

МАТЕМАТИКА

Ю.С. Мануйлов,

академик ПАНИ, доктор технических наук, профессор

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕАКТИВНЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ОРБИТАЛЬНОГО САМОЛЁТА ПРИ СПУСКЕ В АТМОСФЕРЕ

При спуске орбитального самолёта (ОС) в атмосфере могут решаться оптимизационные задачи управления продольной или поперечной дальностью его полёта. Однако при решении такого рода задач приходится учитывать целый ряд ограничений, связанных с обеспечением требуемой безопасности процесса спуска. Такие ограничения накладываются на максимально допустимые величины скоростных углов крена и скольжения из соображений обеспечения устойчивости полёта ОС, а также на максимально допустимую температуру нагрева корпуса аппарата при спуске в плотных слоях атмосферы. Учёт этих ограничений накладывает определённую специфику на характер решаемых оптимизационных задач.

Система дифференциальных уравнений, описывающих процесс спуска ОС в атмосфере, может быть представлена в виде [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{V} = -C_x \frac{\rho V^2 S}{2} Q(H) - K_Q m \sqrt{\rho(H)} V^3 \\ \dot{\theta} = C_Y \frac{\rho V S}{2 m} \cos \gamma - \frac{g}{V} + \frac{V}{R}; \\ \dot{\chi} = C_Y \frac{\rho V S}{2 m} \sin \gamma - \frac{V}{R} \cos \chi \operatorname{tg} \varphi; \\ \dot{\varphi} = \frac{V}{R} \sin \chi; \\ \dot{H} = V \theta, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $V, \theta, \chi, \varphi, H$ - составляющие вектора фазовых координат системы;

- параметры, характеризующие динамические свойства (миделево сечение) объекта управления;

$\rho(H) = \rho_0 \operatorname{Exp}(-H / H_m)$ - функция, характеризующая плотность ρ атмосферы в зависимости от высоты H полёта;

γ - угол крена в скоростной системе координат (скоростной угол крена), выступающий в качестве управляющего параметра;

- некоторые константы, характеризующие плотность ρ атмосферы на максимальной высоте H_m , площадь миделева сечения, массу и другие параметры ОС.

В каждый момент времени степень температурного воздействия набегающего потока воздуха на корпус ОС характеризуется некоторой функцией $Q(H)$, зависящей от высоты H и скорости полёта:

(2)

где K_Q - коэффициент пропорциональности.

Требуется, управляя переменной γ , на интервале времени $[t_0, T_1]$ организовать движение объекта (1) с учётом ограничения:

$$Q(t) \leq Q_{\max}, t \in [t_0, T_1], \quad (3)$$

где Q_{\max} - максимально допустимая величина параметра Q .

Решение оптимизационных задач управления продольной и боковой дальностью полёта ОС при спуске в атмосфере связано с организацией движения по границе области (3) допустимых температур [1]. При этом граница этой области задаётся уравнением

$$\Phi(H, \rho, V, Q_{\max}) = K_Q \rho^{\frac{1}{2}} V^3 - Q_{\max} = 0 \quad (4)$$

Известно [2], что для того, чтобы участок фазовой траектории объекта управления принадлежал границе (4) области (3), необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi(\cdot)|_{t=t_0} = 0; \\ \frac{d\Phi}{dt}|_{t=t_0} = 0; \\ \dots \\ \frac{d^n \Phi}{dt^n} = 0, t \in [t_0, T_1], \end{array} \right. \quad (5)$$

где $\frac{d^n \Phi}{dt^n}$ - первая из производных, содержащая параметр управления в явном виде. Первая группа условий (5) указывает на то, что фазовая траектория вышла на границу (4) в момент времени t_0 , а последнее условие системы (5) указывает на то, что фазовая траектория не покидает указанную границу допустимой области в течении интервала времени $[t_0, T]$ [1].

Пусть в момент времени t_0 соблюдается условие $\Phi(\cdot)|_{t=t_0} = 0$. Определим $\frac{d\Phi}{dt}$ с использованием соотношения (4). Будем иметь:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial \Phi}{\partial V} \dot{V} + \frac{\partial \Phi}{\partial H} \dot{H} \quad (6)$$

$$\text{где } \frac{\partial \Phi}{\partial V} = 3K_Q \rho^{\frac{1}{2}} V^2; \quad \frac{\partial \Phi}{\partial H} = -\frac{1}{2} \frac{K_Q}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^3.$$

Подставив полученные соотношения, а также соотношения для \dot{V} и \dot{H} из (1) в (6), получим:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{3}{2} K_Q C_x \rho^{\frac{3}{2}} V^4 \frac{S}{m} - \frac{1}{2} \frac{K_Q}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^4 \theta. \quad (7)$$

Правая часть выражения (7) не зависит явно от параметра управления γ . Следовательно необходимо определить выражение для следующей производной функции Φ . Несложно показать, что

$$\frac{d^2 \Phi}{dt^2} = \frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \dot{V} + \frac{\partial}{\partial H} \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \dot{H} + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) \dot{\theta}, \quad (8)$$

где

$$\frac{\partial}{\partial V} \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) = -6K_Q C_x \rho^{\frac{3}{2}} V^3 \frac{S}{m} - 2 \frac{K_Q}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^3 \theta;$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) = -\frac{1}{2} \frac{K_Q}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^4.$$

Подставив полученные соотношения, а также соотношения для \dot{V} , \dot{H} и $\dot{\theta}$ из (1) в (8), получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\Phi}{dt^2} = & \left(6K_\rho C_x \rho^{\frac{3}{2}} V^3 \frac{S}{m} + 2 \frac{K_\rho}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^3 \theta \right) C_x \frac{\rho V^2 S}{2 m} + \\ & + \left(\frac{9}{4} \frac{K_\rho}{H_m} C_x \rho^{\frac{3}{2}} V^4 \frac{S}{m} + \frac{1}{4} \frac{K_\rho}{H_m^2} \rho^{\frac{1}{2}} V^4 \theta \right) V \theta + \\ & + \left(-\frac{1}{2} \frac{K_\rho}{H_m} \rho^{\frac{1}{2}} V^4 \right) \left(C_Y \frac{\rho V S}{2 m} \cos \gamma - \frac{g}{V} - \frac{V}{R} \right). \end{aligned}$$

Приравняв правую часть данного соотношения нулю в соответствии с требованием условия (5), найдём искомую зависимость для определения управления γ , удерживающего объект управления на границе области (3):

$$\gamma = \arccos \left[\frac{\left(12 H_m C_x \rho \frac{S}{m} + 4 \theta \right) \frac{C_x}{C_Y} + 9 \frac{C_x}{C_Y} \theta + \frac{\frac{1}{2} V \theta^2 - \left(\frac{g}{V} + \frac{V}{R} \right)}{C_Y \frac{\rho V S}{2 m}} \right]. \quad (9)$$

Для реализации полученного закона управления необходимо управлять скоростным углом крена ОС. Эта задача также может быть решена в оптимизационной постановке. В частности, может рассматриваться задача t-оптимального управления угловым движением ОС в скоростной системе координат относительно вектора набегающего потока. При этом могут применяться как аэродинамические, так и реактивные исполнительные органы (ИО). В общем виде динамика углового движения ОС в скоростной системе координат может быть описана следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma} &= \alpha_\gamma \beta + \bar{\mu}_\gamma^T \bar{u}; \\ \dot{\beta} &= \alpha_\beta \beta + \bar{\mu}_\beta^T \bar{u}, \quad \bar{\mu}_\beta \in \text{col}(\mu_{\kappa i}, i = \overline{1, 4}), \quad \kappa \in \{\gamma, \beta\} \end{aligned} \quad (10)$$

где β - скоростной угол скольжения; $\alpha_\gamma, \alpha_\beta$ - динамические параметры;

$\bar{\mu}_\beta \in \text{col}(\mu_{\kappa i}, i = \overline{1, 4})$ - матрицы-столбцы эффективности аэродинамических ($i = \overline{1, 2}$)

и реактивных ($i = \overline{3, 4}$) ИО в каналах скоростных угла крена и угла скольжения;

$\bar{u} = \text{col}(u_i, i = \overline{1, 4})$ - вектор ограниченных управляющих параметров:

$\bar{u} \in \Omega_u = \{u_i : |u_i| \leq 1, i = \overline{1, 4}\}$.

Предположим также, что выбором комбинированной системы ИО обеспечивается выполнение условий полной управляемости ОС [4]:

$$\sum_{i=1}^4 \mu_{\beta i} \left(\sum_{j=1}^4 \mu_{\gamma j} \alpha_\beta - \mu_{\beta j} \alpha_\gamma \right) \neq 0.$$

Требуется обеспечить максимальное быстроедействие при переориентации объекта (10) из состояния

$$\varphi(t_0) = \text{col}(\gamma(t_0), \dot{\gamma}(t_0), \beta(t_0), \dot{\beta}(t_0)) = \text{col}(\gamma_0, \dot{\gamma}_0, 0, 0)$$

в состояние

$$\varphi(T_1) = \text{col}(\gamma(T_1), \dot{\gamma}(T_1), \beta(T_1), \dot{\beta}(T_1)) = \text{col}(\gamma_1, \dot{\gamma}_1, 0, 0)$$

с учётом ограниченности допустимого угла скольжения $|\beta(t)| \leq \beta_{\max}, \forall t \in [t_0, T_1]$, обусловленной требованиями динамической устойчивости вращательного движения объекта в набегающем потоке. Известное [5] решение поставленной задачи для случая $\dot{\gamma}_0 = 0$ без учёта ограничения на параметр β в структуре t-оптимального управления предполагает наличие четырёх участков знакопостоянства управления. При этом параметр β принимает максимальное значение, оцениваемое величиной

$$\beta_* = 2 \left| \alpha_\beta^{-1} \sum_{i=1}^4 \mu_{\beta i} \right|. \quad (11)$$

Однако, полученное управление, с одной стороны, оказывается весьма критично к действующим на объект координатно-параметрическим возмущениям, что может привести к рассинхронизации динамических процессов, протекающих в каналах крена и скольжения, и, следовательно, к существенному нарушению граничных условий на правом конце траектории. С другой стороны, не гарантируется выполнение условия $\beta_* \leq \beta_{\max}$, что ограничивает область применимости полученного управления.

Предлагается подход к организации управления объектом (10), основанный на создании постоянного угла скольжения

удовлетворяющего условию $|\beta(t)| \leq \beta_{\max}, \forall t \in [t_0, t_1]$, и удержании его в этом положении с целью обеспечения выполнения условия $\dot{\beta} = 0, \ddot{\beta} = 0$

Предлагаемый подход основан на том, что состояние (11) при $\bar{u} = const$ является состоянием устойчивого равновесия (стационарным состоянием) осциллирующей части системы (10), а выполнение условия (11) обеспечивает динамическую развязку каналов крена и скольжения.

Полагая $\bar{u} = \bar{u}_0$, помножим обе части второго уравнения системы (10) на \bar{u}_0 и разделим на α_β , а полученный результат почленно сложим с первым уравнением системы (10). При этом исходная система примет вид:

$$(12)$$

где
$$x_1 = \gamma - \gamma_1 - \frac{\alpha_\gamma}{\alpha_\beta} \beta; \bar{\mu}_\alpha = col(\mu_{\alpha i}, i = \overline{1, 4}) = \bar{\mu}_\gamma - \frac{\alpha_\gamma}{\alpha_\beta} \bar{\mu}_\beta.$$

Теперь задача управления объектом (10) с краевыми условиями исходной задачи равносильна задаче перевода системы (12) из состояния $\bar{x}(t_0) = col(x_{10}, x_{20}) = col(\gamma_0 - \gamma_1, \dot{\gamma}_0)$ в состояние $\bar{x}(t_1) = \bar{0}_{(2)}$ с учётом (11).

