

Муниципальное бюджетное учреждение дополнительного образования  
«Центр детского творчества «Мастер плюс» г. о. Самара

Всероссийский конкурс юных инженеров-исследователей  
с международным участием «Спутник»

**ТЕМА РАБОТЫ**  
**ПРОЕКТ «БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ. КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ»**

**Направление работы**  
**«Авиация»**

**Выполнил: Филиппова Арина .**  
**Класс: 7.**  
**Место жительства:**  
**г. Самара, Самарская область**  
**Научный руководитель:**  
**пдо Зотова Александра Михайловна**

**Самара 2023**

## Оглавление.

Аннотация .....	2
Введение.....	3
Анализ существующих решений .....	4
Пошаговая реализация проекта .....	5
Описание результата проекта.....	7
Список использованных источников .....	6

## Аннотация.

В данной работе рассмотрены проблемы навыков проектирования конструкционной концептуальной схемы ГБЛА (гиперзвукового беспилотного летательного аппарата), за основу которого взята конструкция модели экспериментального ракетоплана с последующим расчётом её в графическом редакторе Open Rocket. При проектировании проанализированы варианты изменения как отдельных элементов так и модернизации конструкции в целом, а также возможное изучение особенностей проектирования симметричных конструкций, не являющихся телами вращения. Актуальность проекта заключается в том, что столь широкая в настоящее время сфера применения ГБЛА постоянно претерпевает изменения и меняется и навыки, полученные при проектировании таких аппаратов, позволяют в разы быстрее адаптировать имеющиеся конструкции для новых целей и задач.

## Введение.

**Цель:** выявить особенности расчёта полётных характеристик экспериментальной модели ГБЛА в редакторе Open Rocket на примере создания габаритно-весового макета.

### Задачи:

- самостоятельно проанализировать особенности конструкций гиперзвуковых летательных аппаратов с разгонным блоком, рассчитать возможность решений для создания концептуальной схемы ГБЛА;
- составить раздел пошаговой реализации проекта;
- разработать технологию для изготовления модели ГБЛА (ракетоплана) на бустере;
- развить коммуникационные навыки в парах «педагог – воспитанник» и «воспитанник- воспитанник» для последующей работы в команде.

## Анализ существующих решений.



Несколько лет назад мой проект трансформации бумажного планера имел конечной целью создание спортивной экспериментальной модели планера из пенопласта Ястреб.

Экспериментальные модели –это мой конёк, поэтому было решено продолжить дальнейшую работу по трансформации планера в ракетоплан. Неожиданное решение получилось, когда передо мной встала проблема : «Модель могу сделать , но не могу, пока не узнаю, возможно ли проектирование такой схемы ракетоплана в программе Open Rocket». Таким образом, сначала следовало провести сравнительный анализ имеющихся в мире беспилотных летательных аппаратов для выбора конфигурации крыла, похожего на планер Ястреб , а затем узнать возможности этого графического редактора для проектирования, что и стало предметом моего исследования.

А объектом исследования явился приблизительный аэродинамический расчёт симметричной конструкции летающей модели, которая не является телом вращения. Решить проблему можно практическим методом , просто пошагово осваивая этапы проектирования, поэтому в своей работе мне пришлось применить методы самообразования и исследования, решения проектных задач, самоанализа и самоконтроля. Решение проблемы было найдено только частично, поскольку проектирование конструкции предусматривает угловую привязку к основному корпусу модели и невозможно , например, установить стабилизаторы на плоскостях крыла на необходимых дистанциях, но при этом все весовые компоненты просчитаны и довольно точно определены центры тяжести и давления для просчёта основных полётных характеристик. Это позволило создать летающую модель, которая подтверждает жизнеспособность представляемой сегодня схемы ГБЛА. Решено было оснастить его разгонным блоком -бустером с

микроракетным двигателем. В программе есть возможность создания анимации полёта, что позволило теоретически увидеть полёт своей модели. Практический же полёт состоялся на аэродроме Смышляевка весной и летом 2022 года и тогда появилась возможность поправить некоторые факторы в теоретической разработке модели.

