличения размерности гидросамолетов, что приводит к увеличению массы самолета пропорционально второй-третьей степени, а моментов инерции – пропорционально четвертой, пятой степени. Кроме того, необходимо учитывать постепенное изменение показателей моментов инерции в течение полета как в процессе выработки топлива, так и скачкообразное изменение в процессе выполнения операции по тушению пожаров, заборов и сбросов воды, что непосредственным образом влияет на качественные характеристики устойчивости и управляемости.

Таким образом, в рамках повышения эффективности и качества гидросамолетов, одной из самых актуальных задач является – обеспечение стабильности моментно-инерционных показателей в течение полета.

## **2. Анализ влияния геометрических параметров альтернативных вариантов компоновки топливных и водных баков на моментно-инерционные характеристики самолета**

Информация, полученная на основании проведенных исследований [1, 2, 3, 4, 5, 6], позволяет сформировать компоновочное поле для размещения внутренних баков.

При выборе зон компоновки топливных и водных баков необходимо учитывать, что при вращательных эволюциях самолета жидкость не участвует в них полностью [4], так как не увлекается стенками баков, а скользит относительно них. Данное обстоятельство приобретает особенную актуальность для баков пропорциональной формы с гладкими стенками характерными для фюзеляжных баков. При вращении такого бака собственный момент инерции жидкости относительно мал и стремится к нулю. Баки, расположенные в фюзеляже, с одной стороны, имеют значительную строительную высоту, что приводит к пропорциональной форме, с другой стороны такие баки, как правило, могут иметь оребрение стенок в виде стрингеров и нервюр, которые уменьшают скольжение жидкости относительно стенок, в силу чего собственный момент инерции воды в таком баке может сильно варьироваться, в предельных случаях стремясь к моменту инерции твердого тела или к нулю.

Необходимость в обеспечении для пожарных гидросамолетов большой скорости заполнения и сброса воды приводит к трудностям при расположении таких баков в крыле, связанные с большим уровнем секционирования таких баков и наличием оребрения стенок баков в виде стрингеров и нервюр. С другой стороны для водных баков имеющих явно выраженную цикличность работы, а значит и изменения массы, можно рекомендовать расположение в фюзеляже с минимальными радиусами инерции, а для топливных баков имеющих более пологую зависимость массы от времени полета, можно рекомендовать традиционное расположение в крыле.

Доступное компоновочное пространство, для расположения баков описывается системой неравенств вида:

$$f(x, y, z) \leq 0 \quad (1)$$

По оси OZ для водных баков оно ограничено диаметром фюзеляжа, а для топливных баков размахом и параметрами жесткости крыла, 0,8-0,9 от размаха крыла. По осям OX и OY основные ограничения на компоновочные зоны накладываются со стороны геометрических параметров фюзеляжа и крыла, которые выбираются из условий не связанных с