Известно [5], что оптимизация процессов управления системой (12) связана с созданием максимально возможных управляющих воздействий. Поскольку в общем случае абсолютные значения разнополярных управляющих ускорений, создаваемых комбинированной системой исполнительных органов объекта, могут не совпадать, то выбор векторов \bar{u}_+ и \bar{u}_- , обеспечивающих максимальные по абсолютной величине положительные и отрицательные управляющие ускорения, может быть осуществлён лишь в результате решения следующих задач математического программирования:

$$\bar{u}_+ = \arg \max_{\bar{u}} \bar{\mu}_\alpha^T \bar{u}; \quad \bar{u}_- = \arg \min_{\bar{u}} \bar{\mu}_\alpha^T \bar{u}$$

при условии $|\beta(t)| \leq \beta_{\max}, \bar{u} \in \Omega_u$, которое с учётом (11) можно представить в виде:

$$|\bar{\mu}_\beta \bar{u}| \leq \beta_{\max} \alpha_\beta; |u_i| \leq 1, i = \overline{1, 4}. \quad (13)$$

Введём обозначения:

$$s_0 = sign(x_{10});$$

$$U_1 = \frac{1}{2} [(1 + s_0)U_- + (1 - s_0)U_+]; \quad U_+ = |\bar{\mu}_\alpha^T \bar{u}_+|;$$

$$U_2 = \frac{1}{2} [(1 + s_0)U_+ + (1 - s_0)U_-]; \quad U_- = |\bar{\mu}_\alpha^T \bar{u}_-|,$$

соответствующие логике (U_\pm, U_\mp) t-оптимального управления первым каналом системы (12). Закон t-оптимального управления при этом может быть представлен в виде

$$\vartheta_1 = (U_2 \theta [s_\gamma \neq s_0] - U_1 \theta [s_\gamma = s_0]) s_0, \quad (14)$$

где

$$s_\gamma = \text{sign}(x_1 + 0,5x_2|x_2|/U_2);$$

$$\theta[\xi] = \begin{cases} 1, & \text{if } \xi \text{ true;} \\ 0, & \text{if } \xi \text{ false,} \end{cases}$$

а длительность t-оптимального процесса оценивается выражением [5]:

$$T_1 = U_1^{-1}x_{20}s_0 + \left[2(U_1 + U_2)|x_{10}^*|/(U_1U_2)\right]^{1/2}; \quad x_{10}^* = x_{10} + 0,5x_{20}|x_{20}|/U_1. \quad (15)$$

Закон оптимально по энергорасходу (за заданное время T) управления, имеющего, как известно [5], структуру $(U_\pm, 0, U_\mp)$, в рассматриваемом случае может быть представлен в виде:

$$\vartheta_2 = \left(U_2\theta[s_\gamma \neq s_0 \wedge s_\alpha \neq s_0] - U_1\theta[s_\gamma = s_0 \wedge s_\alpha = s_0]\right)s_0,$$

где $s_\alpha = \text{sign}(x_1 + 0,5\sigma(\cdot)x_2|x_2|/U_2); T^* = T - x_{20}s_0/U_1;$

$$\sigma(x_{10}^*, T^*, U_1, U_2) = \left(\frac{2(U_1 + U_2)|x_{10}^*|}{U_1 \left[2U_1U_2T^*(T^* - \sqrt{R})/(U_1 + U_2) - 2|x_{10}^*|\right]} - \frac{U_2}{U_1} \right) \cdot \theta[R \geq 0] + 1 \cdot \theta[R < 0];$$

$$R = (T^*)^2 - 2(U_1 + U_2)|x_{10}^*|/(U_1U_2).$$

Причём $T^* = \sum_{i=1}^3 t_i;$ $t_i, i = \overline{1,3}$ - длительности интервалов управления с $v = -U_1s_0, v = 0$

и соответственно, определяемые по формулам:

$$t_1 = U_2s_0/U_1 + U_2t_3/U_1; \quad t_2 = T^* - (U_1 + U_2)t_3/U_1; \quad t_3 = U_1(T^* - U_2s_0/U_1 - U_2t_3/U_1)/U_1$$

Однако рассматриваемые законы не могут быть применены непосредственно для управления объектом (12), поскольку не предусматривают перевод объекта в стационарное состояние по каналу угла скольжения. Для обеспечения этого приведённые законы управления должны быть видоизменены («профилированы») с учётом особенности динамики объекта управления по каналу угла скольжения. Отметим, что задачи такого рода уже решались [5], а также известны методы «профилирования», наиболее эффективными из которых являются релейное и линейное. «Профилирование» приведённых выше законов управления предполагает введение дополнительных участков управления, предназначенных для перевода осциллятора системы (12) в соответствующие стационарные положения. В [5] показано, что релейно-«профилированный» оптимальный по быстродействию закон управления должен иметь структуру $(U_\pm, 0, U_\pm, 0, U_\mp, 0, U_\mp)$, а фазовый портрет управляемого движения системы (12) при $x_{20} = 0$ будет соответствовать представленному на рис. 1, 2, где приняты обозначения:

$$\lambda_1(x_1, x_2, U_2) = x_1 + 0,5x_2|x_2|/U_2;$$

$$\lambda_2(\cdot, \tau_1) = \lambda_1(\cdot) - U_2\tau_1^2s_0; \quad \lambda_2(\cdot, T_H) = \lambda_2(\cdot) - x_2T_H; \quad \tau_1 = \pi/(3\omega);$$

$$G_1(\beta, \dot{\beta}, \omega, U_1) = \left[\dot{\beta}^2 + (\beta\omega)^2 - (V_1/\omega)^2\right] \text{sign}(\dot{\beta}); \quad \omega = \sqrt{-\alpha_\beta}; \quad T_H = \pi/\omega;$$

$$G_2(\beta, \dot{\beta}, \omega, U_2) = 0,5\dot{\beta}|\dot{\beta}|/V_2 + (1 - 0,5|\beta|\omega^2/V_2)\beta;$$

$$V_1 = 0,5[(1 + s_0)V_- + (1 - s_0)V_+]; \quad V_2 = 0,5[(1 + s_0)V_+ + (1 - s_0)V_-]; \quad V_\pm = |\bar{\mu}_\beta^T \bar{u}_\pm|.$$

Данные соотношения с использованием логико-аналитического метода [5] позволяют синтезировать логический регулятор релейно-«профилированного» управления. Однако данное

управление преимущественно может быть использовано при $U_1 = U_2$ в случае преобладания реактивных ИО, имеющих релейные статические характеристики. Длительность процесса управления при этом оценивается выражением:

$$T_p = \frac{2\pi}{3\omega} + \sqrt{4|x_{10}| / [U(\pi/3\omega)^2]}.$$

В случае преобладания аэродинамических ИО более предпочтительным является линейно-«профилированное» управление, имеющее структуру:

$$(U_{\pm}t/T_H, U_{\pm}, U_{\pm}(1-t/T_H), U_{\mp}t/T_H, U_{\mp}, U_{\mp}(1-t/T_C)) ,$$

где $T_H = k\pi/\omega, k = 2, 4, \dots$ - длительность интервалов линейного нагружения осциллятора;
 - длительность интервала линейного «сброса» нагружающего воздействия.

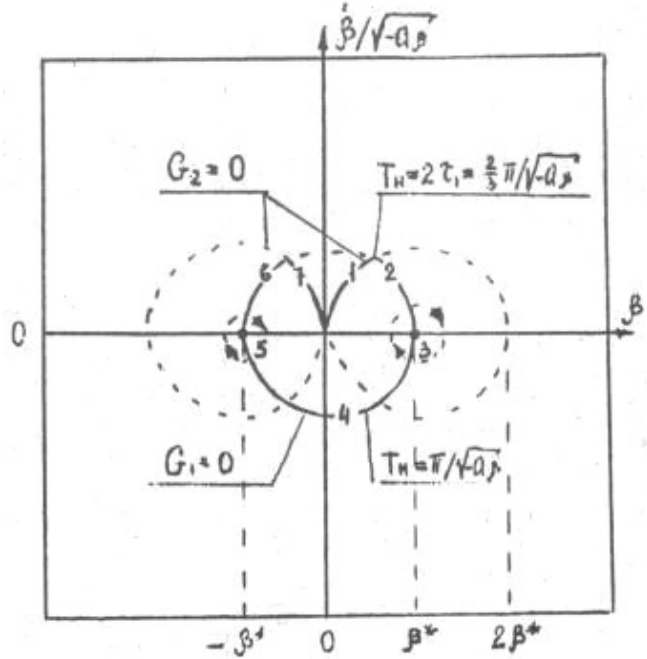


Рис. 1

Фазовый портрет движения системы (12) представлен на рис. 3, 4, где приняты обозначен

$$\lambda_1(x_1, x_2, U_2) = x_1 + \frac{2}{3}x_2|x_2|/U_2; \lambda_2(\cdot, T_C) = x_1 + 0,5x_2|x_2|/U_2 - \frac{U_2}{24}T_C s_0;$$

$$\lambda_3(\cdot, T_H, T_C) = x_1 + 0,5x_2|x_2|/U_2 + 0,5x_2T_H - \frac{1}{24}U_2(T_C^2 - T_H^2)s_0;$$

$$\lambda_4(\cdot, T_H, T_C) = x_1 + 0,5x_2|x_2|/U_2 + 2x_2T_H - \frac{1}{24}U_2(T_C^2 + 16T_H^2)s_0.$$

Длительность процесса линейно-«профилирс

$$T_L = 3T_H + T_C + t_1 + t_2 = (U_2x_{20}s_0 + \sqrt{Q}) / (U_1U_2) + 0,5(T_H + T_C),$$

где

$$t_1 = [(U_1 + U_2)x_{20}s_0 + \sqrt{Q} - U_1(U_1 + 2U_2)T_H] / [U_1(U_1 + U_2)];$$

$$t_2 = [U_2(t_1 + T_H) - x_{20}s_0] / [U_2 - 0,5(T_H + T_C)];$$

$$Q = U_1U_2 \left[(U_1 + U_2) [2|x_{10}^*| + T_Hx_{20}s_0] + \frac{1}{6} [U_2(11U_1 + 5U_2)T_H^2 - (U_1 + U_2)(2T_H + 3T_C)T] \right].$$

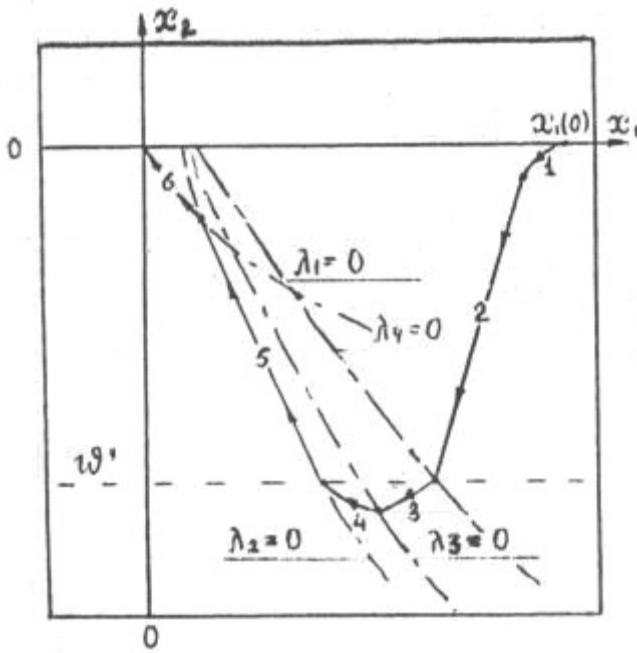


Рис. 4

Сравнение релейно-«профилированного» и линейно-«профилированного» управлений по быстродействию при $x_{20} = 0$ и $U_1 = U_2 = U$ показывает, что

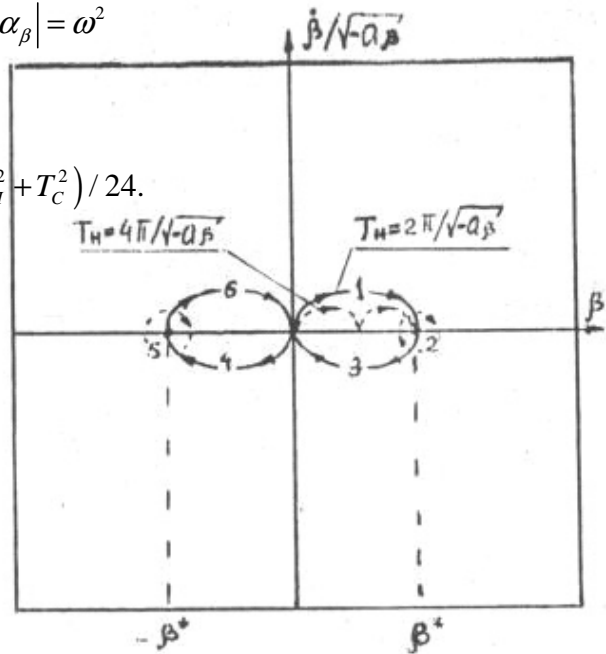
$$T_p < T_L = 2\pi / \omega + \left[4|x_{10}| / U + (2\pi / \omega)^2 \right]^{1/2},$$

а $\lim_{\omega \rightarrow \infty} T_p = T_1$, где T_1 определяется соотношением (15). Поэтому релейно-«профилированное» управление [6] следует рекомендовать при маневре, где $|\alpha_\beta| = \omega^2$ мал и эффективность аэродинамически профилированное» управление, допускающее достаточно рекомендовать при сравнительно более высокой

$$|x_{10}| > U_1 (16T_H^2 + T_C^2) / 24.$$

Литер:

1. Шкадов Л.М., Буханов Р.С., Илларионов В.Ф., П. движения летательного аппарата в атмосфере. - М.: Ма
2. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р. процессов. - М.: Наука, 1966
3. Летов А.М. Динамика полёта и управления. - М.: I
4. Мануйлов Ю.С., Новиков Е.А. Преобразование и систем. - СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2011. - 344 с
5. Мануйлов Ю.С. Метод логико-аналитического си СССР, 1986. - 186 с.
6. Мануйлов Ю.С., Альтшулер А.Ш. Система управления свидетельство № 260188, 1987.
7. Мануйлов Ю.С., Черныш В.В., Артемьев В.А., Альтшулер А.Ш. Система адаптивного управления по скоростному углу крена. Авторское свидетельство № 311716, 1990.



