

Особенности расчёта массовых характеристик фюзеляжа беспилотного транспортного самолёта вертикального взлёта и посадки.

А.В. Дорогов

В статье перечислены факторы, которые необходимо учесть при расчёте массовых характеристик фюзеляжей беспилотных транспортных самолётов вертикального взлёта и посадки. Разработана формула, позволяющая оперативно оценивать влияние проектных параметров (компоновка силовой установки, удлинение фюзеляжа, высота крейсерского полёта и т.д.) на массовые характеристики фюзеляжа и приведены результаты расчётов по разработанной формуле. Приведены результаты сравнения относительных объёмов отсеков целевой нагрузки и площадей омываемых поверхностей фюзеляжей обычных и исследуемых типов самолётов.

Ключевые слова: беспилотный, транспортный, вертикальный взлёт и посадка, фюзеляж, unmanned, transport, vertical take off and landing, fuselage.

При проектировании фюзеляжа беспилотного транспортного самолёта вертикального взлёта и посадки (СВВП) необходимо учитывать:

- размещение входных и выходных устройств силовой установки при компоновке подъёмных двигателей внутри фюзеляжа или узлов крепления двигателей и двигательных отсеков при компоновке подъёмных двигателей вдоль борта фюзеляжа;
- специфичную компоновку целевой нагрузки, снаряжения и бортового оборудования в фюзеляже, вызванную отсутствием кабины пилотов.

Так как беспилотные транспортные СВВП являются принципиально новым типом летательного аппарата, то статистические данные по их характеристикам отсутствуют. Поэтому для расчёта массовых характеристик фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП разработана методика поэлементного расчёта, в которой дополнительно к традиционным расчётным случаям норм прочности добавлен расчётный случай нагружения конструкции фюзеляжа тягой силовой установки на режимах вертикального взлёта и посадки.

Режим вертикального взлёта и посадки (ВВ) характеризуется вертикальной перегрузкой равной по величине вертикальной стартовой тяговооружённости СВВП, и почти полным отсутствием аэродинамических сил, так как на начальном этапе вертикального взлёта ими можно пренебречь из-за их малой величины по сравнению с силами от тяги двигателей силовой установки (СУ).

При разработке методики расчёта массовых характеристик фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП приняты допущения:

- фюзеляж герметичный, имеет круглое поперечное сечение;
- конструкция фюзеляжа типа полумонок;
- грузовые люки входят в состав силовой схемы фюзеляжа и воспринимают все виды нагрузок в крейсерском полёте;
- люки, закрывающие входные и выходные устройства подъёмных двигателей (ПД), не входят в состав силовой схемы фюзеляжа.

Перед расчётом массовых характеристик фюзеляжа необходимо определить внешние и внутренние нагрузки. Для определения всех видов нагрузок необходимо предварительно сконструировать фюзеляж, определить координаты сосредоточенных грузов (двигателей, оперения, крыла и т.д.) и рассчитать внешние и внутренние нагрузки исходя из предварительной компоновки фюзеляжа.

На рис. 1 приведена компоновочная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа.

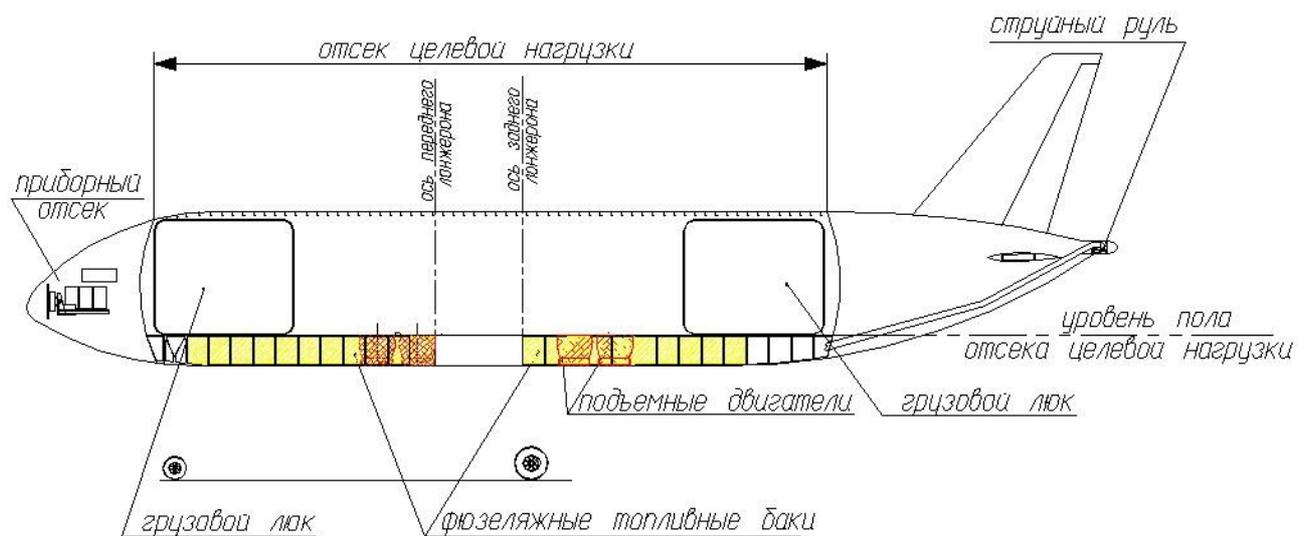


Рис. 1. Компоновочная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа.