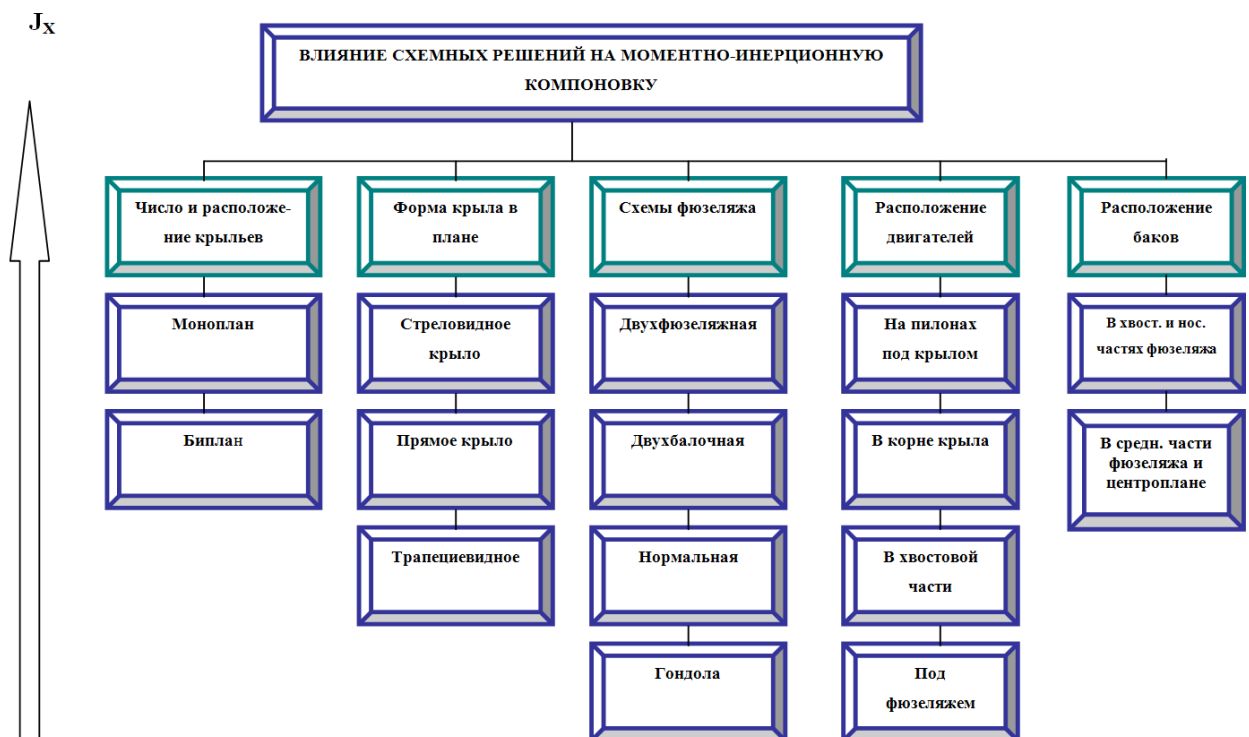
размещением баков, и значительно повлиять на эти ограничения без концептуального изменения облика самолета мы не можем.

### 3. Особенности моментно-инерционной компоновки относительно оси ОХ

Моментно-инерционные характеристики во многом определяются схемными решениями в облике самолета. На рисунке (рис. 2.) показано влияние альтернативных структурно компоновочных вариантов самолета, на собственные моменты инерции относительно оси ОХ.

Проведенный ранее пространственный анализ моментно-инерционного облика самолета и показателей устойчивости и управляемости показал, что для самолетов, классической схемы, показатели моментов инерции относительно оси ОХ значительно зависят от массово-геометрических параметров крыла и, в меньшей степени, от фюзеляжа.

В свою очередь, поскольку возможности изменения геометрических параметров крыла и фюзеляжа гидросамолетов носят ограниченный характер, то для улучшения моментно-инерционных характеристик относительно оси ОХ из всего процесса создания самолета, от зарождения идеи до запуска в серийное производство и эксплуатацию, можно выделить этапы компоновки силовой установки, топливных и водных баков.



**Рис. 2. Влияние схемных решений на моментно-инерционную компоновку относительно оси ОХ**

Рассмотренные особенности моментно-инерционной компоновки топливных и водяных баков, позволяют сделать вывод, что доминирующее значение на моменты инерции относительно оси ОХ оказывают топливные баки расположенные в крыле.

На основе принятых схемных решений (рис.2) в зависимости от заданной массы топлива и целевой нагрузки (водяные баки) проводится формирование компоновочных объемно-весовых и моментно-инерционной схем самолёта, заключающихся в осуществлении взаимной пространственной увязки основных компонуемых элементов самолёта с учетом моментов инерции. Следующий этап характеризуется действиями, направленными на выявление групп элементов, для которых известна масса и зоны компоновки, а так же контролем над соотношением моментов инерции отдельных агрегатов и систем самолета, это позволяет сформировать уравнение существования самолета в моментах инерции относительно оси ОХ (2).

$$1 = \bar{I}_{ц.н.}^{ox} + \bar{I}_{с.н.}^{ox} + \bar{I}_{о.у.}^{ox} + \bar{I}_{с.у.}^{ox} + \bar{I}_{с.у.р.}^{ox} + \bar{I}_{т.}^{ox} + \dots + \bar{I}_{к.}^{ox}; \quad (2)$$