М. Б. НОВИКОВ, математик

К ВОПРОСУ О ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕ ПРОБЛЕМЫ ГОЛЬДБАХА

Аннотация. В работе устанавливается факт недоказуемости проблемы Гольдбаха, что соответствует классической второй теореме Гёделя о неполноте.

Ключевые слова: проблема Гольдбаха, вторая теорема Гёделя о неполноте, полином, производная от полинома, теорема Виноградова-Гольдбаха, теорема Ван дер Корпута, гипотеза Римана.

Введение

Относительно успешные попытки доказательства теорем Эйлера и Гольдбаха [1] были приняты Л.Г. Шнирельманом (метод числовых последовательностей) [2] и И.М. Виноградовым (метод тригонометрических сумм) [3]. Многие исследователи для решения указанных проблем применяли также метод решета [4]. Определённый итог данного применения подвёл К. Хооли [4]: «Современный метод решета разрабатывался в надежде на то, что он сможет привести к доказательству гипотезы Гольдбаха и других подобных гипотез в теории чисел. Хотя, как теперь считают, эта надежда, по-видимому, полностью не осуществится, сам метод оказался полезным при изучении проблем, в которых простые числа заменяются числами с ограниченным количеством простых делителей».

Объективная трудность получения положительного решения проблемы Гольдбаха наводит на мысль о возможной принципиальной неразрешимости этой проблемы, которая может соответствовать классической второй теореме Гёделя о неполноте [5, с.143]: «Каждому w -непротиворечивому рекурсивному классу k формул соответствует такой рекурсивный класс z знаков r , что ни $\text{Gen}r$, ни $\text{Neg}(\text{Gen}r)$ не принадлежит $\text{Flg}(k)$, где n – свободная переменная класса g ». Заметим, что 8-я проблема Гильберта, посвящённая гипотезе Римана о нулях дзета-функции, включает и вопрос о положительном решении проблемы Гольдбаха [6]. В настоящей статье устанавливается факт недоказуемости проблемы Гольдбаха. Если будет обнаружена связь между положительным решением гипотезы Римана и положительным решением проблемы Гольдбаха, то ввиду недоказуемости последней гипотеза Римана тоже будет недоказуемой.

Проблема Гольдбаха

Сформулируем проблему Гольдбаха (бинарную, или сильную проблему Гольдбаха, или проблему Эйлера) в виде теоремы [6].

ТЕОРЕМА. Для любого натурального числа $n \geq 4$ существуют простые числа p и q такие, что

$$2n = p + q. \quad (1)$$

Утверждение 1. Проблема Гольдбаха недоказуема.

Доказательство. Рассмотрим полином $f(x) = \prod_{i=1}^t (x - x_i)$ над полем рациональных чисел, где x_i – натуральные числа, $i = 1, \dots, t$, а x может быть действительным или даже комплексным числом.

Из множества значений $f(x)$ выбираем некоторое любое целое значение данного полинома, которое мы обозначим через a :

$$f(x) = x^t - r_1 x^{t-1} + \dots \pm r_{t-1} x \pm x_1 \dots x_t = a, \quad (2)$$

где r_i – натуральные числа, $i = 1, \dots, t-1$, а x – то значение аргумента, при котором $f(x) = a$.

Возможны два случая:

а) $x = 0$ является одним из целых корней уравнения (2).

б) $x \neq 0$ является ни одним целым корнем уравнения (2).

Случай б) мы не рассматриваем, так как нас интересуют только целочисленные корни полинома.

Рассмотрим случай а). Поскольку определение производной полинома не зависит от понятий непрерывности и предела и верно для полиномов над произвольным числовым полем [13] то, взяв первую производную от $f(x)$, получим:

$$f'(x) = tx^{t-1} - r_1(t-1)x^{t-2} + \dots \pm r_{t-1} = b,$$

откуда следует, что при целых x (которые нас интересуют) должно быть:

$$x \mid \pm r_{t-1} - b.$$

В частности, в критических точках $b = 0$, и тогда должно быть: $x \mid \pm r_{t-1}$ (3)

Рассмотрим теперь значение а полинома $f[x]$ при $x = 2n$, $n \geq 4$, n – натуральное число, $x_i = p_i$, $i = 1, \dots, t$ – простые числа, взятые в порядке возрастания, начиная с $p_1 = 2$, $p_t \leq n$ – наибольшее из них простое число, так что $p_{t+1} > n$. Тогда имеем:

$$f(x) = x^t - r_1 x^{t-1} + \dots \pm r_{t-1} x \pm p_1 \dots p_t = a \quad (4)$$

и при $x = 2n$ мы, согласно (3), получаем, что должно быть: $2n \setminus \pm r_{t-1}$, что невозможно, так как r_{t-1} есть, согласно формулам Виета, симметрический коэффициент, т.е. $2n \times r_{t-1}$. (5)

Предположим теперь, что число a в уравнении (4) есть произведение простых чисел, меньших или равных p_t и их степеней: $a = p_1^{c_1} \dots p_s^{c_s}$, c_1, \dots, c_s – натуральные числа. (6)

Тогда из равенства: $\prod_{i=1}^t (2n - p_i) = p_1^{c_1} \dots p_s^{c_s}$ следует, что все сомножители $2n - p_i$ делятся на простые числа, меньшие n . Из этого следует отрицательное решение проблемы Гольдбаха, а именно, при каждом $n \geq 4$ не существует $q > n$ при котором выполняется (1) при $p < n$ в случае, если a имеет вид (6).

Теперь предположим, что число a всегда включает в качестве сомножителя простое число $q > p$, т.е.

$$a = p_{b_1}^{d_1} \dots p_{b_l}^{d_l} q, \quad (7)$$

где p_{b_i} – простые числа, меньшие или равные p_i , $i = 1, \dots, l$, d_i – натуральные числа.

Тогда из равенства $\prod_{i=1}^t (2n - p_i) = p_{b_1}^{d_1} \dots p_{b_l}^{d_l} q$ следует, что существует такое p_i , что $2n - p_i = q$, т.е. $2n = p_i + q$.

Из этого следует положительное решение проблемы Гольдбаха, а именно, при каждом $n \geq 4$ существует такое $q > n$, что выполняется (1) при $p < n$, в случае, если a имеет вид (7).

Но, в силу (5), ни отрицательное, ни положительное решение проблемы Гольдбаха невозможны. Иными словами, и равенство (1) и его отрицание равно невозможны, т.е. проблема Гольдбаха недоказуема.

СЛЕДСТВИЯ

Утверждение 2. Теорема Виноградова-Гольдбаха

$2n + 1 = p + q + r$, где n – натуральное число, большее или равное 4, p, q, r – простые числа, недоказуема (несмотря на то, что равенство (8) имеет бесконечно много решений в простых числах p, q, r , хотя бы одно из которых больше числа $\approx 10^{43000}$ [8]).

Доказательство. Пусть $2n + 1 = p + q + r$. Тогда $2n + 1 - r = p + q$ и так как простые p, q, r все должны быть нечетными, то имеем: $2m = p + q$, m – натуральное число, т.е. получаем проблему Гольдбаха, которая недоказуема.

Утверждение 3. Теорема Ван дер Корпута [9]

$$2n - 1 = p + q - r, \text{ где } n \text{ – натуральное число, } n \geq 4 \quad (9)$$

p, q, r – простые числа, недоказуема (несмотря на то, что равенство (9) имеет бесконечно много решений в простых числах p, q, r).

Утверждение 4. Теорема $2n = p + b$, (10)

где n – натуральное число, большее или равное 4, p – простое число, b – составное число (в частности, теорема Чена [4]: $2n = p + qr$; p, q, r – простые числа), недоказуема.

Доказательство. Эта теорема есть частный случай (3) утверждения 1, поэтому теорема (10) недоказуема.

Комментарий 1. Таким образом, равенства $2n = p + q$ и $2n = p + b$ для n большего или равного 4 оба недоказуемы в общем случае и, следовательно, возможны, т. е. чередуются (с неравной плотностью) в неизвестном порядке, выявить который принципиально невозможно.

Утверждение 5. В 1997 г. DeShouillers, Effinger, TeRiele и Зиновьев показали, что обобщённая гипотеза Римана [6] влечёт справедливость слабой проблемы Гольдбаха [10]. Они доказали это для чисел, превышающих $\sim 10^{20}$, а справедливость утверждения для меньших чисел можно проверить с помощью компьютера. В случае верности данного утверждения мы можем сформулировать его в виде: Обобщённая гипотеза Римана недоказуема.

Доказательство. Слабая проблема Гольдбаха недоказуема, как установлено выше. Из этого следует недоказуемость обобщённой гипотезы Римана.

Замечание 1. О недоказуемости гипотезы Римана свидетельствует косвенно также высказывание Р. Вона [11]: «Харди и Литтлвуд (1923) обнаружили, что при условии справедливости расширенной гипотезы Римана их метод может быть с успехом применён к проблемам Эйлера и Гольдбаха. При этом они смогли показать, что любое достаточно большое нечётное число представимо в виде суммы трёх простых, а почти все чётные числа – в виде суммы двух простых. В 1937 г. И. М. Виноградов сумел устранить зависимость от расширенной гипотезы Римана, дав тем самым безусловное доказательство утверждений Харди и Литтлвуда». Подчеркнём ещё раз, что эти результаты справедливы при условии доказуемости гипотезы Римана. Общий вывод: поскольку гипотеза Гольдбаха о чётных числах недоказуема, то, на основании предыдущего, недоказуема и гипотеза Римана.

Замечание 2. Отметим, что в книге [12, с. 535] указывается на возможную недоказуемость некоторых утверждений в теории натуральных чисел, связанную с теоремой Гёделя.

Комментарий 2. Полученные результаты можно объяснить тем, что при очень больших натуральных числах, скажем, больших 10^{43000} можно использовать асимптотические оценки для получения результатов, а для очень широкой области конечных значений натуральных чисел, меньших определённого очень большого натурального числа, невозможно применить ни асимптотику, ни компьютерный перебор, т. е. нельзя ни доказать, ни опровергнуть данные теоремы.

Замечание 3. Поскольку равенство $2n = p + q$ есть диофантово уравнение, то из недоказуемости данного равенства следует отрицательное решение пятой проблемы Гильберта (о распознавании возможности решения конкретных диофантовых уравнений) для натуральных чисел.

Литература

1. Бухштаб А. А. Теория чисел. М.: Просвещение, 1966.
2. Шнирельман Л. Г. Простые числа. М.-Л.: Гостехиздат, 1940.
3. Виноградов И. М. Метод тригонометрических сумм в теории чисел. М. Наука, 1980.
4. Хооли К. Применение методов решета в теории чисел. М.: Наука, 1987.
5. Сингх С. Великая теорема Ферма. М.: МЦНМО, 2000.
6. http://ru.wikipedia.org/wiki/Гипотеза_Римана. Проблема Гольдбаха.
7. Серпинский В. 250 задач по элементарной теории чисел. М. - Ижевск: RC Dynamics, 2007.
8. Босс В. Теория чисел. М.: Либроком. 2010.
9. Серпинский В. Что мы знаем и чего не знаем о простых числах. М.-Л.: ГИФМЛ, 1963. 3-primes theorem under the Riemann hypothesis // Electronic Research Announcements Of the AMS. 1997. Vol. 3. P. 99-104.
11. Вон Р. Метод Харди-Литтлвуда. М.: Мир, 1985.
12. Успенский В. А. Апология математики. СПб.: Амфора, 2009.
13. Кутищев Г. П. Решение алгебраических уравнений произвольных степеней. М., 2007. С. 72-73.

Харьков, Украина

В. Ф. Греков, кандидат технических наук, доцент
А. А. Пьянков, кандидат технических наук, доцент

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОПРИВОДА В НАЗЕМНОМ ПУСКОВОМ УСТРОЙСТВЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Приведен подход к выбору конструкции и теоретическому определению параметров катапульты с приводом в виде многоступенчатого пневмоцилиндра.

Для запуска летательных аппаратов применяются катапульты с приводами, конструктивно-компоновочные схемы которых содержат различные источники энергии, среди которых присутствуют приводы с инерционными накопителями энергии, одноступенчатые пневмоцилиндры с обратными полиспастами или ножничными механизмами, а так же многоступенчатые пневматические цилиндры.

Статья содержит некоторые результаты исследований пусковых устройств беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состав и устройство которых определяется применением многоступенчатого пневмоцилиндра.