На рис. 2 приведены расчётная схема фюзеляжа исследуемого беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа в крейсерском режиме полёта.

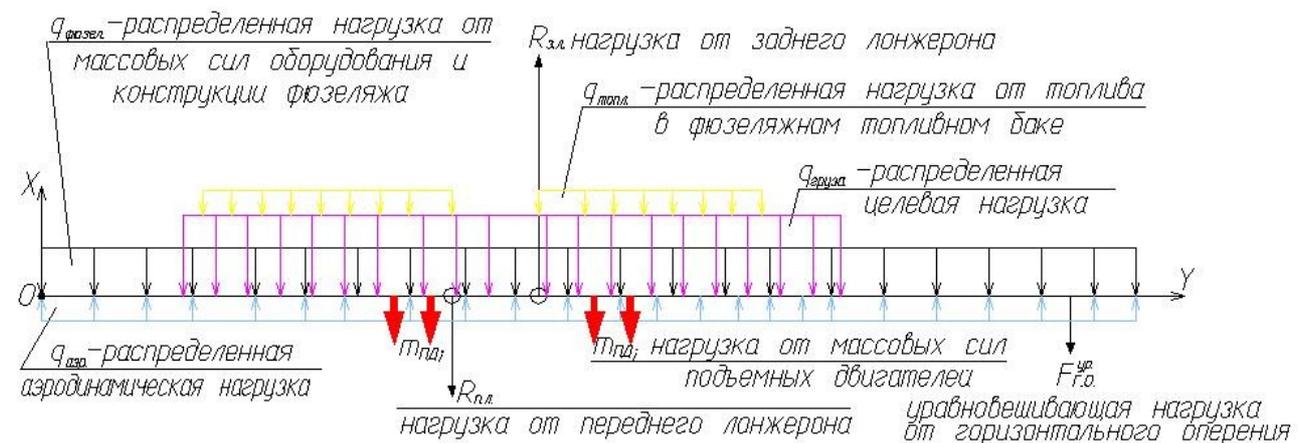


Рис. 2. Расчётная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа для случая А'.

На рис. 3 приведены расчётная схема фюзеляжа исследуемого беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа на режиме вертикального взлёта.

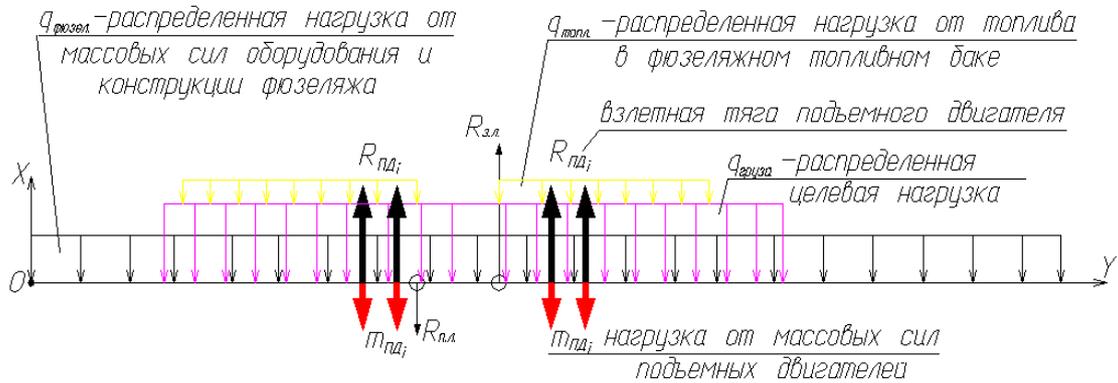


Рис. 3. Расчётная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД вдоль борта фюзеляжа на режиме вертикального взлёта.

На рис. 4 приведена компоновочная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа.

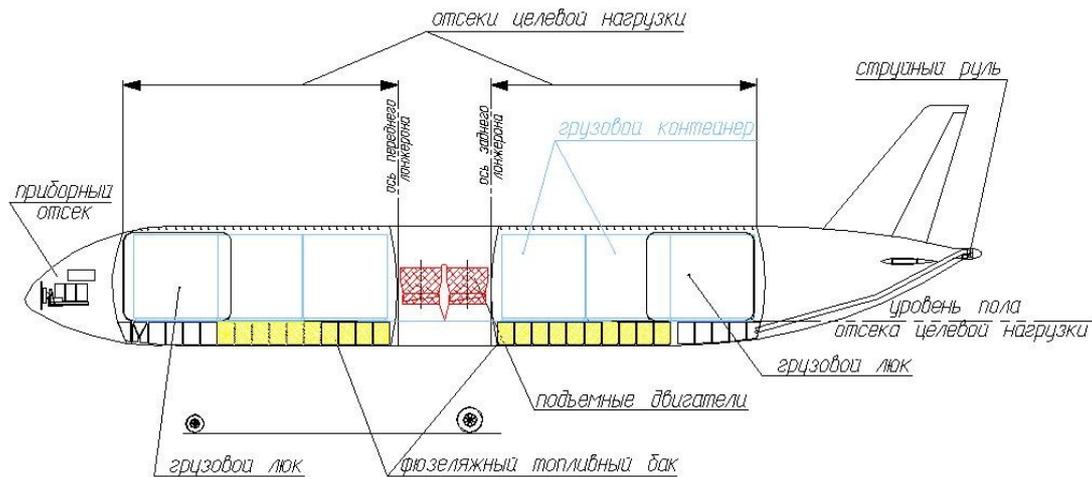


Рис. 4. Компоновочная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа.