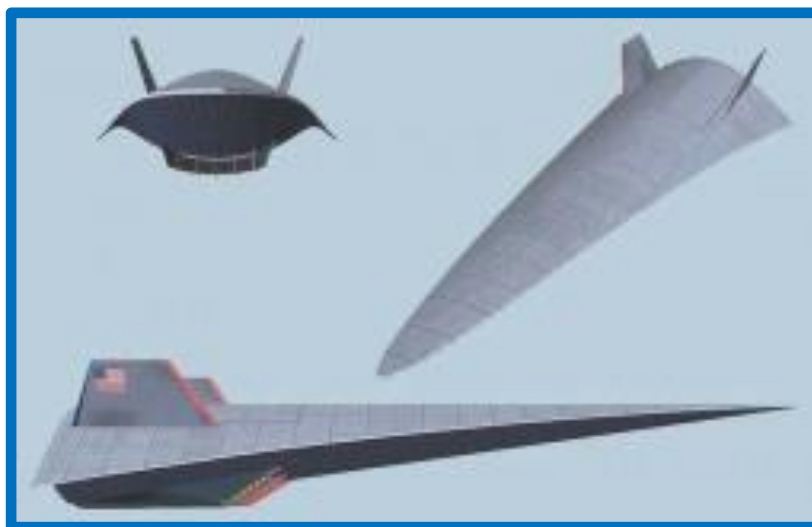
Итак, кратко расскажу о том, почему форма крыла моего планера Ястреб и ракетоплана так обтекаема и почти совпадают по геометрии? Сначала определимся, что такое скорость звука. У классических авторов Птолемея и Евклида встречается указание на то, что скорость звука обусловлена колебательным движением тела, величина которых зависит от прохождения через различные среды -воздух, воду, металлы,землю. Еще Аристотель предполагал, что скорость звука имеет конечную величину. Английский философ Френсис Бэкон придумал как экспериментально определить скорость звука, предложив сравнить промежутки времени между вспышкой света и звуком выстрела. При применении этого метода последующими исследователями было определено значение скорости звука, которое для воздуха, например, составило 331 м/с. Теперь рассмотрим понятия «Сверхзвук» и «Гиперзвук» и чем они отличаются? Их скорости измеряются в числах Маха ( австрийский ученый Эрнст Мах), которое в несколько раз больше скорости звука. Сверхзвуковой считается скорость от 1 до 5 Махов, а гиперзвуковая -свыше 5 Махов.

При выборе конструкции моего ракетоплана мной было проведено небольшое исследование имеющихся в мире ГБЛА.



В Сямэньском университете в Восточном Китае в 2019 г начали тестировать гиперзвуковой летательный аппарат Jiaeng-1 с двухволновой конструкцией из керамометалла - термостойкого материала, способного выдержать температуру до 3000°C, возникающую из-за трения про полёте в атмосфере на скорости 5-20 Мах. Возможность увеличить скорость гражданских самолетов

пятикратно стала одной из целей этого проекта. По завершении успешных испытаний керамометалл стал выпускаться серийно для таких производств как космические исследования, авиастроение, кораблестроение, национальная оборона.



Проект ГЛА HyperSoar (Hypersonic Soaring, гиперзвуковое планирование), созданный в Ливерморской национальной лаборатории, является гибридом ракеты и самолёта с навеской на него комбинированного ракетного и воздушно-реактивного двигателя. Проектировался он как система многих целей, которая может в авторежиме решать такого рода задачи как проведение разведывательно-ударных операций (предполагается, что изделие будет выходить в любой район планеты за два часа), разгон до гиперскоростей блоков космических аппаратов и боевых платформ с разного рода вооружением, транспортирование коммерческих грузов.



Самолет подобного проекта для бомбардировки Америки в 1943 году был предложен немецким инженером Зенгером. Стартовавший с территории Германии и сбросивший мощную бомбу на

один из городов в США, он должен был приземлиться в Японии или , обернувшись вокруг земного шара, вернуться на аэродром в Германию. По счастью, наступило окончание войны и проекту не суждено было сбыться , хотя конструкторы планировали создать самолет к 1948 году.