Цель исследований: поиск конструкции пневмоцилиндра, эффективно использующего энергию сжатого газа и создание математического аппарата, позволяющего оценивать параметры катапульты с пневмоприводом, обеспечивающей необходимую скорость взлета БПЛА при ограничениях на продольные перегрузки.

Анализ литературы [4-7] показывает, что решение задач в данной постановке отсутствует.

Целью статьи является изложение существа постановки и решения задач исследований.

Основная часть. Назначение катапульты и требования к ней.

Стартовая катапульта БПЛА

- Служит для принудительного разгона БПЛА на взлете до скорости отрыва при допустимой максимальной перегрузке за счет энергии устройств, не принадлежащих БПЛА.
- Катапульта имеет направляющую, по которой разгоняется БПЛА за счет источника энергии, установленного на катапульте.

Требования к катапульте:

- малые масса и габариты в транспортном положении,
- простота конструкции, удобство обслуживания и боевого применения,
- достаточная прочность и жесткость,
- быстрое развертывание в стартовое положение и свертывание в походное,
- обеспечение динамической устойчивости при пуске БПЛА,
- автономность при пуске БПЛА,
- размещение на транспортном средстве или на прицепе необходимой проходимости и маневренности,
- ремонтпригодность.

Катапульта с многоступенчатым пневмоцилиндром. В приводе с многоступенчатым пневмоцилиндром его шток соединен с кареткой и перемещает ее с БПЛА вдоль направляющей.

Время выдвигания штока пневмоцилиндра в процессе запуска БПЛА составляет доли секунды. Осуществляя данный процесс, необходимо эффективно использовать энергию сжатого газа за счет ликвидации его дросселирования при подаче в пневмоцилиндр. Предлагается достичь этого, накапливая сжатый газ в самом пневмоцилиндре. Реализовать данный подход возможно путем увеличения объема ступени, используя его в качестве ресивера.

Рассмотрим ККС катапульты, выполненной на базе прицепа. Схема такой катапульты приведена на рис. 1. Применение прицепной схемы может быть оправдано тем, что сами БЛА транспортируются и собираются на автомобиле, прицепом которого и является катапульта.

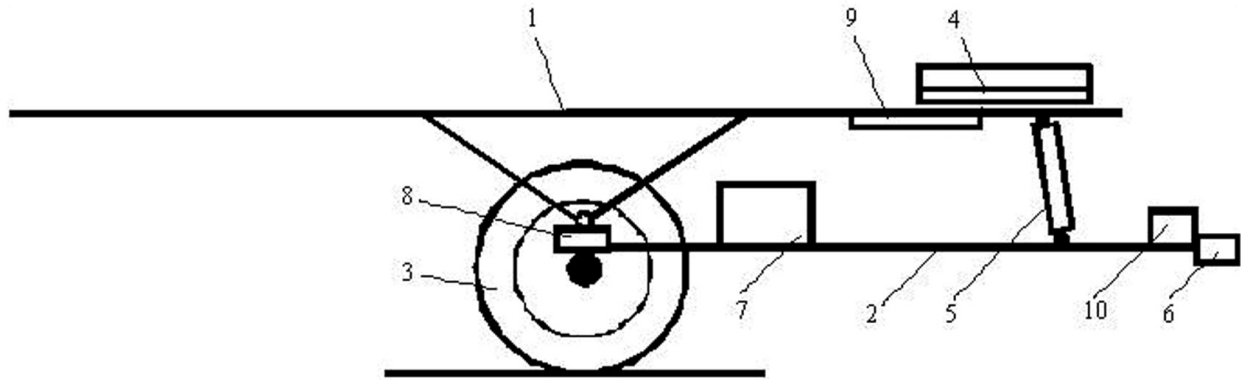


Рис. 1. Катапульта, размещенная на прицепе

1 - направляющая катапульти, 2 - рама прицепа, 3 - колесный ход, 4 - каретка для БЛА, 5 - механизм подъема, 6 - механизм сцепки, 7 - аппаратура, энергоблок, 8 - подвеска, 9 - привод каретки, 10 - механизм опирания.

Основным узлом, обеспечивающим разгон БЛА, является направляющая, смонтированная на раме прицепа. Схема направляющей приведена на рис. 2.

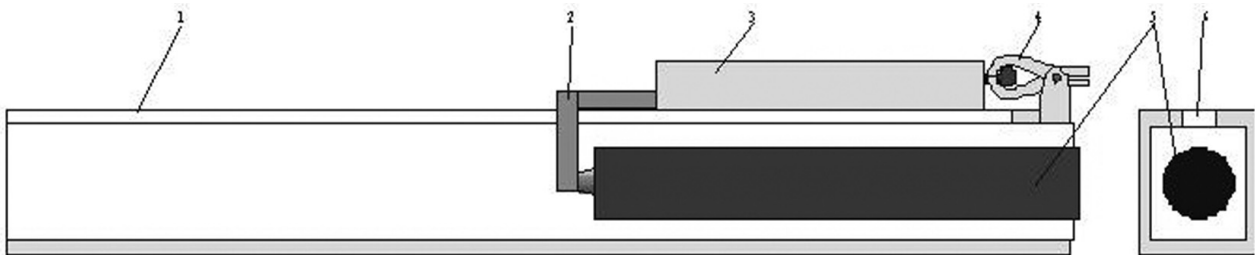
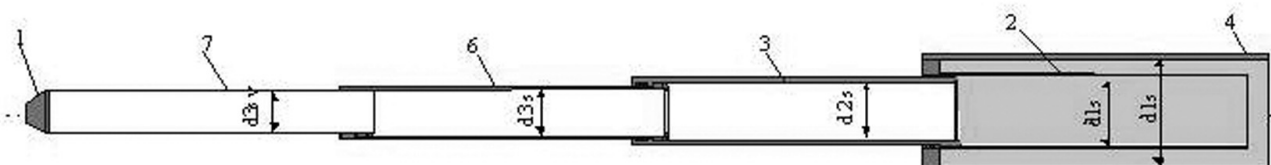


Рис. 2. Схема направляющей

1 - направляющая, 2 - узел крепления пневмоцилиндра к каретке, 3 - каретка, 4 - замок фиксации каретки, 5 - пневмоцилиндр, 6 - паз направляющей.

Каретка 3 с закрепленным на ней БЛА, имеет возможность перемещаться по направляющей 1 с помощью многоступенчатого пневмоцилиндра 5. Шток последней ступени пневмоцилиндра 5 соединен с кареткой при помощи узла крепления 2. Каретка 3 в исходном положении удерживается от перемещения с помощью замка фиксации 4, рассчитанного на определенное усилие. При подаче сжатого воздуха в пневмоцилиндр от компрессора или из ресивера (баллона) со сжатым воздухом давление в нем начинает расти. По мере повышения давления в пневмоцилиндре растет и сила, действующая на каретку. В момент достижения требуемого усилия, величина которого, как правило, определяется максимальной допустимой перегрузкой на БЛА, замок фиксации отпускает каретку. Шток пневмоцилиндра разгоняет каретку с БЛА, обеспечивая ему заданную стартовую скорость на определенном пути разгона. Таким образом, аккумулированная энергия сжатого газа должна обеспечить разгон БЛА на направляющей катапульти. Так как время разгона каретки с БЛА на направляющей составляет доли секунды, то использование компрессора или ресивера без предварительного аккумулирования энергии в пневмоцилиндре требует существенных мощностей компрессора.

Схема трехступенчатого пневмоцилиндра представлена на рис. 3.



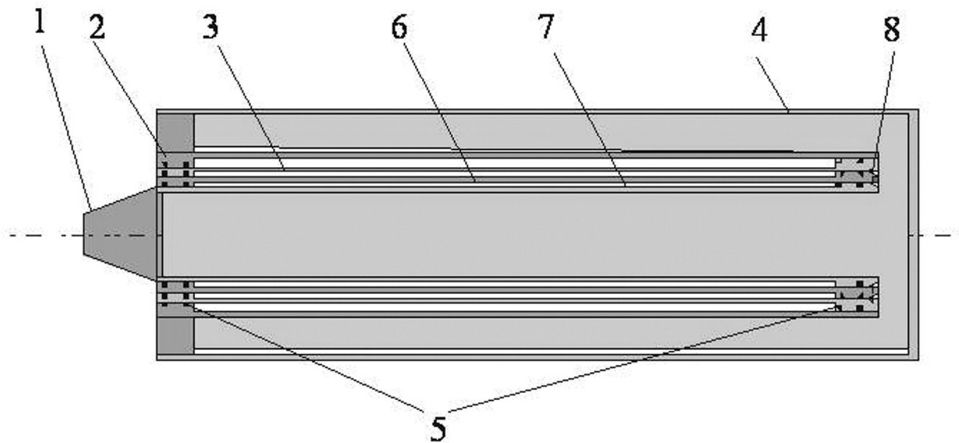


Рис. 3. Схема трехступенчатого пневоцилиндра с ресивером

1 - узел крепления к каретке, 2 - корпус пневоцилиндра, 3 - цилиндр первой ступени, 4 - ресивер, 5 - узлы уплотнения, 6 - цилиндр второй ступени, 7 - цилиндр третьей ступени, 8 - стопорное кольцо

При подаче воздуха в пневоцилиндр и неподвижном штоке давление в полости цилиндра и ресивере начинает расти. В момент срабатывания узла крепления каретки под воздействием давления воздуха начинается движение первая ступень пневоцилиндра в составе цилиндров 3, 6 и 7. Площадь выдвигающейся системы цилиндров максимальна. После выдвигания цилиндров первой ступени цилиндр 3 останавливается на упорах корпуса. Продолжают движение цилиндры 6 и 7. Площадь движущихся цилиндров второй ступени цилиндров 6 и 7 меньше площади цилиндров первой ступени. Давление газа в пневоцилиндре уменьшается. После остановки цилиндра 6 продолжает движение только цилиндр 7 (третья ступень) при уменьшении давления воздуха. Площадь цилиндра третьей ступени минимальна. Третья ступень после исчерпания возможности хода останавливается на упорах цилиндра 6. Разгон каретки с БЛА закончен. Так как при движении цилиндров в межцилиндровом пространстве сжимается воздух, то перед остановкой цилиндров ступеней из-за дросселирования его остановка цилиндров ступеней будет безударной.

Возвращение каретки в исходное положение может быть осуществлено путем подачи сжатого воздуха в межцилиндровое пространство пневоцилиндра и при дросселировании воздуха из полости пневоцилиндра.

Расчет катапульты с многоступенчатым пневоцилиндром.

Допущения:

- процесс расширения воздуха при выдвигания ступеней пневоцилиндра адиабатический,
- подача воздуха от компрессора (ресивера) в процессе движения ступеней пневоцилиндра отсутствует,
- ступени имеют одинаковый ход.

Расчет параметров пневоцилиндра.

Исходные данные:

- масса БЛА и каретки приведенная к штоку пневоцилиндра $m = 50$ кг;
- длина хода каретки $S = 3$ м;
- количество ступеней $n_s = 3$;
- внутренний диаметр корпуса ступени и $d_{ks} = 0,1$ м;
- внутренний диаметр корпуса цилиндра и диаметр цилиндра 1 ступени $d_{ks} = 0,1$ м;
- толщина стенки выдвигаемых цилиндров $\delta_1 = 0,004$ м;
- зазора между корпусом и стенками выдвигаемых цилиндров $\delta = 0,004$ м.
- длина выступа для уплотнений $\delta_2 = 0,05$ м;
- заданная начальная перегрузка массы $n_{max} = 5$;
- ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с²;
- коэффициент, учитывающий трение в пневоцилиндре $\eta_1 = 0,8$;
- угол подъема направляющей, $\alpha = \pi/12$ рад;
- коэффициент трения каретки по направляющей $f_t = 0,01$;
- диаметр цилиндра ресивера, $d_r = 0,142$ м.

Расчет геометрических параметров трехступенчатого пневмоцилиндра.