На рис. 5 приведена расчётная схема фюзеляжа исследуемого беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа в крейсерском режиме полёта.

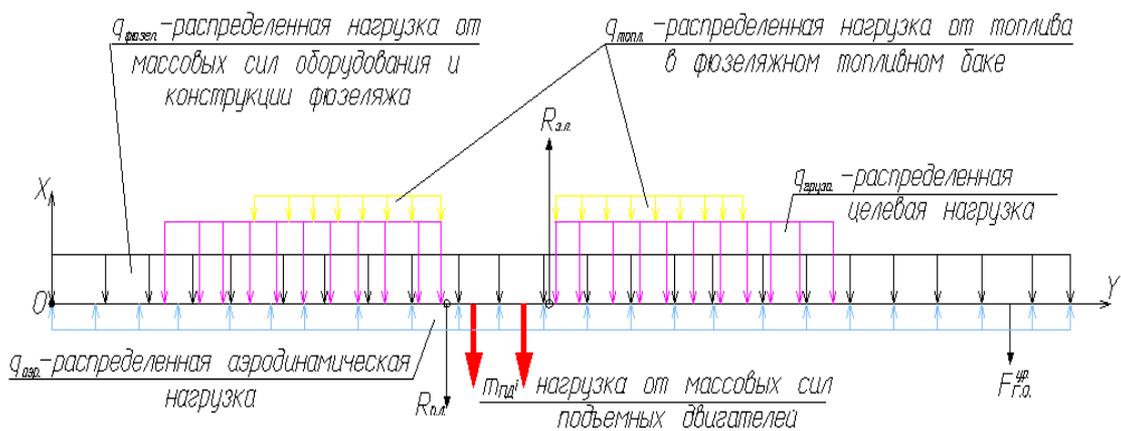


Рис. 5. Расчётная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа для случая А.

На рис. 6 приведена расчётная схема фюзеляжа исследуемого беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа на режиме вертикального взлёта.

Рис. 6. Расчётная схема фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП с ПД внутри фюзеляжа режиме ВВП.

Суммирование внешних и внутренних нагрузок в процессе интегрирования алгебраическое и учитывает направление нормальных и касательных сил в конструкции фюзеляжа.

Так как беспилотный транспортный СВВП не имеет аналогов в мировой практике авиастроения, поэтому по полученным значениям нагрузок от внешних и внутренних сил, необходимо поэлементно рассчитывать массу конструкции фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП, которая может быть представлена как сумма:

$$m_{\text{ФЮЗ}} = m_{\text{пан}} \cdot n_{\text{пан}} + m_{\text{техСоед}} + m_{\text{гр.люка}} \cdot n_{\text{гр.люков}} + m_{\text{вырез}} \cdot n_{\text{вырез}} + m_{\text{гермодниц}} \cdot n_{\text{гермодниц}} + m_{\text{сил.шп.}} \cdot n_{\text{сил.шп.}} + m_{\text{тип.шп.}} \cdot n_{\text{тип.шп.}} + m_{\text{лонж.}} \cdot n_{\text{лонж.}} + m_{\text{лист.дет.}}, \quad (1)$$

где: $m_{\text{пан}}$ - масса панелей фюзеляжа;

$m_{\text{техСоед}}$ - масса технологических соединений;

$m_{\text{гр.люка}}$ - масса вырезов под установку грузового люка;

$m_{\text{вырез}}$ - масса вырезов под входные и выходные устройства подъёмных двигателей внутри фюзеляжа;

$m_{\text{гермодниц}}$ - масса герметичных сферических днищ с учётом обода шпангоута;

$m_{\text{сил.шп.}}$ - масса силовых шпангоутов;

$m_{\text{тип.шп.}}$ - масса типовых шпангоутов;

$m_{\text{лист.дет}}$ - масса листовых деталей (грузового пола, обтекателей и др.);

$n_{\text{гр.люков}}$ - количество грузовых люков;

$n_{\text{вырезов}}$ - количество вырезов под установку подъёмных двигателей;

$n_{\text{гермоднищ}}$ - количество герметичных сферических днищ;

$n_{\text{пан}}$ - количество панелей обшивки фюзеляжа;

$n_{\text{сил.шп.}}$ - количество силовых шпангоутов;

$n_{\text{тип.шп.}}$ - количество типовых шпангоутов;

$n_{\text{лонж}}$ - количество лонжеронов.