Ю-71 – гиперзвуковой беспилотник, способный разогнаться быстрее 183 км/мин и быть незамеченным всеми системами противоракетной обороны, при этом способен на манёвр с грузом при заветшающем этапе полёта, что делает его не только самым скоростным, но и самым манёвренным на Земле. На аппарате так же присутствует прибор, способный глушить радиочастоты, что помогает выводить из строя все ближние радиочастотные станции. Ю-71 является оружием пятого поколения, в 2019 году в России были совершены удачные испытания.



Российский комплекс стратегического назначения «Авангард» с межконтинентальной баллистической ракетой оснащён планирующим гиперзвуковым крылатым боевым блоком, который развивает гиперзвуковую скорость за счёт носителя .Далее движение продолжается по инерции. Скорость «Авангарда» превышает 20 Махов, боевые блоки комплекса имеют собственные двигатели и могут маневрировать по направлению и скорости.



«Авангард» - российский комплекс стратегического назначения с межконтинентальной баллистической ракетой, оснащён планирующим гиперзвуковым крылатым боевым блоком, который развивает гиперзвуковую скорость за счёт носителя, и продолжает движение по инерции со скоростью свыше 20 Махов. Боевые блоки комплекса имеют собственные двигатели и могут маневрировать по направлению и скорости. Система управления позволяет оперативно менять полетное задание.



X-51A Waverider — разрабатываемая в США гиперзвуковая крылатая ракета в рамках концепции «быстрого глобального удара», основная цель — сократить подлётное время высокоточных крылатых ракет. По проекту должна развивать максимальную скорость около 6—7 М.

Таким образом, завершая обзор прототипных ЛА, я сделала вывод, что разгон до гиперзвука ГБЛА осуществляется с помощью ракеты-ускорителя, а конфигурация его геометрии очень похожа на крыло моего планера. Следовательно, и разгон моего ракетоплана должен осуществляться с помощью разгонного блока-бустера.

### **Пошаговая реализация проекта**

#### **Проектирование габаритно-весового макета ГБЛА**

Для проектирования использовалась свободная бесплатная версия программы OpenRocket-15.03 на русском языке. Все компоненты, материалы и марки двигателей, которые содержатся в приложении, соответствуют типичной конструкции модели ракеты. Габаритно-весовой макет, хоть и является симметричной моделью, но не является телом вращения, поэтому попытка овладеть навыками аэродинамического расчёта экспериментальной схемы ракетоплана, хотя бы и в приближении, помогла приобрести новые навыки инженерного проектирования. Несмотря на замену геометрии некоторых компонентов, установку их только в местах возможной привязки к основному корпусу ракетоплана, ограниченный выбор двигателей МРД, сумма весов всех компонентов сохраняется в расчёте и используется для определения центров тяжести и давления. Произведенное далее пошаговое проектирование всех составляющих компонентов конструкции

макета по последовательному алгоритму позволило получить общую сборку экспериментальной конструкции, включая бустер с выбранным двигателем.

Начинается проектирование с головного обтекателя, далее проектируем конический переход, а следующим элементом конструкции является расчёт корпусной трубы.

В корпусной трубе технологически смонтирована внутренняя труба, являющаяся компонентом крепления микроракетного двигателя, а переходная муфта и установочная площадка служит для соединения планера с разгонным блоком.

В программе невозможно рассчитать такой элемент как крыло ракетоплана, но можно заменить его на две симметричные детали оперения свободной формы, располагающиеся напротив друг друга под  $180^\circ$  и установленные на корпусной трубе, не имеющей объёма и с нулевым диаметром. Для объединения этих деталей в единую геометрию крыла в носовой части созданы две зеркальные накладки прямоугольной формы, соединяющие все массы элементов в общую массу крыла.