Потребный ход ступени x_s

$$x_s = \frac{S}{n}, x_s = 1\text{м.} \quad (1)$$

Площадь корпуса и площадь цилиндра первой ступени

$$f_{1s} = \frac{\pi \cdot d_{ks}^2}{4}, f_{1s} = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (2)$$

Внутренний диаметр цилиндра второй ступени

$$d_{2s} = d_{ks} - 2 \cdot (\delta + \delta_1), d_{2s} = 0,084\text{м.} \quad (3)$$

Площадь цилиндра второй ступени

$$(4)$$

Внутренний диаметр цилиндра третьей ступени

$$d_{3s} = d_{2s} - 2 \cdot (\delta + \delta_1), d_{3s} = 0,068\text{м.} \quad (5)$$

Площадь цилиндра третьей ступени

$$(6)$$

Внутренний диаметр штока третьей ступени

$$d_{3sv} = d_{3s} - 2 \cdot (\delta + \delta_1), d_{3sv} = 0,052\text{м.} \quad (7)$$

Площадь полости штока цилиндра третьей ступени

$$f_{3sv} = \frac{\pi \cdot d_{3sv}^2}{4}, f_{3sv} = 0,3632 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (8)$$

Длина цилиндров ступеней

$$l_s = x_s + 2 \cdot \delta_2, l_s = 1,1\text{м.} \quad (9)$$

Длина цилиндра ресивера

$$(10)$$

Площадь сечения ресивера

$$(11)$$

Начальный объем воздушного пространства в пневмоцилиндре

$$W_{3s0} = f_r \cdot l_r + f_{3s} \cdot l_s - f_k \cdot l_s, W_{3s0} = 0,017 \text{ м}^3. \quad (12)$$

Объем воздушного пространства в пневмоцилиндре после его выдвижения

$$W_{3sk} = f_{1s} \cdot x_s + f_{2s} \cdot x_s + f_{3s} \cdot x_s + W_{3s0}, W_{3sk} = 0,034 \text{ м}^3. \quad (13)$$

Определим изменение площади пневмоцилиндра в процессе его выдвижения. Так как изменение площади пневмоцилиндра происходит ступенчато при переходе со ступени на ступень, то и описание изменения площади запишем в виде нелинейных функций изменения площади ступеней

$$\begin{aligned} f_1(x) &= if(0 \leq x \leq x_s, f_{1s}, 0), f_1(0) = 7,854 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \\ f_2(x) &= if(x_s < x \leq 2x_s, f_{2s}, 0), f_2(2 \cdot x_s) = 5,542 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2, \\ f_3(x) &= if(2 \cdot x_s < x \leq 3x_s, f_{3s}, 0), f_1(3 \cdot x_s) = 3,632 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2. \end{aligned} \quad (14)$$

Изменение площади поперечного сечения для пневмоцилиндра в целом

$$f_c(x) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x). \quad (15)$$

Изменение площади поперечного сечения трехступенчатого пневмоцилиндра приведено на рис. 4.

Рис. 4. Изменение площади поперечного сечения трехступенчатого пневмоцилиндра f_c (m^2) от его хода x (m).

Изменение объема воздуха в пневмоцилиндре при выдвигении его ступеней может быть описано нелинейной функцией изменения объема.

Увеличение объема пневмоцилиндра при выдвигении первой ступени описывается уравнением (16):

$$w_1(x) = if(0 \leq x \leq x_s, f_{ks} \cdot x, f_{ks} \cdot x_s). \quad (16)$$

Увеличение объема пневмоцилиндра при выдвигении второй ступени:

$$(17)$$

Увеличение объема пневмоцилиндра при выдвигении третьей ступени:

$$w_{21}(x) = if(2x_s < x \leq 3 \cdot x_s, f_{2s} \cdot x_s, (w_1(x_s) + (w_3(x) - w_1(x_s)) \cdot x_s), 0). \quad (18)$$

Увеличение объема пневмоцилиндра при выдвигении последовательно всех трех ступеней:

$$f_c(x) \quad (19)$$

Увеличение объема пневмоцилиндра при выдвигении последовательно всех трех ступеней приведено на рис. 5.

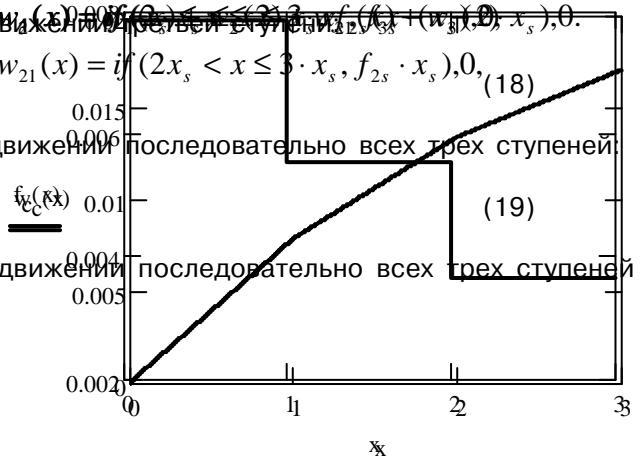


Рис. 5. Увеличение объема трехступенчатого пневмоцилиндра w_c (m^3) от его хода x (m).

Изменение полного объема трехступенчатого пневмоцилиндра W_c (м²) от его хода x (м).

$$W_c(x) = w_c(x) + W_{3s0} \quad (20)$$

Рис. 6. Изменение полного объема трехступенчатого пневмоцилиндра W_c (м²) от его хода x (м).

Расчет потребного давления воздуха в трехступенчатом пневмоцилиндре. Определим потребное начальное давление в пневмоцилиндре, обеспечивающее максимальную перегрузку:

$$p_n = \frac{m \cdot n_{\max} \cdot g + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)}{f_{1s} \cdot \eta_1}, \quad p_n = 4,13 \cdot 10^5 \text{ Па.} \quad (21)$$

Конечное давление в пневмоцилиндре после его выдвигения при адиабатическом расширении воздуха:

При принятых давлениях начальная перегрузка $p_{3k} = p_{ni} \cdot \left(\frac{W_{3s0} \cdot W_{3k0}^k}{W_{3sk}^k(x)} \right)^{\frac{1}{n_n}} = 1,575 \cdot 10^5 \text{ Па.}$, $n_n = 0,66$

$$n_n = \frac{f_{1s} \cdot \eta_1 \cdot p_n - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)}{m \cdot g}, \quad n_n = 5 \quad (23)$$

а конечная:

$$W_c(x) \quad (24)$$

Изменение давления в пневмоцилиндре при адиабатическом расширении воздуха определяется по формуле (25) и приведено на рис. 7.

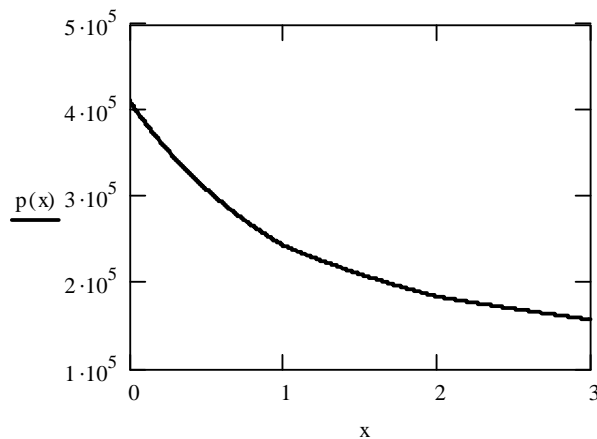
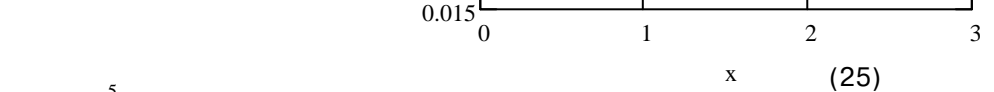


Рис. 7. Изменение давления $p(x)$ Па в пневмоцилиндре от его хода x в метрах при адиабатическом расширении воздуха.

В трехступенчатом пневмоцилиндре по мере его выдвижения падает давление и уменьшается площадь ступеней, что приводит к уменьшению перегрузки каретки с БЛА по мере выдвижения пневмоцилиндра. Поэтому важной становится задача определения конечной скорости каретки с БЛА.

Оценка скорости схода с катапульты. Запишем дифференциальное уравнение движения каретки под действием трехступенчатого пневмоцилиндра:

$$m \cdot \frac{d^2}{dt^2} x = p(x) \cdot f_c(x) - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha), \quad (26)$$

Где m – масса, подвижных элементов катапульты, приведенная к пневмоцилиндру,

x – путь каретки,

$p(x) \cdot f_c(x)$ – толкающая сила пневмоцилиндра,

$m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$ – сила свеса,

$f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha)$ – сила трения каретки о направляющую,

$p(x)$ – изменение давления в пневмоцилиндре по пути его выдвижения,

$f_c(x)$ – изменение площади ступеней пневмоцилиндра по пути его выдвижения,

α – угол подъема направляющей,

f_t – коэффициент трения каретки по направляющей.

Изменения давления в пневмоцилиндре при разгоне катапульты:

$$p(x) = p_n \cdot \frac{W_{3s0}^k}{(W_{3s0} + w_c(x))^k} \quad (27)$$

Перепишем уравнения (26, 27) с учетом того, что

$$\frac{dx}{dt} = V, \quad (27)$$

получим:

$$m \cdot \frac{d}{dt} V = p_n \cdot \frac{W_{3s0}^k}{(W_{3s0} + w_c(x))^k} \cdot f_c(x) - m \cdot g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha). \quad (28)$$

Разделив обе части уравнения на m и заменив dt из (27), получим:

$$V \cdot \frac{d}{dx} V = \frac{p_n \cdot f_c(x)}{m} \cdot \frac{W_{3s0}^k}{(W_{3s0} + w_c(x))^k} - g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha). \quad (29)$$

Преобразуем уравнение (29) к виду:

$$V \cdot \frac{d}{dx} V = \frac{p_n}{m} \cdot \frac{f_c(x)}{\left(1 + \frac{w_c(x)}{W_{3s0}}\right)^k} - g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha). \quad (30)$$

Нелинейный член уравнения (30) обозначим через $A(x)$:

$$A(x) = \frac{f_c(x)}{\left(1 + \frac{w_c(x)}{W_{3s0}}\right)^k}. \quad (31)$$

Зависимость $A(x)$ приведена на рис. 8.

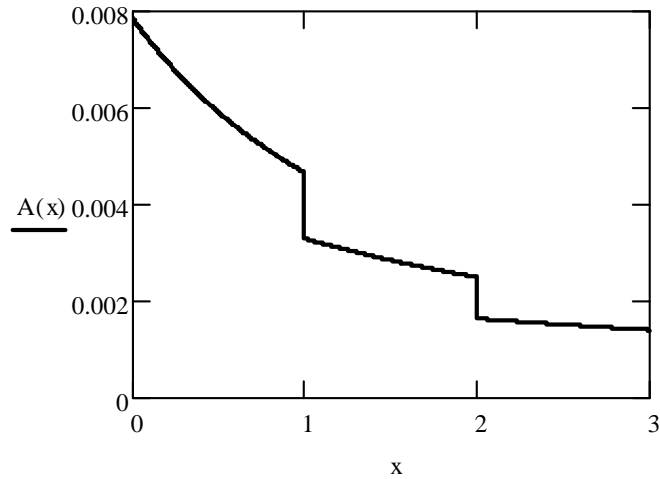


Рис. 8. Изменение функции $A(x)$ при изменении хода пневмоцилиндра x в метрах.

Линеаризуем зависимость $A(x)$ квадратным трехчленом $A_1(x)$:

$$A_1(x) = a_1 - a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2, \quad (32)$$

при $a_1 = 0,00781, a_2 = 0,004, a_3 = 0,0006$.

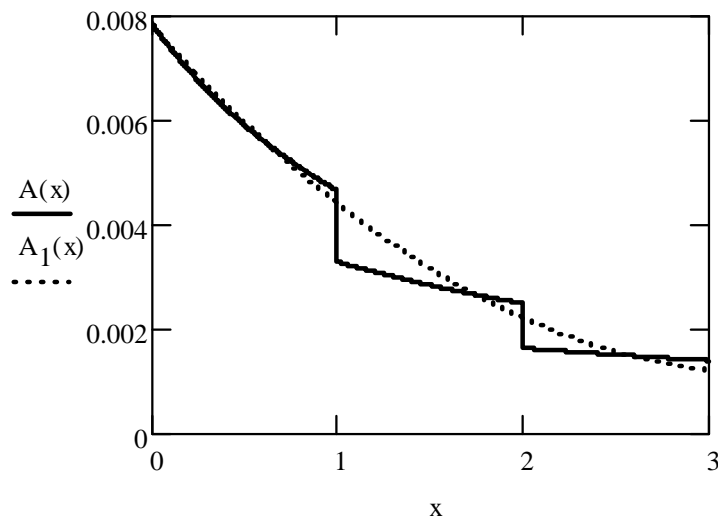


Рис. 9. Изменение функции $A(x)$ (—) и функции $A_1(x)$ (....) при изменении хода пневмоцилиндра x в метрах.

Действительная функции $A(x)$ и линеаризующая функции $A_1(x)$ близки.