где:

- $\bar{I}_{ц.н.}^{ox}$  - относительный момент инерции агрегатов самолета (полезной нагрузки) относительно соответствующих осей (ОХ);
- ц.н.** - целевая нагрузка (водные баки);
- с.н.** - снаряжение и оборудование, которое обеспечивает определенные условия комфорта и размещения полезной нагрузки на борту;
- о.у.** - оборудование, которое обеспечивает эксплуатацию самолета в заданных условиях (пилотажно-навигационное оборудование, энергетическое оборудование и т. д.);
- с.у.** - силовая установка;
- с.у.р.** - момент инерции системы управления рулями самолета;
- т.** - топливо на борту самолета;
- к.** - конструкция самолета (фюзеляж, крыло, оперение, шасси).

Практически все входящие в уравнение существования моменты инерции агрегатов зависят от полного момента инерции самолета. Например, рассмотрим в первом

приближении, зависимость между моментом инерции крыла с топливными баками и моментом инерции всего самолета относительно оси ОХ. При увеличении момента инерции самолета относительно продольной оси, для выполнения требований по устойчивости и управляемости  $\dot{\omega}_x$  и  $T_{кр}$ , необходимо увеличить эффективность системы управления по крену. Увеличение эффективности в рамках существующего уровня научно-технического развития приводит к увеличению массы системы управления и, ее момента инерции, в свою очередь увеличиваются инерционные нагрузки, что вынуждает увеличивать массу конструкции. Таким образом, происходит цепная реакция, связанная с ростом моментов инерции самолета. Можно показать, что каждая из составляющих полного момента инерции самолета определенным образом отражает выполнение заданных требований.

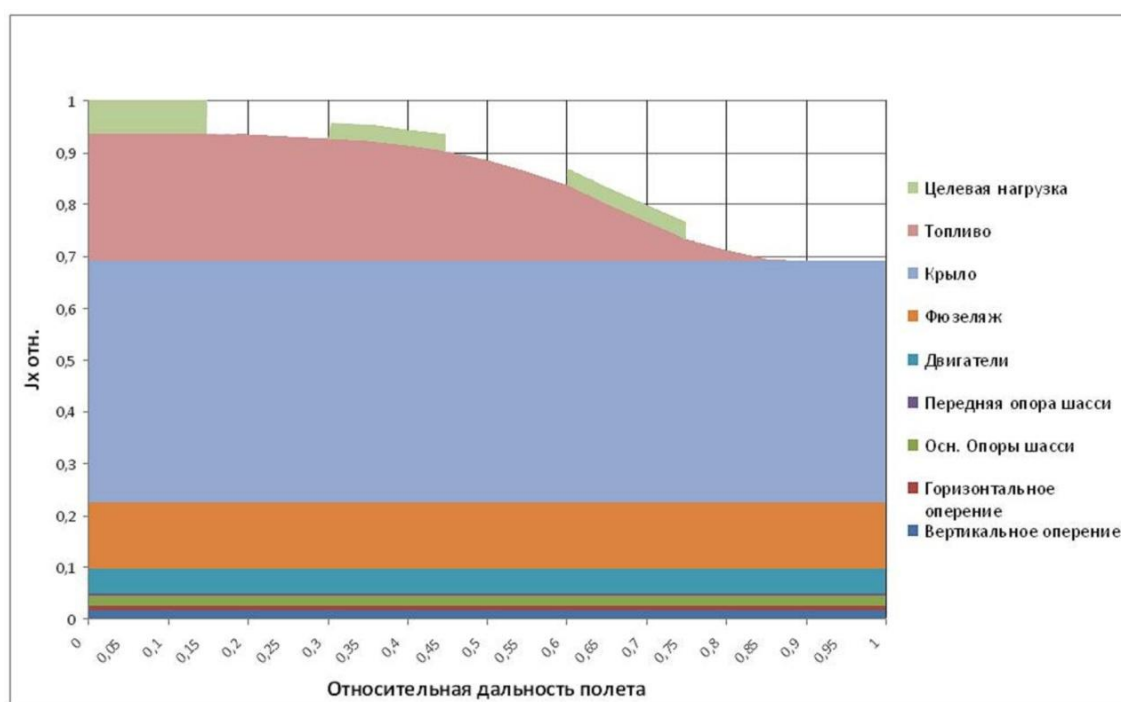
По результатам проведенного анализа (рис.3) массовых характеристик и зон компоновки основных агрегатов гидросамолетов подтвердилось, что в большинстве случаев градиент изменения моментов инерции самолета относительно оси ОХ зависит от массовых и компоновочных параметров топлива и силовой установки и, в меньшей степени, от массовых и компоновочных параметров водных баков. Так, момент инерции топливных баков относительно оси ОХ может составлять 20-30% от момента инерции  $J_x$  всего самолета, момент инерции силовой установки – от 5 до 15%, а момент инерции водных баков – от 2 до 8%.