Кили планера должны устанавливаться параллельно на крыле для создания путевой устойчивости, но в программе, из-за привязки всех элементов к основному компоненту конструкции, возможна их установка только относительно внешней корпусной трубы, а не на крыле. Но при этом также сохраняется их вес для расчёта общего центра масс модели.

Для разгона планера до заданной скорости используется такой элемент конструкции как разгонный блок - бустер. Его проектирование начинается с расчёта корпусной трубы, являющейся основным элементом сложного сечения, а верхняя обшивка бустера, при невозможности проектирования таких компонентов в программе, заменяется двумя направляющими кольцами, которые располагаются относительно корпусной трубы по обеим её сторонам в виде длинных трубок из пенопласта.

Горизонтальное и вертикальное оперение бустера в количестве 4 элементов также устанавливается относительно корпуса, но располагаются только на его верхней половине под  $60^\circ$  друг к другу.

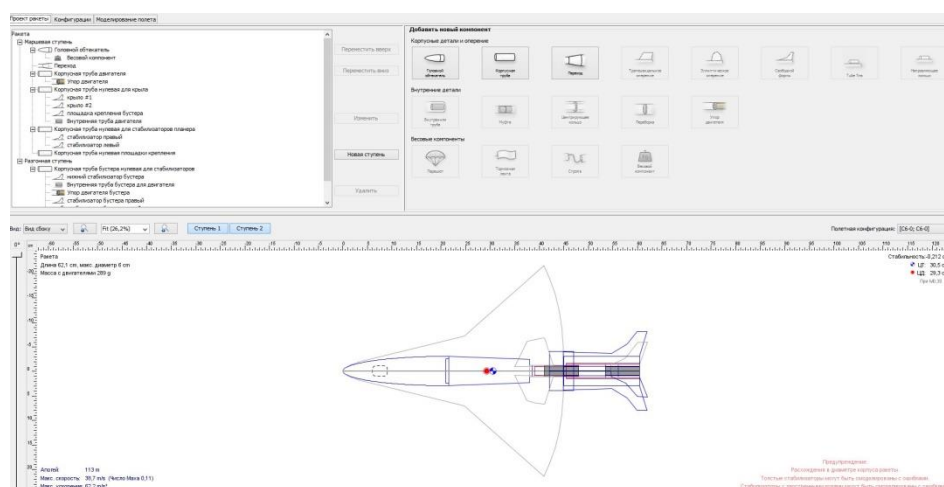
Внутренняя труба, как и упор двигателя (он препятствует движению двигателя вперёд и устанавливается в нижней части внутренней трубы), используются для монтажа силовой установки - двигателя МРД. Выбор силовой установки - Модельного Ракетного Двигателя МРД - 20-10 производится из таблицы аналогичных по геометрическим параметрам и тяге двигателям



( длина 70мм, диаметр 20мм и суммарный импульс 10 Н/с). В редакторе не заложены двигатели линейки МРД, поэтому подбираем двигатель - аналог с такими же характеристиками: Klima сб.

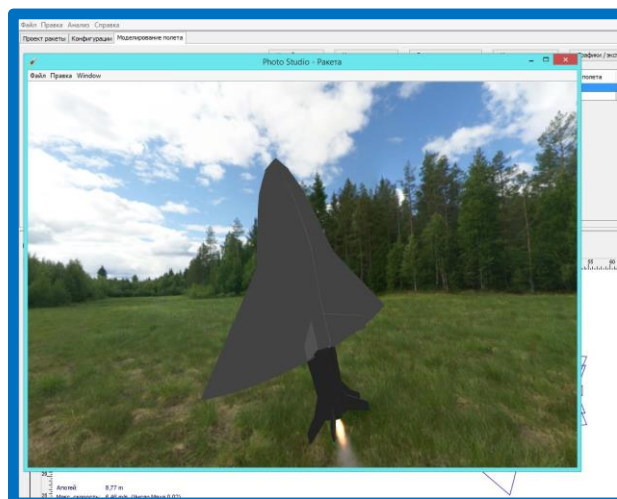
Два направляющих кольца из углеволокна необходимы для фиксации модели на направляющей стойке стартового стола , их положение проектируется по вертикальной оси корпусной трубы планера.