Поэлементный расчёт массы фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП позволил разработать формулу для оперативной оценки влияния проектных параметров (компоновки силовой установки, удлинения фюзеляжа, высоты крейсерского полёта и т.д.) на массовые характеристики фюзеляжа:

$$\overline{m}_{\text{Бесп.СВВП}}^{\text{Фюз}} = \overline{m}_{\text{ФюзСОВП}} \cdot K_{\text{Ц.Н.}} + \overline{m}_{\text{работаПД(ТВА)}} + \overline{m}_{\text{вырезов}} \cdot n_{\text{вырезов}} + \overline{m}_{\text{гр.люка}} \cdot n_{\text{гр.люка}}, \quad (2)$$

где: $\overline{m}_{\text{ФюзСОВП}}$ - относительная масса фюзеляжа транспортного СОВП;

$\overline{m}_{\text{работаПД(ТВА)}}$ - дополнительная масса для усиления конструкции силовых элементов фюзеляжа при креплении ПД или турбовентиляторных агрегатов (ТВА) на фюзеляже;

$\overline{m}_{\text{вырезов}} = \frac{m_{\text{вырезов}}}{m_0}$ - относительная масса выреза под входные и выходные устройства

ПД при установке их внутри фюзеляжа, рассчитывается по формуле из работы [2];

$\overline{m}_{\text{гр.люка}} = \frac{m_{\text{гр.люка}}}{m_{\text{ФюзелСОВП}}}$ - относительная масса грузового люка;

$n_{\text{вырезов}}$, $n_{\text{гр.люка}}$ - количество вырезов под входные устройства ПД и количество грузовых люков, соответственно;

$K_{\text{Ц.Н.}}$ - коэффициент, учитывающий перераспределение массы целевой нагрузки, снаряжения и бортового оборудования по длине фюзеляжа определяется по формуле:

$$K_{\text{Ц.Н.}} = \left(1 - \frac{V_{\text{ЦН}}}{V_{\text{Фюз}}} \right)^{\lg \lambda_{\text{Фюз}}}, \quad (3)$$

где: $\lambda_{\text{Фюз}}$ - удлинение фюзеляжа;

$V_{\text{ЦН}}$ - объём отсека целевой нагрузки, м³;

$V_{\text{Фюз}}$ - объём фюзеляжа, м³, определяется по формуле из работы [1].

Относительная масса фюзеляжа транспортного СОВП можно определить по формуле из работы [2]:

$$\begin{aligned} \overline{m}_{\text{ФюзСОВП}} = & \frac{1}{k \cdot m_0} \cdot \left\{ 1,65 l_{\text{Фюз}} \left[10^{-4} (f_H + f_{XB}) \frac{M^{A'}(z)}{d_{\text{Фюз}}} + \right. \right. \\ & \left. \left. + 1,136 d_{\text{Фюз}}^2 \cdot \left(p^3 + 0,461 \sqrt{\frac{M^{A'(BB)}(z)}{m_0}} \right) \right] + \right. \\ & \left. + 5,32 \cdot (p^3 + 1) d_{\text{Фюз}}^2 \left[\frac{10k_{\text{фон}}}{d_{\text{Фюз}}^{3/2}} + 2,425 \cdot 10^{-2} \lambda_{\text{Фюз}}^2 + 0,301 d_{\text{Фюз}} + 2,78 \right] + \right. \end{aligned} \quad (4)$$

$$+ 6,4d_{\text{фюз}}^2 \lambda_{\text{фюз}} + 3 \cdot 10^{-3} m_0 \cdot (k_{\text{соч}} + 1,67)$$

где: $d_{\text{фюз}}$ – диаметр фюзеляжа, м;

$l_{\text{фюз}}$ – длина фюзеляжа, м;

m_0 – взлётная масса СОВП, кг;

$M^{A'}(z)$ – расчётный изгибающий момент в зоне крепления заднего лонжерона крыла при расчётных случаях A' , кгм;

f_H, f_{XB} – коэффициенты, учитывающие нагрузки от аэродинамических сил в носовой и хвостовой, соответственно, частях фюзеляжа, определяются по таблицам, опубликованным в работе [2];

$k_{\text{фон}} = 1,0$ [14, 48], коэффициент учитывающий тип конструкции фонаря;

$k_{\text{соч}}$ – учитывает тип соединений агрегатов фюзеляжа, находится по методикам из работы [3];

$P^{\text{э}}$ – эксплуатационное избыточное давление в герметичных отсеках фюзеляжа, кг/м²;

Дополнительная масса для усиления конструкции силовых элементов фюзеляжа при креплении ПД или ТВА на фюзеляже, определяется по разработанной автором формуле:

$$m_{\text{работаПД(ТВА)}} = \frac{(R_{\text{ПД/ТВА}} - m_{\text{ПД/ТВА}} \cdot g) \cdot n_{\text{ПД/ТВА}} \cdot l_{\text{сил.элемент}} \cdot \rho_{\text{сил.элемент}}}{m_0 \cdot g \cdot \sigma_{\text{сил.элемент}}^B} \quad (5)$$

где: $R_{\text{ПД/ТВА}}$ – тяга ПД или ТВА, даН;

$m_{\text{ПД/ТВА}}$ – масса ПД или ТВА, кг;

$n_{\text{ПД/ТВА}}$ – количество ПД или ТВА;

$\sigma_{\text{сил.элемент}}^B$ – предел прочности материала лонжеронов фюзеляжа, которые воспринимают нагрузки от двигателей при вертикальном взлёте и посадке, кг/м²;

$l_{\text{сил.элемент}}$ – габаритная длина лонжеронов, м.