С учетом линеаризованной функции $A_1(x)$ уравнение (30) переписывается в виде:

$$V \cdot \frac{d}{dx} V = \frac{p_n}{m} \cdot (a_1 - a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2) - g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha). \quad (33)$$

Уравнение (33) неоднородное с разделяющимися переменными. Перепишем его в виде:

$$V \cdot dV = \left[\frac{p_n}{m} \cdot (a_1 - a_2 \cdot x + a_3 \cdot x^2) - g \cdot \sin(\alpha) - f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha) \right] dx. \quad (34)$$

Решение уравнения (34) представим в виде:

$$\frac{V^2}{2} = \frac{p_n}{m} \cdot \left(a_1 \cdot x - \frac{a_2 \cdot x^2}{2} + \frac{a_3 \cdot x^3}{3} \right) - g \cdot \sin(\alpha) \cdot x - f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot x + C. \quad (35)$$

Постоянную C определим из начального условия при $x=0$ $V=0$. Тогда $C=0$.
Из уравнения (35) найдем скорость движения каретки в зависимости от пройденного пути:

$$V = \left[\frac{2p_n}{m} \cdot \left(a_1 \cdot x - \frac{a_2 \cdot x^2}{2} + \frac{a_3 \cdot x^3}{3} \right) - 2g \cdot \sin(\alpha) \cdot x - 2f_t \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot x \right]^{0,5} \quad (36)$$

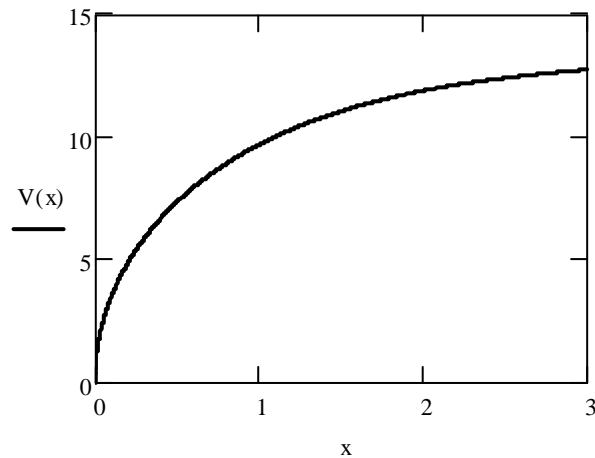


Рис. 9. Изменение скорости движения каретки $V(x)$ при движении по направляющей.

Скорость движения составляет при прохождении по направляющей
одного метра – $V(1) = 9,675$,
двух метров – $V(2) = 11,88$,
трех метров – $V(3) = 12,72$.

Скорость движения каретки по направляющей сильно зависит от начального давления воздуха. В свою очередь начальное давление определяется допустимой максимальной перегрузкой. В процессе движения каретки происходит расширение воздуха и снижение давления в пневмоцилиндре. Кроме того, по мере выдвигания ступеней площадь их уменьшается, что приводит к уменьшению толкающей силы. Все это определяет уменьшение приращение скорости каретки по мере ее движения по направляющей, и, следовательно, длина направляющей должна выбираться для каждого расчетного случая.

Схема управления пневмоцилиндром представлена на рис. 10.

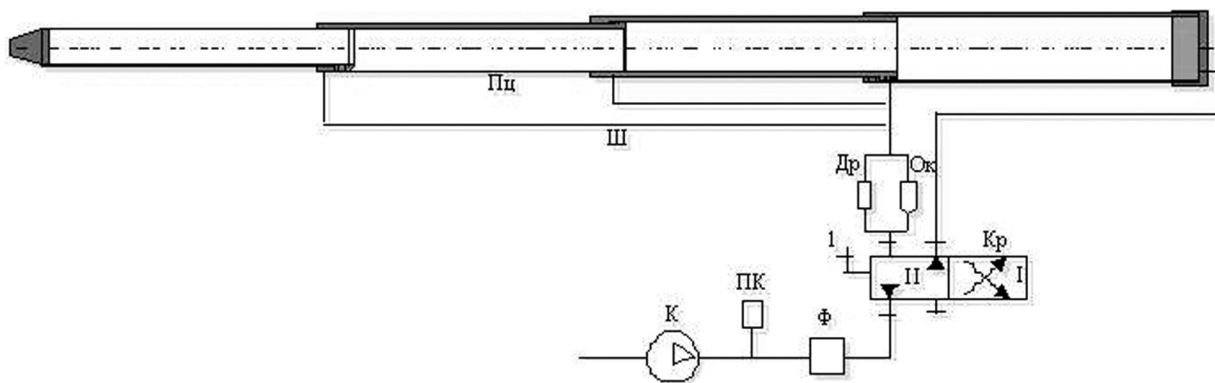


Рис. 10. Пневматическая схема

K - компрессор, $ПК$ - предохранительный клапан, Φ - фильтр, $Kр$ - двухпозиционный кран, $Пц$ - пневмоцилиндр, $Ш$ - шланги, I, II - положения двухпозиционного крана, 1 - штуцер дренажа в атмосферу, $Др$ - дроссель, $Ок$ - обратный клапан.

Пневматическая схема управления многоступенчатым пневмоцилиндром обеспечивает:
 1 - выдвигание пневмоцилиндра. При этом двухпозиционный кран $Kр$ устанавливается в положение I . Воздух от компрессора K через воздушный фильтр Φ поступает в поршневую полость пневмоцилиндра. Давление в пневмоцилиндре растет. Полости противодействия через шланги $Ш$ дроссель $Др$ соединяются с атмосферой. При достижении в пневмоцилиндре расчетного давления, определяемого допустимой перегрузкой, механизм фиксации каретки отпускает ее. Под

действием давления пневмоцилиндр выдвигается, обеспечивая разгон каретки. В конце хода каждая ступень тормозится воздухом, истекающим из ступеней через дроссель в атмосферу. Усилие торможения определяется дросселем ДР.

2 – складывание пневмоцилиндра. При этом двухпозиционный кран Кр устанавливается в положение I I. Воздух от компрессора К через воздушный фильтр Ф поступает в полости противо-давления пневмоцилиндра через открытый обратный клапан Ок. Поршневая полость пневмоцилиндра через двухпозиционный кран соединяются с атмосферой. Пневмоцилиндр складывается. Каретка перемещается в исходное положение и фиксируется механизмом фиксации.

Выводы:

1. Представлена конструктивно-компоновочная схема катапульты с многоступенчатым пневматическим цилиндром, которая позволяет обеспечить необходимые параметры пуска летательного аппарата.

2. С целью повышения компактности устройства пневматический цилиндр необходимо выполнять совместно с ресивером, в виде цилиндрической емкости коаксиальной с корпусом пневмоцилиндра.

3. Увеличение скорости каретки катапульты достигается увеличением начальной перегрузки и длины направляющей.

4. Начало движения каретки осуществляется путем отключения механизма фиксации в момент достижения максимально допустимой перегрузки.

5. Для создания давления в пневмоцилиндре возможно применять маломощный компрессор (например, автомобильный компрессор для накачки шин).

6. Приведение каретки в исходное положение производится путем подачи в камеры противо-давления пневматического цилиндра воздуха и его дросселирования из камер прямого давления.

7. Безударная остановка ступеней осуществляется путем создания соответствующих параметров дросселирования воздуха из камер противо-давления.

8. Программа расчета катапульты адаптирована к среде Mathcad.

Литература

1. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. Под общей редакцией д-ра технических наук У.В. Герц. Москва «Машиностроение» 1981

2. Мелик-Гайказов В.И., Подгорный Ю.П., Самусенко М.Ф., Фалалеев П.П. Гидропривод тяжелых грузоподъемных и самоходных агрегатов. - М.: Машиностроение, 1968. -264 с.

3. Башта Т.М. Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств. - М.: Оборонгиз, 1961. -476 с.

4. Авилов И.С. Оптимизация динамических характеристик пневматического пускового устройства беспилотного летательного аппарата / И.С. Авилов, В.А. Середа // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 6 (73). – С. 23 – 27.

5. Авилов, И.С. Критериальные оценки энергетического совершенства пусковых устройств легких беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, А.В. Амброжевич, В.А. Середа // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 2 (38). – С. 15-19.

6. Середа В.А. Классификация законов распределения тягового усилия наземных пусковых установок беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, В.А. Середа // Авиационно-космическая техника и технология. – 2010. – № 4 (71). – С. 63-66.

7. Амброжевич А.В. Комплексно-сопряженная модель катапульты с телескопическим приводом / А.В. Амброжевич, К.В. Мигалин, В.А. Середа // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» – Х., 2012. – Вып. 1 (39). – С. 61 – 69.

В. Ф. Греков, кандидат технических наук, доцент
А. А. Пьянков, кандидат технических наук, доцент

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНЕРЦИОННОГО ПРИВОДА В НАЗЕМНОМ ПУСКОВОМ УСТРОЙСТВЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Приведен подход к выбору конструкции и теоретическому определению параметров катапульты с инерционным приводом.

Для запуска летательных аппаратов применяются катапульты с приводами, конструктивно-компоновочные схемы которых содержат различные источники энергии, среди которых присутствуют одноступенчатые пневмоцилиндры с обратными полиспастами или ножничными механизмами, многоступенчатые пневматические цилиндры, а также приводы с инерционными накопителями энергии.

Статья содержит некоторые результаты исследований пусковых устройств беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состав и устройство, которых определяется применением инерционного привода.

Цель исследований:

- поиск конструкции инерционного привода с постоянным тянущим усилием каретки, что обеспечит ее равноускоренное перемещение и достижение в конце пути по направляющей максимальной скорости взлета БПЛА при ограничениях на продольные перегрузки;

- создание математического аппарата, позволяющего оценивать параметры катапульты с инерционным приводом, обеспечивающей необходимую скорость взлета БПЛА при допустимых продольных перегрузках.

Анализ литературы [1-4] показывает, что решение задач в данной постановке отсутствует.

Целью статьи является изложение существа постановки и решения задач исследований.

Основная часть. В приводе катапульты с инерционным накопителем энергии к раскрученному маховику через фрикционную передачу подсоединяется барабан, на который наматывается канат, перемещающий БЛА. Или к раскрученному маховику через фрикционную муфту подсоединяется замкнутая канатная (ременная, клиноременная) транспортная система, обеспечивающая перемещение каретки с БЛА.

Одной из основных проблем является сложность обеспечения постоянного момента на проскальзывающей фрикционной муфте.

Схема инерционного привода катапульты с замкнутой канатной транспортной системой приведена на рис. 1. Каретка 2 может перемещаться по направляющей 1 с помощью троса 8. Трос перемещается за счет взаимодействия с канатоведущим шкивом 9. Натяжение троса осуществляется блоком 5 штока пневмоцилиндра 4. Сила натяжения регулируется давлением сжатого воздуха, который подается из ресивера 7 в пневмоцилиндр 4 через газовый редуктор 6. Применение пневмоцилиндра эквивалентно использованию пружины с нулевой жесткостью.

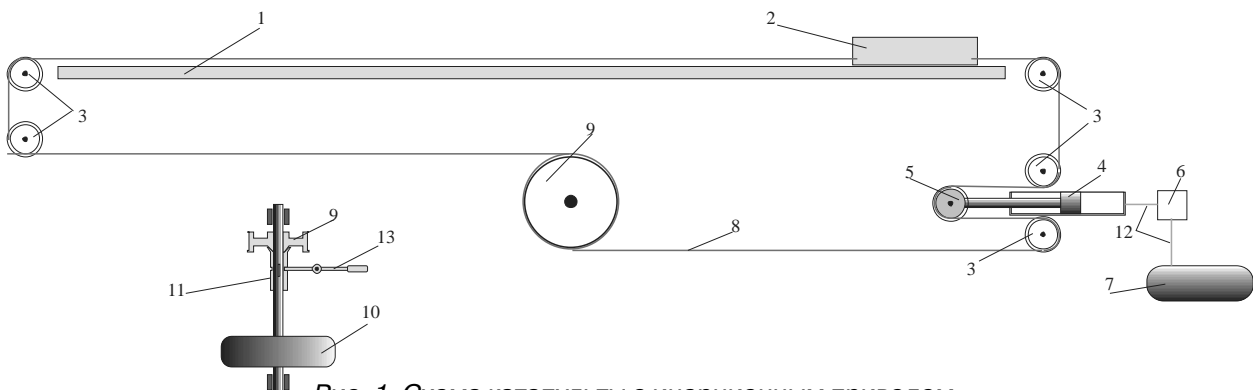


Рис. 1. Схема катапульты с инерционным приводом

1 - направляющая, 2 - каретка, 3 - направляющий блок, 4 - натяжной пневмоцилиндр, 5 - натяжной блок, 6 - газовый редуктор, 7 - ресивер, 8 - трос, 9 - канатоведущий шкив, 10 - маховик, 11 - фрикционная муфта, 12 - воздушная магистраль, 13 - рычаг включения фрикционной муфты.

При вращении шкива 9 по часовой стрелке усилие набегающей на шкив ветви каната зависит от натяжения сбегающей ветви и угла охвата шкива канатом. Для создания необходимой силы, приводящей каретку в движение, необходимо обеспечить вращение шкива с проскальзыванием на нем каната.