В результате наших вычислений получилась расчётная схема габаритно-весового макета 1Л ГБЛА , полётные характеристики которой вычислены в приближении.



Примерную анимацию полета макета ГБЛА можно было увидеть с помощью внутрипрограммного расширения Photo Studio, поэтому весовой компонент планера в проект не закладывался, а был подкорректирован в процессе практических полётов на аэродроме.

В процессе проектирования, помимо прочего, возможно было создать дизайн макета, так как каждый элемент в закладке «Внешний вид» возможно окрасить в серый цвет, а также заложить матовую текстуру поверхности для получения уточнённых характеристик общего веса.



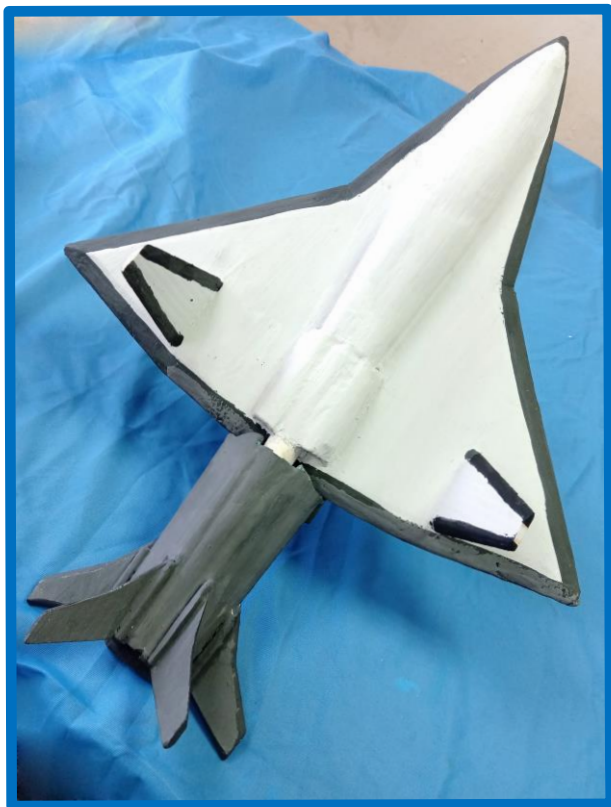
### **Поэтапное изготовление габаритно-весового макета.**

Создание лётного варианта габаритно-весового макета 1Л начинается с подготовки рабочего чертежа и шаблонов, разработанных в среде графического редактора Open Rocket. В начале проектирования закладываются условия технической задачи, подбираются необходимые материалы и технологии.

На листе потолочного пенопласта толщиной 4 мм размечается в соответствии с рабочим чертежом крыло ракетоплана и две детали вертикального оперения - кили, которые предназначены для монтажа на крыле концептуальной схемы. Из экструдированного пенополистирола вырезается фюзеляж макета с чистовой доработкой мелкой наждачной бумагой, внутрь которого на клей устанавливается бумажная труба двигательного отсека Ø 21 мм и врезается отсек для груза в носовой части с закладкой свинцового весового компонента массой 111 грамм. Фюзеляж монтируется на крыло с помощью клея Мастер, оклеивается бумагой для дальнейшей покраски, сушится под грузом и зачищается. Кили, подготовленные ранее, устанавливаются на крыле под углом 145° к плоскости крыла. На готовую маршевую ступень устанавливается двигатель МРД-10-4 без свеса.

К кормовой части макета пристыковывается бустер который служит для разгона планера. Его создание начинается с подготовки деталей из листа потолочного пенопласта: четырёх килей одинаковой конфигурации, стенок бустера и основания. Детали бустера собираются на клей Мастер, а затем с помощью клея ПВА оклеиваются бумагой под покраску с последующей чистовой обработкой. Двигательным отсеком является труба ПХВ, с помощью которой осуществляется стыковка конструкций планера и бустера. На готовую разгонную ступень устанавливается двигатель МРД-10-4 со свесом 1см. Для установки спортивной модели на стартовом столе устанавливаются направляющие кольца из карбона, они же задают направление движения макета по траектории полёта.