$\rho_{\text{сил.элемент}}$ – удельная плотность материала силовых элементов, кг/м³.

На рис. 7 приведены относительные массы фюзеляжей транспортных СОВП, рассчитанные по формуле (4), поэлементно по формуле (1) и статистические данные.

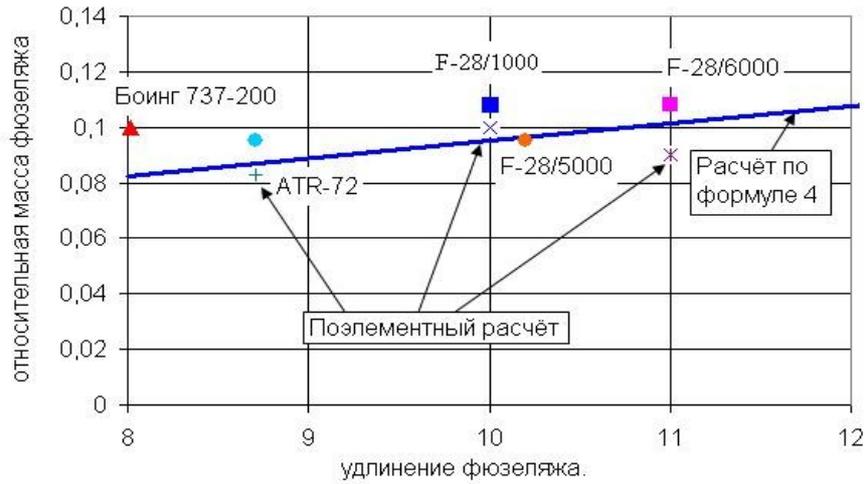


Рис.7 Сравнение результатов расчёта относительных масс фюзеляжей транспортных СОВП по формуле (4),azoleментного расчёта по формуле (1) и статистических данных.

Масса грузового люка определяется по формуле:

$$m_{гр.люка} = \frac{m_{панелей\ СОВП}}{F_{поверхности}} \cdot a_{вдоль} \cdot b_{поперёк}, \quad (6)$$

где: $m_{панелей\ СОВП}$ — масса панелей фюзеляжа без грузового люка, кг, [3];

$F_{поверхности}$ — площадь оmyиваемой поверхности фюзеляжа, m^2 ;

$a_{вдоль}$ — размер грузового люка вдоль продольной оси фюзеляжа, м;

$b_{поперёк}$ — размер грузового люка поперёк продольной оси фюзеляжа, м.

На рис. 8 приведены результаты расчётов массы грузовых люков и эксплуатационных вырезов транспортных СОВП и статистические данные.

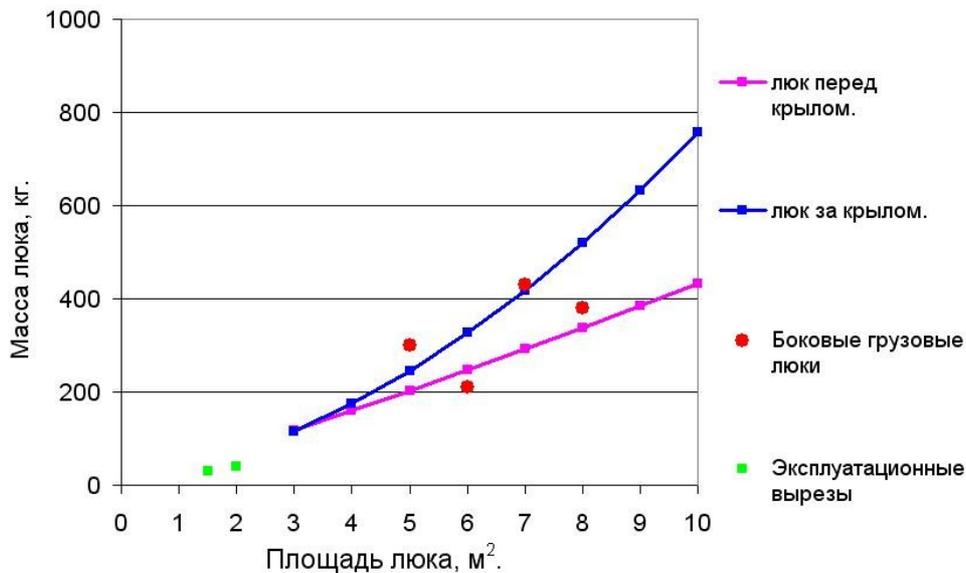


Рис.8. Сравнение результатов расчёта массы грузовых люков и эксплуатационных вырезов транспортных СОВП по формуле 6 и статистических данных.

На рис. 9 показаны результаты поэлементного расчёта относительных масс фюзеляжа беспилотных транспортных СВВП при компоновке ПД (ТВА) внутри фюзеляжа по формуле (1) и результаты расчёта по разработанной формуле (2). На рис. 10 показаны результаты поэлементного расчёта относительных масс фюзеляжа беспилотных транспортных СВВП при компоновке ПД(ТВА) вдоль борта фюзеляжа по формуле (1) и расчёта по разработанной формуле (2). Результаты расчёта проведённые по разработанной формуле почти полностью соответствует результатам поэлементного расчёта. Среднеквадратичное отклонение результатов расчётов по разработанной формуле (2) от результатов поэлементного расчёта по формуле (1) составляет $\pm 7\%$.