Источником энергии служит раскрученный маховик 10. При включении фрикционной муфты 11 рычагом 13 канатоведущий шкив начинает вращаться со скоростью маховика. За счет проскальзывания каната на шкиве создается тянущее каретку усилие, под действием которого каретка перемещается. При постоянном тянущем усилии каретка перемещается равноускоренно и в конце пути по направляющей будет иметь максимальную скорость.

Постоянное тяговое усилие обеспечивается постоянным усилием натяжения и условием проскальзывания шкива относительно каната (линейная скорость шкива всегда больше скорости каната).

Расчет инерционного привода. Присоединение к вращающемуся маховику с угловой скоростью ω_{\max} и моментом инерции I_0 неподвижного привода с моментом инерции I_p увеличивает момент инерции вращающейся системы до $I_0 + I_p$ и снижает скорость вращения до ω_0 .

Баланс моментов инерции и угловых скоростей вращающегося маховика и присоединенного к нему привода имеет вид:

$$I_0 \cdot \frac{\omega_{\max}^2}{2} = I_p \frac{\omega_0^2}{2} + I_0 \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (1)$$

откуда угловая скорость маховика с присоединенным приводом:

$$\omega_0 = \left(\frac{I_0}{I_0 + I_p} \right)^{0.5} \cdot \omega_{\max}, \quad (2)$$

Определение параметров катапульты. В соответствии с теоремой об изменении количества движения:

$$m \cdot V_{\max} = R \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где m – масса каретки с БЛА,
 V_{\max} – максимальная скорость в конце разгона, $m \cdot V_{\max} = \frac{K I_p + (I_0 + I_p) \omega_{\max}^2}{R} = \frac{M \cdot \Delta t}{R}$,
 R – сила, действующая на массу при разгоне,
 Δt – интервал времени.

Изменение момента количества движения маховика с присоединенным приводом

$$(4)$$

где M – момент на канатоведущем шкиве,
 Δt – интервал времени.

Разделив выражение (4) на (3), получим:

$$(4)$$

Учитывая, что $M = R \cdot r$, получим:

$$(5)$$

где $M = R \cdot r$,

r – радиус канатоведущего шкива, м.

Введем коэффициент момента инерции привода:

Обозначив изменение угловой скорости маховика с приводом $\Delta\omega = \omega_0 - \omega_{\min}$ при разгоне каретки, получим:

$$\Delta\omega = \frac{m \cdot r}{k_p \cdot I_0} V_{\max}, \quad (6)$$

Введем параметр z , связывающий массу каретки с БЛА и момент инерции маховика:

$$z = \frac{m}{k_p \cdot I_0}. \quad (7)$$

Тогда выражение (6) примет вид:

$$\Delta\omega(z) = z \cdot r \cdot V_{\max}, \quad (8)$$

Введем коэффициент k увеличения минимальной скорости маховика с учетом проскальзывания, обеспечивающей достижение кареткой максимальной скорости. Тогда значение минимальной скорости маховика при окончании разгона каретки будет равно:

$$(9)$$

Учитывая, что $\omega_0 = \Delta\omega + \omega_{\min}$ и, принимая во внимание выражение (2), получим необходимую максимальную скорость вращения маховика:

$$\omega_{\max} = \frac{\omega_0}{\left(\frac{1}{k_p}\right)^{0.5}} = \omega_0 \cdot (k_p)^{0.5} \quad (10)$$

Канатоведущий шкив. Потребная сила R на канатоведущем шкиве определяется из условия допустимой перегрузки, действующей на каретку с летательным аппаратом (ЛА):

$$R = m \cdot \frac{g \cdot n_{\max} R_1}{\omega_{\min} \cdot k \cdot e^{\phi f} \cdot r} \quad (11)$$

где: m – масса каретки с БЛА,
 n_{\max} – максимальная перегрузка, действующая на каретку с БЛА,
 g – ускорение свободного падения.

Потребную силу R на шкиве можно определить исходя из закона Эйлера:

$$(12)$$

где: R_1 – натяжение каната сбегающего со шкива,
 ϕ – угол охвата канатом шкива,
 f – коэффициент трения каната о шкив.

Необходимый угол охвата канатом шкива может быть найден из выражения (12).

$$\phi = \frac{\ln\left(\frac{R}{R_1}\right)}{f} \quad (13)$$

Используя предложенный подход, рассчитаем параметры катапульты с инерционным приводом при следующих исходных данных:

- максимальная скорость каретки с ЛА $V_{\max} = 20$ м/с;
- масса каретки и ЛА $m = 60$ кг;
- заданная максимальная допустимая перегрузка $n_{\max} = 5$;
- ускорение свободного падения, 9.81 м/с²;
- коэффициент увеличения момента инерции маховика за счет присоединенных деталей $k_p = 1.1$;
- радиус канатоведущего шкива, $r = 0.1$ м;

Потребная сила на канатоведущем шкиве:

$$R = m \cdot g \cdot n_{\max} = 2943, H. \quad (14)$$

Ускорение каретки с ЛА

$$(15)$$

Длина направляющей при равномерно ускоренном движении:

$$S = \frac{V_{\max}^2}{2 \cdot a} = 4.077, м. \quad (16)$$

Изменение диапазона угловой скорости $\Delta\omega(z)$ маховика в зависимости от параметра z приведено на Рис. 2.

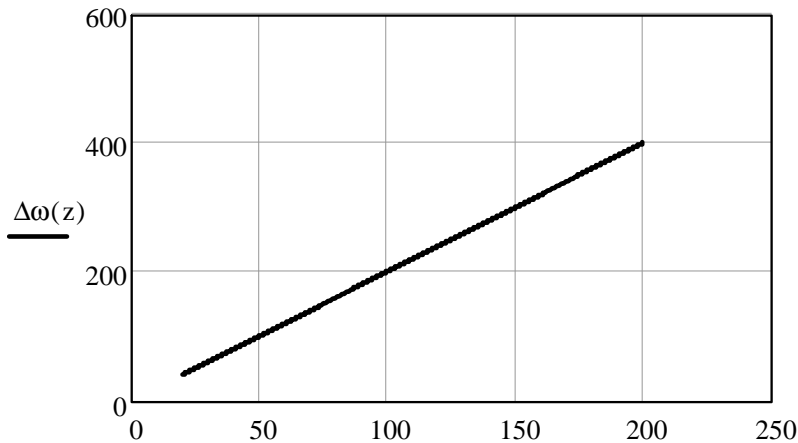


Рис. 2. Изменение диапазона угловой скорости $\Delta\omega(z)$ маховика в зависимости от параметра z .

Минимальная скорость маховика в конце разгона каретки: $a = g \cdot n_{\max} = 49.05, м/с^2$

$$\omega_{\min} = \frac{k \cdot V_{\max}}{r} = 220,1 / с. \quad (17)$$

Угловая скорость маховика с присоединенным приводом:

$$\omega_0(z) = \Delta\omega(z) + \omega_{\min} \quad (18)$$

Максимальная скорость маховика в начале разгона каретки:

$$\omega_{\max}(z) = \omega_0(z) \cdot k_p^{0.5} \quad (19)$$

Потребные значения угловых скоростей маховика для обеспечения заданной скорости каретки от параметра z приведены на Рис. 3.

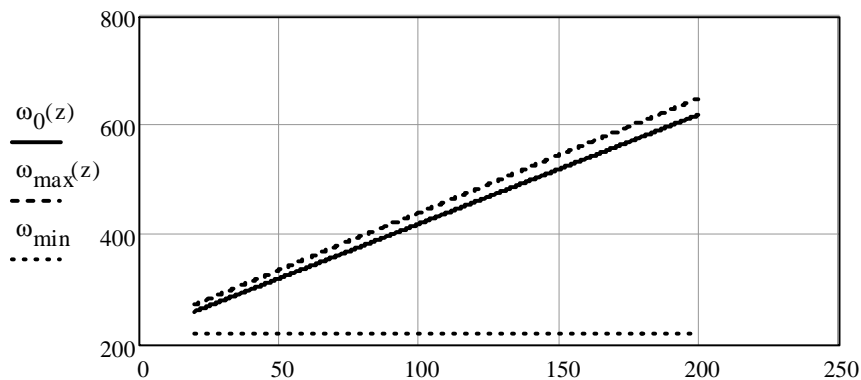


Рис. 3. Потребные значения угловых скоростей маховика для обеспечения заданной скорости каретки от параметра z .

$\omega_{\max}(z)$ (- - -) - максимальная угловая скорость маховика, 1/с;

$\omega_{\min}(\dots)$ - минимальная скорость маховика в конце разгона каретки, 1/с;

$\omega_0(z)$ - угловая скорость маховика с присоединенным приводом, 1/с;

Оценим параметры привода при $z = z_1 = 200$.

Натяжение каната сбегаящего со шкива $R_1 = 150$ Н.

Натяжение каната набегающего на шкив $R = 2943$ Н.

Коэффициент трения канат-шкив $f = 0.15$.

Угол охвата шкива канатом, вычисленный по формуле (13) составляет 19,844 рад или 3,158 оборота каната на шкиве.

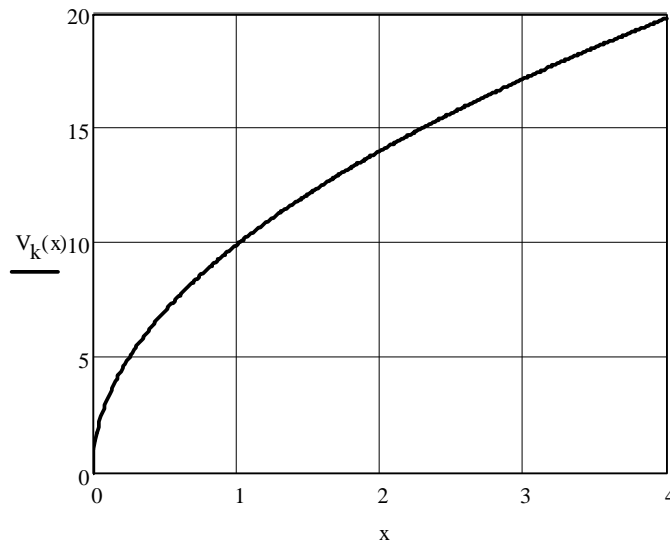
Потребный момент инерции маховика:

$$I_0 = \frac{m}{k_d \cdot z_1} = 0.273, \text{ кг} \cdot \text{ м}^2 \quad (20)$$

Скорость $V_k(x)$ каретки с БЛА по мере ее продвижения по катапульте может быть получена из уравнения (16)

$$V_k(x) = (2 \cdot a \cdot x)^{0.5} \quad (21)$$

где x – текущий путь по направляющей катапульты.



Выводы:

1. Катапульты с накопителем энергии для привода в виде маховика технически реализуема.
2. Использование канатоведущего шкива позволяет довольно просто получить заданное значение тягового усилия путем изменения угла охвата канатом шкива и изменением натяжения в сбегаящей ветви каната натяжным устройством.
3. Увеличение конечной скорости каретки на катапульте достигается увеличением начальной перегрузки и длины направляющей.
4. Движение каретки осуществляется при максимальной перегрузке на всем пути разгона.
5. Программа расчета катапульты адаптирована к среде Mathcad.

Литература

1. Н.В. Гулиа. Накопители энергии // Изд-во Наука. – 1994. - 150 с.
2. Авилов И.С. Комплексно-сопряженная модель инерционного стартового устройства легких беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, А.В. Амбражевич, В.А. Серета // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 2 (49). – С. 5-8.
3. М.И. Бать. Теоретическая механика в примерах и задачах. / М.И. Бать, Г.Ю.Джанелидзе, А. С. Кельзон// Изд-во Физико-математической литературы. –Москва. -1966. С.- 664.
4. Авилов И.С. Критериальные оценки энергетического совершенства пусковых устройств легких беспилотных летательных аппаратов / И.С. Авилов, А.В. Амбражевич, В.А. Серета // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 2 (38). – С. 15-19.

Харьков, Украина

**Л. А. Майборода, Е. П. Алексеев,
Т. П. Романова, О. Н. Войников**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ XX ВЕКА НА БЛАГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

В XX веке были сделаны многие выдающиеся открытия в науке и технике, которые значительно увеличили возможности человечества в познании мира, окружающего пространства, природы человека.

К таким выдающимся открытиям относятся следующие направления:

- радиовещание;
- телевидение;
- медицинская техника;
- микроволновые печи;
- электротранспорт (трамваи, троллейбусы, электропоезда);
- энергетика (электростанции, высоковольтные линии передачи электроэнергии);
- военная техника.

Эти достижения позволили значительно увеличить информативность всего человечества.

Вместе с тем в природу были внесены и отрицательные явления, которые, в первую очередь, повлияли на здоровье населения технически развитых стран всех континентов и проявились в виде энерго-информационного воздействия.

Вредными электромагнитными излучениями (ЭМИ) в домашних условиях обладают телевизоры, компьютеры, СВЧ-печи, мобильные телефоны – то есть, по существу, вся бытовая техника.