После первого этапа лётных испытаний макет подвергся доработке и был получен второй лётный образец. При помощи потолочного пенопласта была удлинена головная часть, площадь килей была увеличена, изменилось их расположение на крыле и градус, под которым они установлены (со 145° на 45°). Двигательный отсек планера был заменён на трубку из углеволокна для большей прочности и избегания возгорания.



В результате был изготовлен ракетоплан с бустером со следующими характеристиками : Размах крыла – 42 см

Длина модели - 63 см

Вес модели без двигателей -256 г

Профиль крыла – плоский аэродинамический.

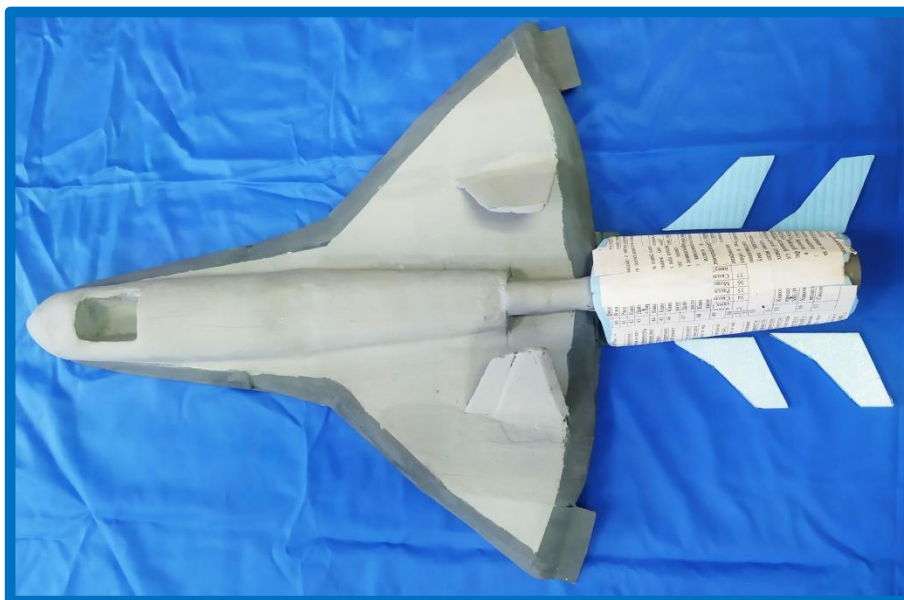
Габаритно- весовой макет представляет собой сборную конструкцию из ракетоплана и бустера, оснащённых двигательными установками МРД -10 -10-4 и МРД -10-10-4. Аэродинамическая схема ракетоплана выполнена по схеме «Летающее крыло» с двумя вертикальными оперениями, установленными на крыле под углом  $45^\circ$  к плоскости крыла. В носовой части предусмотрен грузовой отсек для центровки модели в полёте.

К кормовой части ракетоплана пристыковывается бустер с двигательным отсеком, который служит для разгона планера. Устойчивость макета по курсу обеспечивают четыре стабилизатора, расположенные в верхней части корпуса бустера. Стыковка конструкций планера и бустера осуществляется посредством трубки двигательного отсека. Система спасения отсутствует.

Модель окрашена потолочной краской светло-серого и тёмно-серого цвета с помощью мягкой беличьей кисточки.

### **Модернизация макета и этап лётных испытаний.**

Первые лётные испытания проводились на аэродроме Смышляевка в июне 2021. Были совершены два испытательных полёта. В ходе первого ракетоплан 1Л сошёл со стартового стола и начал выходить на критические углы атаки, после чего упал недалеко от старта, не завершив траекторию полёта, но без видимых повреждений. Перед вторым полётом было решено увеличить массу полезной нагрузки. В процессе второго запуска ракетоплан сошёл со стартового стола, совершил полёт по горизонтальной спиралевидной траектории, после начал неконтролируемое снижение. Он приземлился на большой скорости, при касании случилась авария - произошла деформация головной части и двигательного отсека, незафиксированный груз пробил повреждённую головную часть и был утерян. 1Л ракетоплан подвергся доработке.