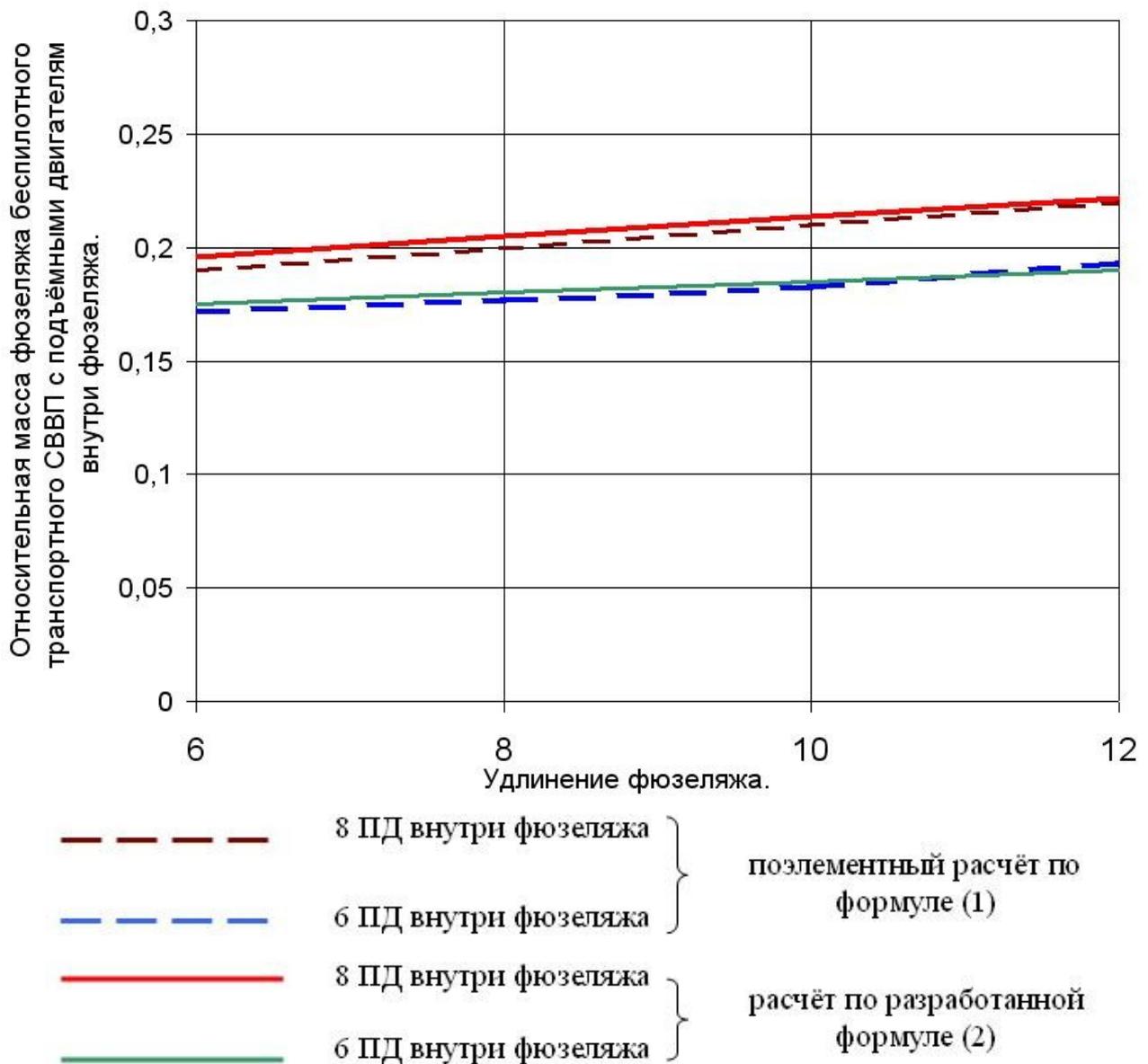


Рис.9. Относительная масса фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП при компоновке ПД (ТВА) внутри фюзеляжа.

