

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАШЮТНО-РЕАКТИВНОЙ ПОСАДКОЙ ВА ПТК НП.

Л. А. Ильющенко¹, И. С. Ильющенко¹

¹ «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»

Целью данной работы является разработка алгоритма управления парашютно-реактивной посадкой ВА ПТК НП для обеспечения безударного касания земной поверхности, что является одним из главных требований к средствам приземления ВА ПТК НП для обеспечения его многообразности.

Для решения поставленной задачи, необходимо:

- выдать разовую команду на включение ПТДУ;
- выдать разовую команду на отстрел парашютов;
- определить постоянный уровень требуемой суммарной тяги и стабилизировать соответствующее давление в ПТДУ, управляя суммарной площадью критических сечений всех сопел в соответствии с алгоритмом разработчиков ПТДУ;
- дифференцированно управлять критическими сечениями восьми основных и четырех дополнительных сопел ПТДУ для создания требуемых тяг и моментов с целью гашения скорости ВА и приведения его в требуемое угловое положение к моменту касания грунта;
- по касанию вскрыть клапаны гашения тяги и закрыть все сопла ПТДУ.

Процесс посадки состоит из трёх участков:

- гашение вертикальной скорости (первый участок);
- гашение горизонтальной скорости при поддержании приемлемой тяговооружённости вертикальной составляющей суммарной тяги ПТДУ (второй участок);
- гашение оставшихся возмущений (третий участок).
-

Исходя из величины постоянной скорости вертикального снижения перед моментом включения ПТДУ, определяется высота ΔH_1 , которая теряется в течение первого участка работы ПТДУ, а также длительность первого участка T_1 .

$$T_1 = \frac{V_B}{g} \operatorname{arctg} \frac{M}{0.623R - M},$$

$$\Delta H_1 = -\frac{V_B^2}{g} \frac{0.623R - M}{M} \ln \cos \frac{gT_1}{V_B}.$$

Исходя из величины горизонтальной скорости, определяется высота ΔH_2 , которая теряется в течение второго участка работы ПТДУ, считается, что скорость вертикального движения по окончании первого участка работы ПТДУ равна нулю.

$$\Delta H_2 = \frac{0.1V_r^2 M^2}{2g \cdot 0.97R_r^2}.$$

Высота ΔH_3 , которая теряется в течение третьего участка работы ПТДУ, считается постоянной и принята равной 1.15 метрам, что соответствует максимальной горизонтальной скорости движения ВА.

Таким образом, включение ПТДУ начинается на высоте H :

$$H = -\frac{V_B^2}{g} \frac{0.623R-M}{M} \ln \cos \frac{gT_1}{V_B} + \frac{0.1V_T^2 M^2}{2g \cdot 0.97R_T^2} + 1.15\text{м.}$$

Суммарная тяга двигателей на первом участке считается выбранной, по умолчанию равна 20 тоннам, суммарная тяга на втором участке считается выбранной, по умолчанию она равна 14.5 тоннам, что дает горизонтальную тягу $R_T = 7316.27\text{кг}$. В работе будет проведено исследование по влиянию выбранных суммарных тяг первого и второго участка на всю парашютно-реактивную посадку.

По достижению оцененной высоты включения двигателей ПТДУ, происходит включение вертикальных двигателей на заранее определенную тягу. Данная тяга поддерживается время равное T_1 , через которое происходит отстрел парашютной системы и включение горизонтальных двигателей, начинается второй участок работы ПТДУ. В случае если вертикальная скорость снижения ВА станет менее 0.2м/с раньше времени T_1 и второй участок работы ПТДУ не требуется, происходит отстрел парашютной системы и переход к третьему участку работы ПТДУ.

Условием начала второго участка, при невыполнении которого сразу начинается третий участок, является:

$$V_T \geq 0.1\text{м.}$$

Второй участок длится до полного гашения горизонтальной скорости, т.е. до выполнения условия:

$$V_T < 0.1\text{м.}$$

На третьем участке по текущей высоте H и вертикальной скорости снижения ВА V определяется значение суммарной тяги вертикальных двигателей R_{III} из условия касания подстилающей поверхности с вертикальной скоростью равной нулю:

$$R_{III} = \frac{MV^2 + 2gHM}{1.246gH}.$$

На первом и третьем участке создается перераспределение между вертикальными двигателями для гашения момента, возникающего из-за смещения центра масс, согласно описанным в предыдущем разделе формулам. На втором участке создается перераспределение между вертикальными двигателями для гашения момента, возникающего из-за смещения центра масс, и паразитного момента, возникающего из-за работы горизонтальных двигателей.