Таким образом, при заданных массово-геометрических параметрах самолета основными компонентами, влияющими на инерционные характеристики относительно оси ОХ, является масса топлива в крыле, зоны компоновки топлива и силовой установки, (рис. 3.).

Следовательно, данные компоненты уравнения моментно-инерционного баланса можно рассматривать как параметры, определяющие моментно-инерционную компоновку самолета относительно оси ОХ и, в конечном счете, облик системы управления.

Задача формирования моментно-инерционной компоновки относительно продольной оси самолета ОХ и анализ ее влияния на канал крена системы управления обладают рядом особенностей, которые состоят в том, что с одной стороны момент инерции относительно продольной оси самолета ОХ является минимальным по сравнению с ОУ и ОZ, а требования к располагаемым угловым ускорениям достаточно высокие 0.3-1.2 рад/с<sup>2</sup>, с другой стороны момент инерции относительно оси ОХ не так сильно зависит от размещения водных баков и способен сильно в 1.3-1.8 раза уменьшаться в процессе полета за счет выработки топлива и сброса воды.

Изменение компоновки баков кроме снижения моментов инерции относительно оси ОХ позволяет значительно стабилизировать показатели управляемости самолетом по дальности полета. Стабилизация моментно-инерционных показателей в течение полета является одной из основных задач компоновки самолетов. Это связано с тем, что значительное изменение степени управляемости относительно оси ОХ приводит к изменению законов управления самолетом, а в случае перехода системы управления на аварийные режимы и к возможной потере управляемости самолетом, что особенно актуально на взлетно-посадочных режимах.



**Рис. 3. Анализ моментно-инерционного облика и степени изменения моментов инерции, относительно оси ОХ в течение полета за счет выработки топлива и изменения массы целевой нагрузки (сброса и забора воды)**

#### 4. Выводы

В целом проведенный анализ позволяет провести комплексные исследования по выявлению рациональных моментно-инерционных решений, с учетом особенностей (Рис. 4) моментно-инерционной компоновки пожарных гидросамолетов на базе математического моделирования с использованием ЭВМ.

Что в совокупности позволяет успешно решить задачу повышения качественных характеристик моментно-инерционной компоновки перспективных типов гидросамолетов и определяет актуальность разработки перспективных методов выявления рационального моментно-инерционного облика гидросамолетов на ранних этапах проектирования.

Использование полученных результатов позволит сократить время, снизить стоимость и повысить качество проектно-конструкторских работ на этапе согласования моментно-инерционной компоновки самолета. Что благоприятно отразится на улучшении летных и эксплуатационно-экономических характеристиках самолета.