Второй этап лётных испытаний проходил на том же аэродроме в августе 2022 года. При первом запуске ракетоплан 2Л штатно сошел со стартовой установки с набором высоты, совершил разворот по крену при уменьшении тяги двигателя и совершил плавную посадку без повреждения корпуса. При втором запуске после схода со стартового стола он подвергся резкой ветровой нагрузке и вертикальный старт сменился на баллистическую траекторию. На высоте примерно двадцати пяти метров произошёл запуск двигателя ракетоплана, но разделения ступеней не произошло. Двигатель ракетоплана отработал через двигательный отсек бустера, при этом произошло резкое падение тяги двигателя с последующим приземлением без разрушения головной части.

После анализа все этапов лётных испытаний был сделан вывод, что концептуальная схема с проведёнными доработками лётного габаритно-весового макета была рассчитана правильно, что и было подтверждено практическими лётными испытаниями.

### **Описание результата проекта.**

Подводя итог, делаю вывод, что актуальность данной темы сейчас крайне высока в связи с международной ситуацией, а необходимость и перспективность предложенной разработки очевидна, так как результаты практических полётов габаритно-весового макета подтверждают теоретические расчёты концептуальной схемы ГБЛА. Этот вывод удивительно созвучен словам автора статьи В. Шпаковского в журнале «Военное обозрение» за 2023 г.:

На основе ракетоплана ...можно создать высотный барражирующий боеприпас, имеющий малую ЭПР, но при этом способный долгое время находиться в воздухе над территорией противника. То же самое позволительно будет сказать относительно ракетопланов типа

«летающее крыло». Запущенные ракетами «Смерч» и «Ураган», они смогут пролетать многие десятки, если не сотни километров, достигая при этом самых удалённых объектов противника. ... конструкция их может быть довольно простой, хотя она, ...потребует современных материалов и электроники, пусть даже простейшей....Кто знает, какие оригинальные конструкции могут появиться на основе этих вчерашних идей и сегодняшних материалов [2].

### Список использованных источников:

1.Николай Антонов- Барражирующие боеприпасы: поиск, захват, уничтожение - журнал «Военное обозрение» от 21.11.2019 г., раздел «Авиация»

<https://topwar.ru/164941-barrazhiruyuschie-boepripsy-poisk-zahvat-unichtozhenie.html>

2.Андрей Митрофанов-Планирующие гиперзвуковые боевые блоки: проекты и перспективы- журнал «Военное обозрение» от 11.09.2019 г., раздел «Технология»

<https://topwar.ru/162288-planiruyuschie-giperzvukovye-boevye-bloki-proekty-i-perspektivy.html>

3. Шпаковский Вячеслав - Ракетопланы – в полёт! Или хорошее старое и хорошее новое- журнал «Военное обозрение» от 02.01.2023г.,раздел «Мнения»

<https://topwar.ru/207446-raketoplany-v-polet-ili-horoshee-staroe-i-horoshee-novoe.html>

4. <https://topwar.ru/195572-rszo-uragan-za-shag-do-sovershenstva.html>

5. <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=5805>

6. <https://topwar.ru/164941-barrazhiruyuschie-boepripsy-poisk-zahvat-unichtozhenie.html>

7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гиперзвуковой\\_летательный\\_аппарат](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гиперзвуковой_летательный_аппарат)

8.<https://gunsfriend.ru/u-71-giperzvukovoj-letatelnyj-apparat-tehnicheskie-harakteristiki-rossijskij-samolet-proekt-4202-sozdanie/>

9. <https://www.vesvks.ru/vks/article/giperzvukovye-letatelnye-apparaty-realna-li-opasno-16151>