Введем коэффициент k_a , описывающий эффективность действия аэродинамической силы торможения, которую создает парашютная система. Потери действия аэродинамической силы можно обусловить следующими факторами:

- отклонение оси симметрии ВА от гравитационной вертикали вследствие спиралевидного движения связки ПС-ВА при снижении, а также остаточных колебательных процессов;
- отставание торможения парашютной системы от торможения ВА в условиях работы ПТДУ.

Перечисленные факторы приводят к снижению эффективности действия парашютной системы при работе ПТДУ на 10-20%. В дальнейших расчетах примем значение k_a следующим:

$$k_a = 0.9.$$

Угол α описывает отклонение установки вертикальных двигателей от оси симметрии ВА:

$$\alpha = 51.5^\circ.$$

Коэффициент $k_r = 0.9$ описывает потерю тяги, вызванные отклонением оси симметрии ВА от гравитационной вертикали в виду наличия колебательного процесса, что может приводить к потерям тяги порядка 10%.

Окончательно, для затраты суммарного импульса тяги на первом участке имеем

$$Q_1 = Rt_1 = R \frac{V_H}{g} \frac{m}{k_a k_r R \cos \alpha - m} \operatorname{arctg} \frac{k_a m}{k_r R \cos \alpha - m}.$$

Затраты суммарного импульса на втором участке (гашение горизонтальной скорости).

$$Q_2 = Rt_2 = \frac{mRV_r}{g \sin \beta} \cdot \frac{k_r \cos \alpha - \cos \beta}{k_r R \cos \alpha - \gamma m}.$$

Угол $\beta = 76,0^\circ$. описывает отклонение установки горизонтальных двигателей от оси симметрии.

Рассмотрим алгоритм управления основанного на управлении тяговооруженностью. Выбранный диапазон суммарной тяги от 9 до 19 тс. Ошибка, принятая при выборе тяги 12 %.

- Включение двигателей ПТДУ (доп. сопла закрыты) на суммарную тягу 17т., время выхода на режим составляет $t_{10} = 0.15$ с. Потеря высоты при выходе на режим $\Delta H_{00} = 0.19 \div 0.30$ м. Вертикальная скорость после выхода ПТДУ на режим $V_{B10} = 4.6 \div 7.5$ М/с.
- Торможение до $V_{B11} = 2.5$ М/с, допустимой для отстрела ПС. Время торможения составит $t_{11} = 0.21 \div 0.71$ с. Потеря высоты $\Delta H_{10} = 0.75 \div 3.25$ м.
- Отстрел ПС, открытие 4 дополнительных сопел на максимальное значение, время открытия сопел $t_{20} = 0.66$ с. Остаточная вертикальная скорость $V_{B20} = 0.9 \div 1.7$ М/с. Потеря горизонтальной скорости $V_{r1} = -4.1 \div 4.6$ М/с. Потеря высоты $\Delta H_{20} = 0.95 \div 1.23$ м.
- Снижение суммарной тяги с 17 тонн до 12.5 тонн. Время перехода с тяги на тягу $t_{21} = 0.11$ с. Потеря горизонтальной скорости $V_{r2} = -1.2 \div 1.4$ М/с. Остаточная вертикальная скорость $V_{B21} = 0.9 \div 1.9$ М/с. Потеря высоты $\Delta H_{21} = 0.10 \div 0.20$ м.
- Закрытие горизонтальных сопел. Время закрытия $t_{22} = 0.66$ с. Остаточная вертикальная скорость $V_{B22} = 2.7 \div 4.1$ М/с. Потеря горизонтальной скорости $V_{r3} = -3.0 \div 3.4$ М/с. Потеря высоты $\Delta H_{23} = 1.20 \div 1.95$ м.
- Окончательное гашение вертикальной скорости. Время гашения $t_{31} = 0.42 \div 0.83$ с. Потеря высоты составляет $\Delta H_3 = 0.56 \div 1.72$ м.
- Если горизонтальная скорость меньше 8.5 М/с - горизонтальные сопла открываются не полностью, если скорость больше 9.5 М/с - лишнюю скорость гасим на режиме тяги в 17 т.

Обобщая полученные числовые оценки, для скоростей и высот окончательно для высоты прицеливания (высота включения двигателя) и ветрового сноса имеем:

Если $V_r < 9.5$ М/с:

$$H = 0.3 + \frac{V_B - 0.5}{8.82} \ln \frac{\cos \operatorname{arctg} \frac{2.5}{\frac{9.53-m}{0.9m} V_B - 0.5}}{\cos \operatorname{arctg} \frac{0.9m}{9.53-m}} + 5.0 + \Delta H_{\text{срв}} + 1.5.$$