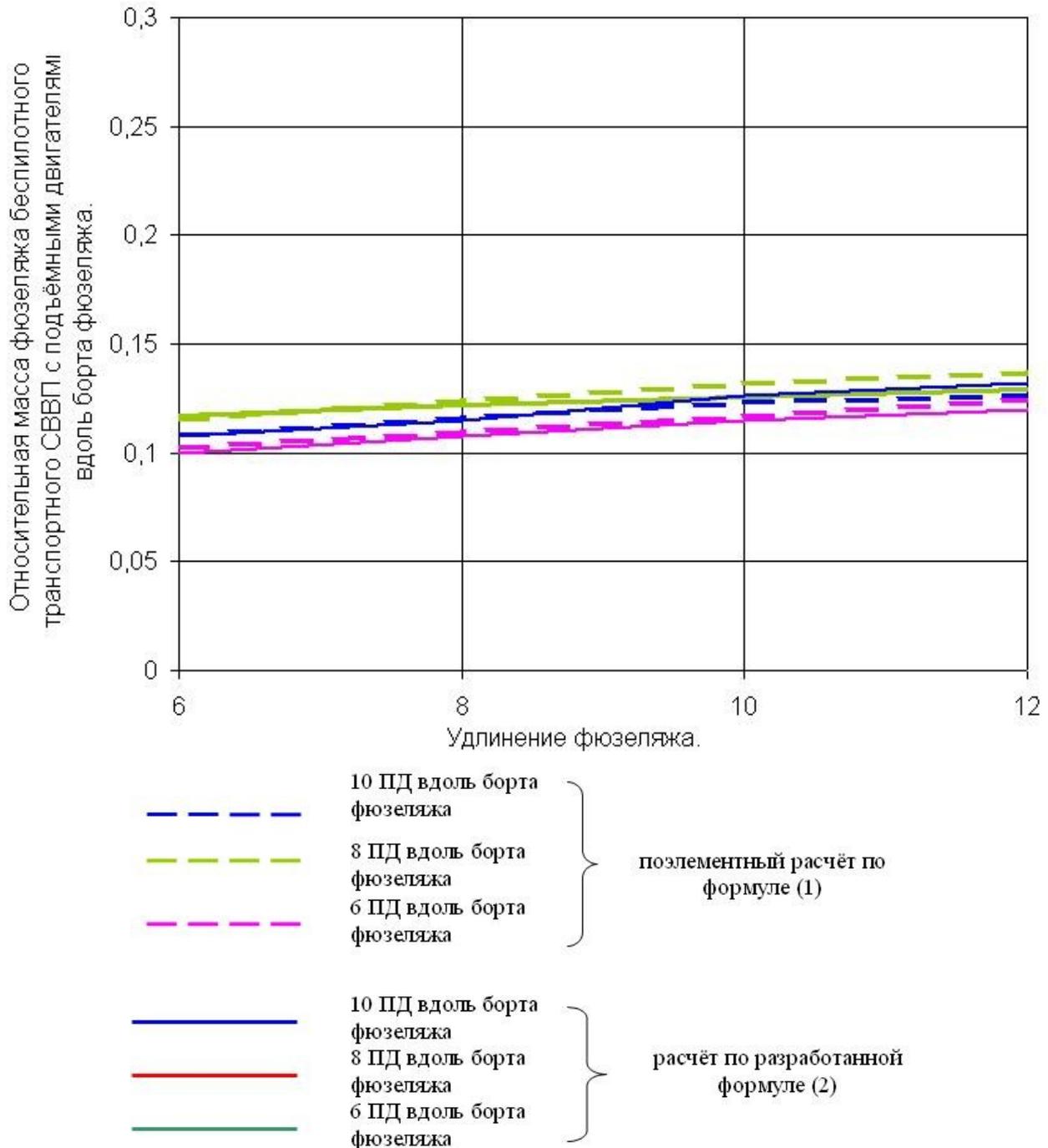


Рис.10. Относительная масса фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП при компоновке ПД (ТВА) вдоль борта фюзеляжа.

На рис. 11 приведены значения относительных объёмов отсеков целевой нагрузки для существующих транспортных СОВП и исследуемых типов СВВП. Фюзеляж беспилотного транспортного СВВП используется более рационально, чем фюзеляж пилотируемого самолёта, так как относительный объём отсека целевой нагрузки беспилотных транспортных самолётов 0,58...0,76 (для обычных самолётов 0,4...0,55).

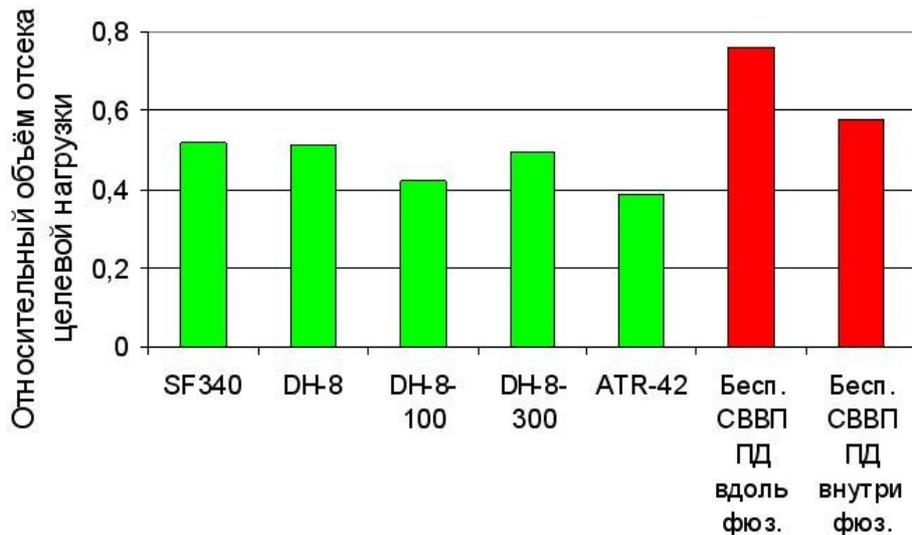


Рис.11. Относительные объёмы отсеков целевой нагрузки пилотируемых самолётов и исследуемых типов СВВП.