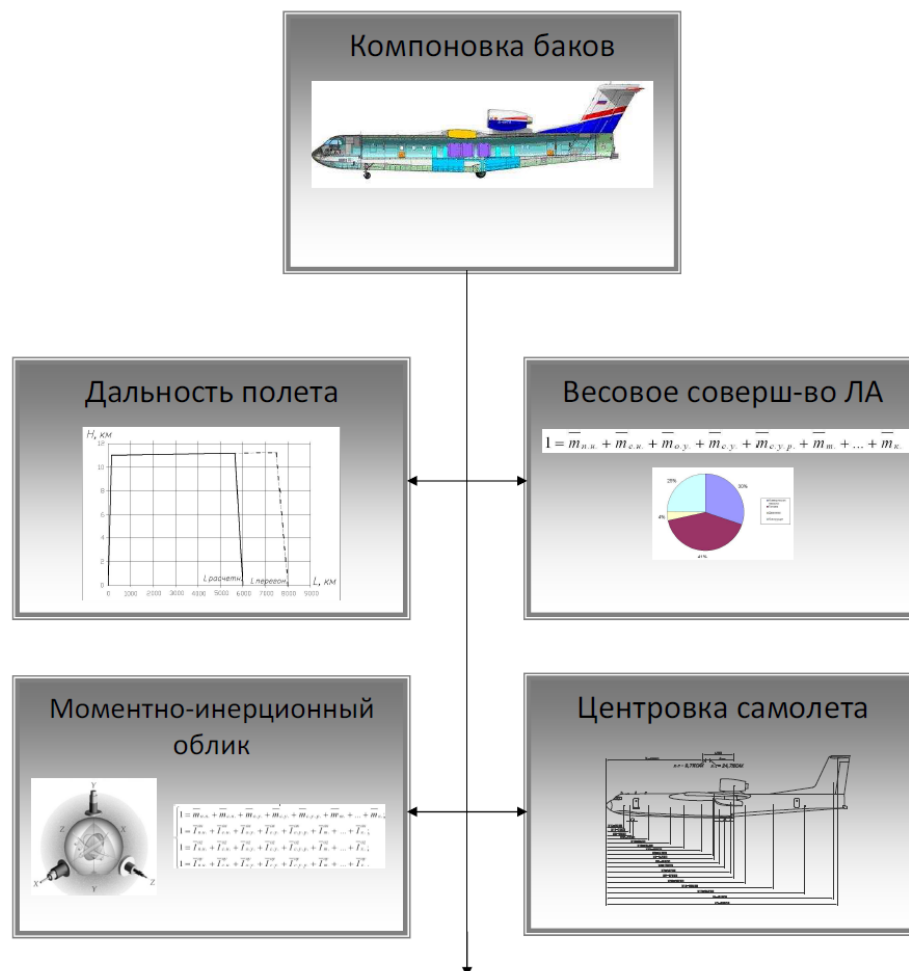


Рис. 4. Влияние параметров компоновки водных баков на облик самолета

### Библиографический список

1. Егер С.М., Лисейцев Н.К., и др. Проектирование самолетов - М.: Машиностроение, 1983г. - 616с. 34



2. Хорафас Д., Легг С. Конструкторские базы данных. - М.: Машиностроение, 1990г. - 224с. 103
3. Куприков М.Ю., Лисейцев Н.К., Максимович В.З. Формально-эвристический метод компоновки маневренного самолета вертикального взлета и посадки. – Казань, Изв. вузов // Авиационная техника, 1996, №2 – С. 100-103.
4. Шейнин В.М., Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1,2. - М.: Машиностроение, 1977г. - 208с. 104
5. Roskam, J.; Airplane Desing, 1-8Bahnd, 1980-1990, Kansas 115
6. Torenbeek, E.; Synthesis of Subsonic Airplane Design. Delft Universitz Press; 1982 116

### **Сведения об авторах**

Долгов Олег Сергеевич, доцент Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.,

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993;  
тел.: (499) 158-58-52, 8-903-737-38-34; e-mail: [artofweb@yandex.ru](mailto:artofweb@yandex.ru)

Куприков Никита Михайлович, студент Московского авиационного института (государственного технического университета)

115477, Москва, ул. Кантемировская д.12 к.1 кв.254,  
Тел.: +7(926)509-0150,  
E-mail: [nikita@izmai.ru](mailto:nikita@izmai.ru)

Лякишев Максим Андреевич, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета)

125480, Москва, ул. Вилиса Лациса, д.18, кв. 408;  
Тел:8(926)275-3565,  
E-mail: [maximmai@mail.ru](mailto:maximmai@mail.ru)