Если $V_r \geq 9.5$ М/с:

$$H = H + 0.101m - 0.561 V_r - 9.5 + \frac{m - 6.47 V_r - 9.5^2 m}{1094.5}.$$

Если $V_r < 9.5$ М/с:

$$L = 0.075 + \frac{0.66}{17} V_r - 1.3^2 + V_r \cdot 0.15 - \frac{V_B - 0.5}{0.9g \frac{9.53-m}{0.9m}} \operatorname{arctg} \frac{2.5}{\frac{9.53-m}{0.9m} V_B - 0.5} - \operatorname{arctg} \frac{9.53-m}{0.9m}.$$

Если $V_r \geq 9.5$ М/с:

$$L = L + \frac{V_r - 9.5^2 m}{177.74}.$$

Окончательно:

$$\Delta H_{\text{срв}} = -L \tan \alpha_{I-III} .$$

В работе проведен анализ возможностей двигательной установки ПТДУ ВА ПТК НП, на основании которого построен алгоритм управления посадкой на парашютно-реактивной системе.

Проведено моделирование, которое показало, что в ходе работы данного алгоритма полностью выполняются требования, предъявляемые к посадочному устройству.

Рис.1. Зависимость расхода суммарного импульса от суммарной тяги ПТДУ на первом участке при штатной работе ПС

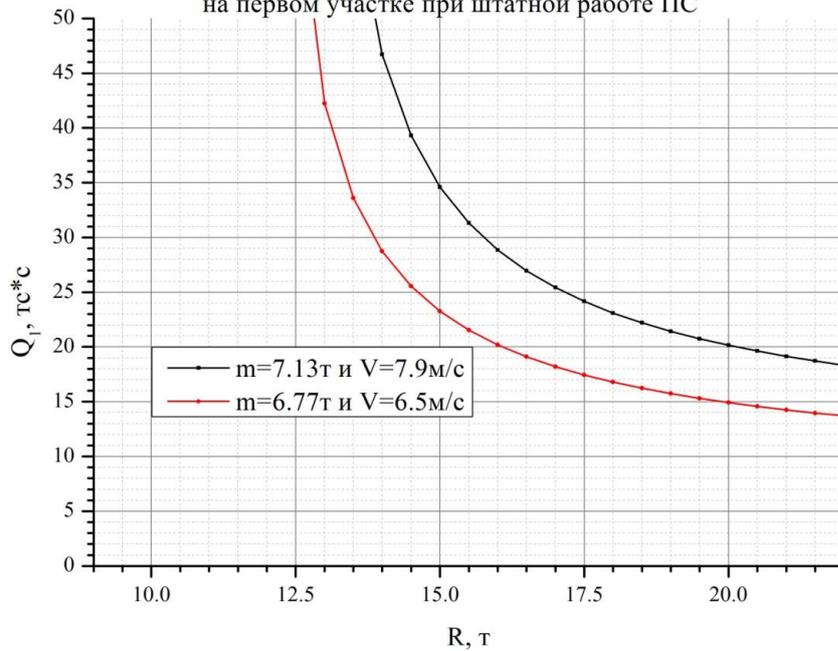


Рис.2. Зависимость расхода суммарного импульса от суммарной тяги ПТДУ на первом участке при неоткрытии одного купола ПС

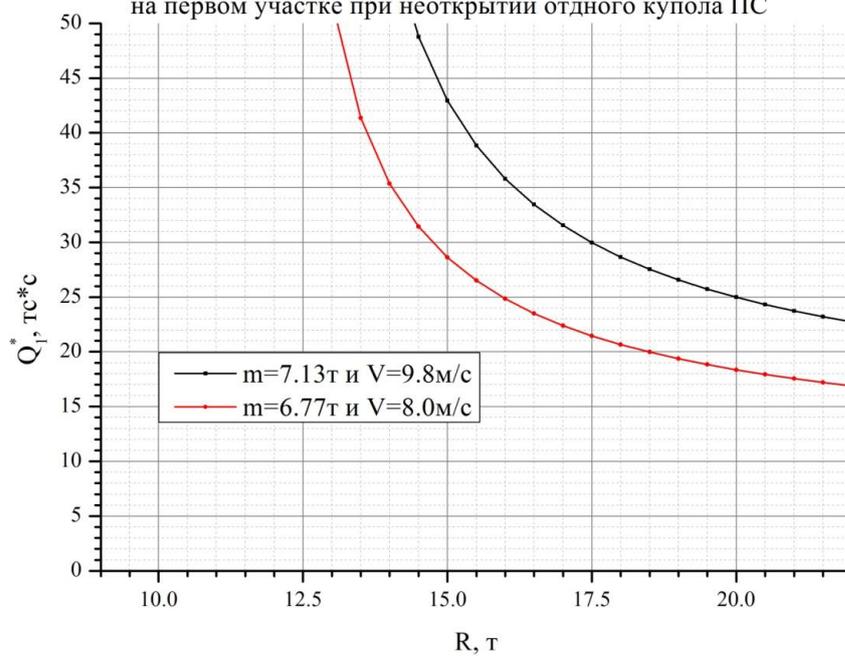


Рис.3. Зависимость расхода суммарного импульса от суммарной тяги ПТДУ на втором участке (γ - вертикальная тяговооруженность)