На рис. 12 показаны площади омываемых поверхностей фюзеляжей беспилотного и пилотируемого варианта исследуемого типа СВВП и существующих пилотируемых транспортных СВВП.

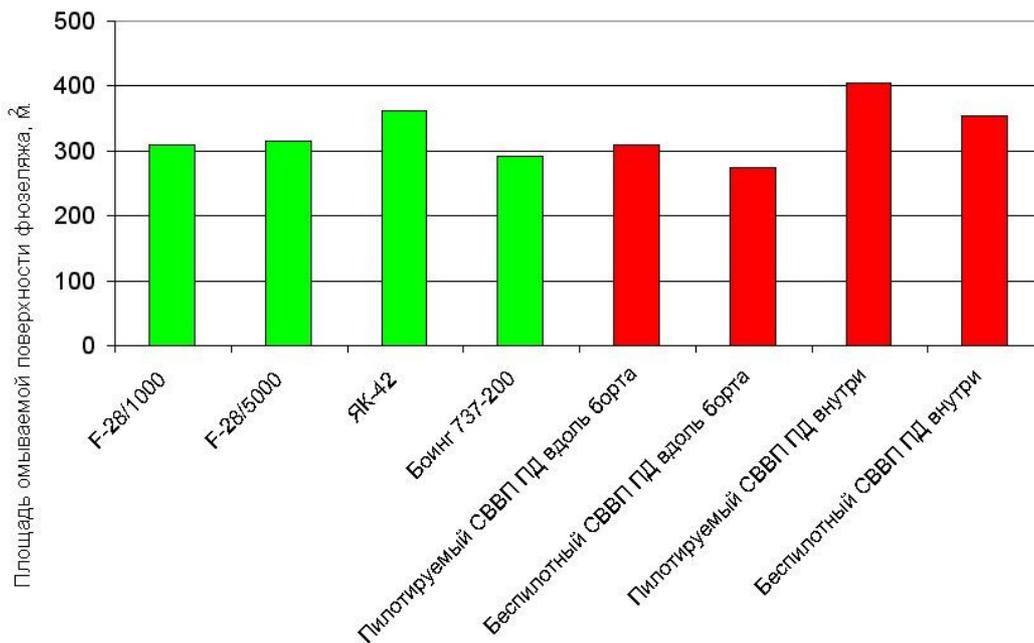


Рис.12. Площади омываемых поверхностей фюзеляжей исследуемого типа СВВП и существующих пилотируемых транспортных СВВП.

При компоновке ПД внутри фюзеляжа площадь омываемой поверхности фюзеляжа пилотируемого СВВП на 8...15% (в зависимости от количества подъёмных двигателей) больше, чем площадь омываемой поверхности фюзеляжей СВВП.

Выводы:

1. Разработана методика поэлементного расчета относительной массы фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП, в которой дополнительно к традиционным расчётным

случаям норм прочности добавлен расчётный случай нагружения конструкции фюзеляжа тягой силовой установки на режимах вертикального взлёта и посадки.

2. На основании поэлементного расчёта массовых характеристик фюзеляжа разработана формула для укрупнённого расчёта относительной массы фюзеляжа беспилотного транспортного СВВП. Разработанная формула позволяет оперативно оценивать влияние проектных параметров (компоновка силовой установки, удлинение фюзеляжа, высота крейсерского полёта и т.д.) на массовые характеристики фюзеляжа.

3. По разработанной формуле проведены расчёты относительных масс фюзеляжей беспилотных транспортных СВВП. По результатам проведённых исследований установлено:

-при компоновке подъёмных двигателей вдоль борта фюзеляжа площадь омываемой поверхности на 3...5%, а относительная масса на 10...15% больше (в зависимости от количества подъёмных двигателей), чем площадь омываемой поверхности и относительная масса фюзеляжа обычного транспортного самолёта;

-при компоновке подъёмных двигателей внутри фюзеляжа площадь омываемой поверхности на 10...15%, а относительная масса на 35...45% больше, чем площадь омываемой поверхности и относительная масса фюзеляжа обычного транспортного самолёта.

4. Фюзеляж беспилотного транспортного СВВП используется более рационально, чем фюзеляж пилотируемого самолёта, так как относительный объём отсека целевой нагрузки беспилотных транспортных самолётов 0,58...0,76 (для обычных самолётов 0,4...0,55).

Список литературы.

1. Егер С.М. Мишин В.Ф. Н.К. Лисейцев и др. Под ред. Егера С.М. Проектирование самолётов. 3-е издание, перераб. и доп.- М.: Машиностроение, 1983.-616с.
2. Шейнин В.М. Козловский В.И. Проблемы проектирования пассажирских самолётов.- М.: Машиностроение, 1972.-308с.
3. Шейнин В.М. Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолётов. Т.1. Весовой расчёт самолёта и весовое планирование. - М.: Машиностроение, 1977. -344с.

Сведения об авторе

Дорогов Антон Вячеславович аспирант кафедры проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов Московского авиационного института (государственного технического университета).