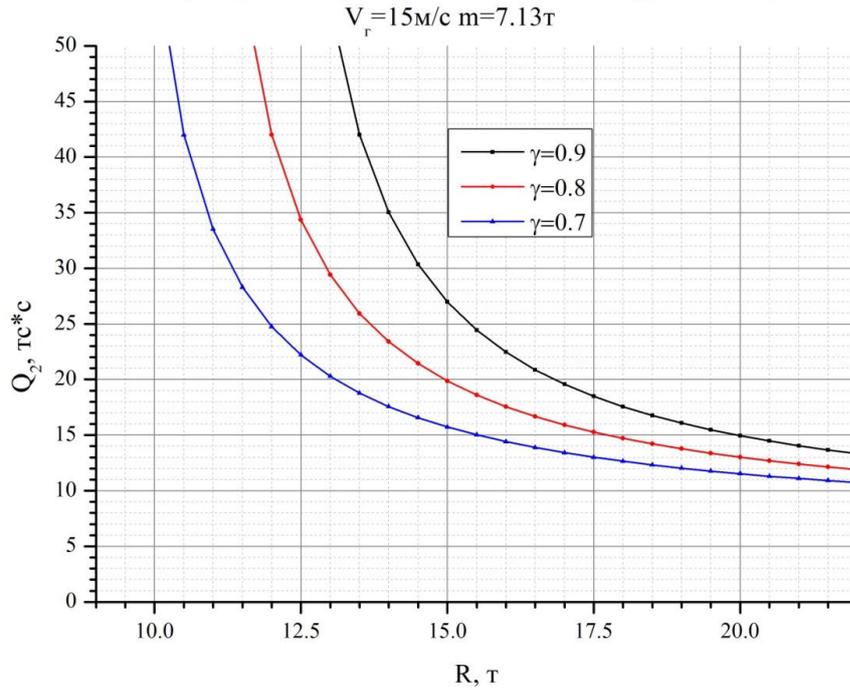
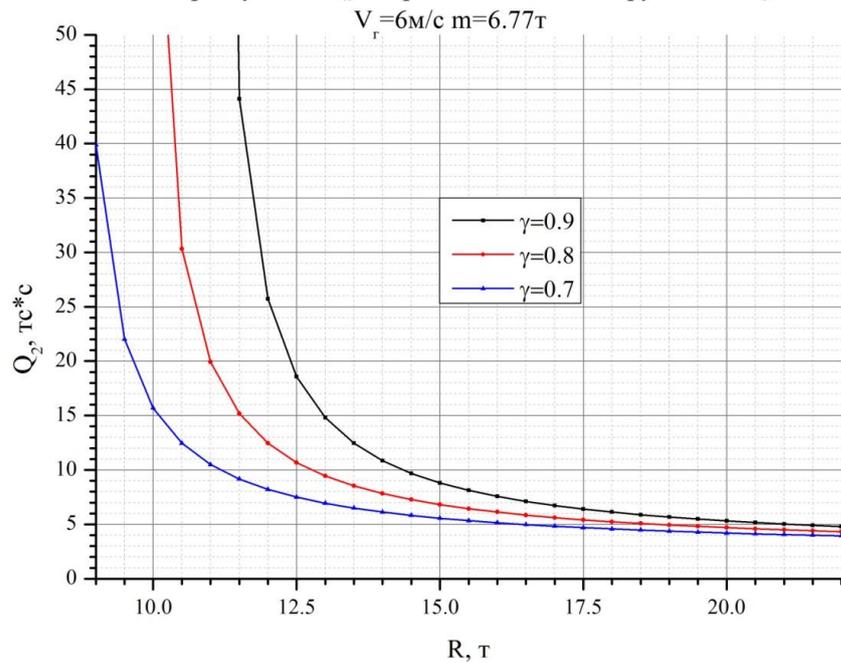


Рис.4. Зависимость расхода суммарного импульса от суммарной тяги ПТДУ на втором участке (γ - вертикальная тяговооруженность)



Список литературы.

- Айзерман М.А. Классическая механика. изд. «Наука», М., 1980г.
- Материалы технического проекта по ПТК НП.
- ТЗ.0067.260 Посадочная твердотопливная двигательная установка.
- ТЗ.0031.017. Парашютная система.
- ТЗ.0012.037. Средства приземления пилотируемого транспортного корабля.