Кроме того, работая на предприятиях и в различных организациях, человек также находится под вредным для здоровья воздействием компьютеров, копировальной техники, радиотелефонов и факсов.

На улицах города вредные ЭМИ исходят от электротранспорта, энергоустановок, высоковольтных линий передач.

В последние десятилетия вред от использования мобильных и радиотелефонов превышает санитарные нормы в десятки и сотни раз, что существенно сказывается на здоровье не только его владельца, но и окружающих. В некоторых европейских странах даже приняты правительственные решения о запрете пользования мобильными телефонами в общественных местах и на транспорте.

Таким образом, научно-технический прогресс, без которого теперь уже невозможно представить наше существование, кроме естественной пользы во благо человечества наносит большой вред здоровью населения нашей планеты Земля.

Наиболее близкими нам в последние десятилетия являются также мобильные телефоны, вредное излучение которых постоянно влияет и на его владельца, и на окружающих. Их вредное воздействие зависит даже от места нахождения у владельца (на уровне головного мозга, в карманах одежды на уровне сердца, в карманах брюк).

Научные исследования влияния ЭМИ на организм человека провела Всемирная Организация Здравоохранения (ВОЗ), что позволило сделать вывод о существенном увеличении различных заболеваний мозга у пользователей мобильных телефонов, вплоть до онкологии.

Исследования ученых нашей страны позволили впервые создать уникальные приборы защиты от вредных излучений. Эти приборы позволяют с высокой эффективностью нейтрализовать различные патогенные излучения.

В настоящее время ученые многих стран уделяют большое внимание проблемам защиты и существования человека в профессиональной и бытовой среде.

Российские ученые предлагают для нейтрализации аномальных излучений прибор «Гамма-7Н», а также его различные модификации.

Прибор «Гамма-7Н» исключительно прост и надежен в эксплуатации, не требует дополнительных источников питания, поскольку активируется под воздействием различных источников вредных излучений.

Нейтрализатор «Гамма-7Н» предназначен для защиты человека от вредного воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) различных технических устройств (телевизоров, компьютеров, микроволновых печей, ксероксов, рентгеновской и физиотерапевтической аппаратуры и других источников на всех видах транспорта, а также от воздействия геопатогенных зон и других энергетических аномалий (например, магнитных бурь).

Модификацией нейтрализатора «Гамма-7Н» является антистресс «Гамма-АС». Он предназначен для защиты человека от вредного воздействия стрессовых ситуаций, ЭМИ, возникающих при передвижении в транспорте, а также от воздействия гепатогенных зон.

Активатор «Гамма-7А» или усовершенствованный Нейтрализатор включает в себя, кроме спиралей Архимеда, вкрапления редкоземельных элементов и лантаноидов. Эти дополнительные вещества генерируют собственные тонкие физические поля, исключительно благоприятно воздействующие на организм человека, тонизируют его, значительно повышают иммунитет.

Особую остроту приобретает защита от воздействия мобильных телефонов, что подтверждается научными исследованиями (в том числе и ВОЗ) – повреждения ДНК клетки, что приводит к «самоубийству» клеток мозга, ибо ЭМИ всех предлагаемых к использованию мобильных телефонов превышает санитарные нормы в десятки и сотни раз (!).

Одной из модификаций нейтрализатора «Гамма-7Н» для защиты человека от вредного воздействия ЭМИ радиотелефонов различного стандарта и мобильных радиостанций в частотном диапазоне до 40 ГГц является мини-нейтрализатор «Гамма-7Н-РТ», который просто необходим всем пользователям мобильных телефонов, особенно детям, беременным женщинам, пациентам с имплантированным искусственным водителем сердечного ритма.

В результате исследований и практики применения приборов защиты «Гамма-7» Главным центром Государственного санитарно-эпидемиологического надзора Российской Федерации выдано бессрочное экспертное заключение о соответствии этого устройства единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям.

Технические характеристики прибора «Гамма-7» представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Сводная характеристика приборов защиты ЦИ «Гамма-7»

№ пп	Технические характеристики	Единица измерения	Н	А	АС	Н-РТ
1	Коэффициент ослабления биопатогенного излучения	раз	30–100	30–100	до мин. уровня	30–100
2	Защита от рентгеновских установок и радиоактивных излучений	р/ч		до 5		
3	Радиус действия	см, до	120	120	350	120
4	Габариты	мм*мм*мм	80*55*10	80*55*10	71*44*16	45*26*3
5	Масса не более	грамм	50	50	30	7
6	Срок службы не менее	лет	10	10	10	10

Следует особо отметить то, что приборы «Гамма-7» не требуют источника электрического питания, так как для нейтрализации используется только энергия тонкой физической составляющей исходного энергетического воздействия.

Излучение мобильного телефона приводит к необратимым изменениям в головном мозге (опухоли слухового нерва, болезни Альцгеймера и Паркинсона), возникновению катаракты, глаукомы, отслойки сетчатки уже в тридцатилетнем возрасте, негативно влияют на потенцию и либидо, сперму, снижая шансы на оплодотворение. На ушной раковине находятся точки всех органов, и патогенное излучение мобильного «бьёт» по всем органам. Повреждаются красные кровяные тельца, костный мозг, ферменты печени, гормональные железы. ВОЗ предупредила: мобильник вызывает рак.

Все мобильные телефоны устроены так, что при приеме сигнала человеческий мозг выступает в качестве антенны и подвергается воздействию электромагнитного поля.

Особенно страдают дети: результаты исследований показали, что мозг ребенка поглощает значительно больше излучения от мобильного телефона, чем мозг взрослого человека!

Нейтрализатор и способ оценки его эффективности запатентованы: Патентами России, Испании, Германии и Европейским Патентом, сертифицированы, а с 1995 года налажен их серийный выпуск.

Группа ученых Центра информатики "Гамма-7" разработала уникальный прибор – пассивный широкополосный преобразователь тонких физических полей, который используется в качестве нейтрализатора воздействий аномальных излучений и называется "Гамма-7.Н" и его модификации. Эти приборы уже получили название "бронежилет XXI века" и являются лучшими из того, что было создано в этой области, а Россия имеет здесь абсолютный приоритет.



Применение в качестве добавок редкоземельных химических элементов привело к созданию новой модификации прибора — Активатора. От него человек может получать благотворное дополнительное полевое воздействие, благодаря которому усиливается иммунитет и повышается его работоспособность.



Для повышения стрессоустойчивости водителей разработана модификация нейтрализатора "Гамма-7.Н-Ас" (Нейтрализатор для автомобилистов "Антистресс"), предназначенный для повышения устойчивости водителя к стрессовым ситуациям.

нейтрализатор гамма

Медицинским соисполнителем проекта внедрения прибора является Научно-практический центр медицинской экспертизы и реабилитации Всероссийского Центра медицины катастроф «Защита».

С 1992 года и по настоящее время эффективность и работоспособность приборов «Гамма-7» подтверждены исследованиями и заключениями более чем 50 международных и российских научных организаций: Международного общества по исследованию электросмога (IGEF), Испытательной лабораторией (Германия, г. Шлойзинген), Факультетом специальной медицины университета DE ALCALA (Испания, Мадрид).

Большой объем научно-исследовательских работ был проведен с 1992 года по настоящее время в НИИ Москвы и Санкт-Петербурга.

В Москве: Госстандартом России, Госкомитетом санитарно-эпидемиологического надзора РФ, Всероссийским Центром медицины катастроф «Защита», Институтом Общей генетики им. Н.И. Вавилова, Центром электромагнитной безопасности, Медицинской академией им. И.М. Сеченова, Институтом информационно-волновых технологий, НИИ медицины труда РАН, АНТК им. Туполева и ВНИИ «Бинар» РАМНТ и др.

В Санкт-Петербурге: Медицинским управлением 1-го ЦНИИ МО РФ, на базе клиники психиатрии Военно-медицинской академии и Военно-Морского клинического госпиталя, НИИ Радиационной гигиены, на кафедре медицинской психологии и психофизиологии СПб Государственного университета, Государственной академией физической культуры им. П.Ф. Лесгафта, Городской многопрофильной больницей № 2 и др.

Еще одним достоинством приборов «Гамма-7Н» является то, что, в отличие от химических лекарственных средств, которые при приеме внутрь организма вызывают отрицательное, а иногда весьма вредное воздействие на многие органы человека, прибор-нейтрализатор «Гамма-7» абсолютно безвреден для здоровья и полностью отвечает главному требованию медицины – «Не навреди».

Результаты более чем 20-летних исследований позволяют сделать вывод о том, что использование достаточно нового научного направления в области защиты человека от патогенных излучений, дает основание надеяться на перспективу спасения человечества от электромагнитной катастрофы.

Литература

1. А.Н. Либерман, С.Г. Денисов. «Мобильный телефон и здоровье». Изд. Московского Университета, 2011.
2. В.М. Емельянов, В.Н. Коханов, П.А. Некрасов. «Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях» Учебное пособие для высшей школы.
3. С.Г. Денисов, Л.Д. Дубровин, А.Ф. Зубарев, В.Ю. Щаблаков. «Внимание! Электромагнитная опасность и защита человека». Изд. Московского Университета, 2003.
4. Ю.П. Ефимов. «Защита, без которой нам не жить!». Газета «Полезно для пенсионеров». № 35 (114), 12-19 сентября 2013 г.
5. С.Г. Денисов. «Как выжить в условиях электромагнитной катастрофы». Журнал «Наука в России», № 1, 2004.

АРХИТЕКТУРА и СТРОИТЕЛЬСТВО

П. Г. Кериди, к.т.н., член-корр. ПАНИ,
генеральный директор ООО «Келлер Раша»

А. И. Корпач, инженер-проектировщик ООО «Келлер Раша»

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОТЕХНИКИ В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Современное строительство предъявляет все более высокие требования к обеспечению надежности совместной работы системы «основание-фундамент-здание». Рост нагрузок, передаваемых от зданий и сооружений, уплотнение городской застройки, увеличение количества подземных этажей – эти факторы одновременно с необходимостью застройки участков со сложными инженерно-геологическими условиями требуют применения специальных геотехнологий. Инновационные свайные технологии, способы усиления оснований и преобразования строительных свойств грунтов позволяют с необходимой надежностью и достижением значимого экономического эффекта решать задачи фундаментостроения.

Последнее десятилетие ознаменовалось приходом на российский строительный рынок большого количества геотехнических фирм – как отечественных, так и иностранных. Поток новых технологий заставил значительным образом пересмотреть сложившиеся подходы к устройству оснований и фундаментов. Естественно, в авангарде современной геотехники России находятся Москва и Санкт-Петербург, при этом город на Неве с традиционными проблемами фундаментов на слабых глинистых грунтах в наибольшей мере является потребителем современных геотехнологий. Конечно, не всегда опыт внедрения в практику производства работ подобных инноваций оказывался положительным, однако кроме классических видов свай (забивных и буронабивных) все более широко применяются различные свайные технологии: «Франки», «Фундекс», «Вибрекс» (рис.1), «Атлас», микросваи типа «Титан» и др., описание которых можно найти у авторов обзора [1]. Подробное рассмотрение отдельных свайных технологий с анализом ошибок, допущенных во время адаптации к грунтовым условиям Санкт-Петербурга и области, приведены в книге [2].

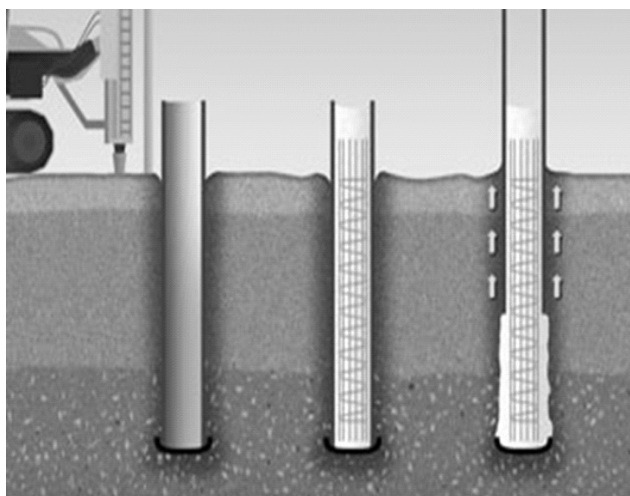


Рис. 1. Схема устройства свай «Вибрекс»
без выемки грунта

Результатом совместной работы специалистов, представляющих как научные круги, так и практику фундаментостроения, стал выход территориальных строительных норм [3, 4]. Здесь сделаны по сути первые серьезные шаги к комплексному подходу в освоении подземного пространства. Однако в большинстве практических случаев этих нормативов недостаточно для широкого применения современных зарубежных технологий, а выходящие в последнее время многочисленные СТО не всегда обеспечивают расчетную и технологическую базу для сложных геотехнических работ.

Проведение актуализации существующих СНиП в значительной мере содействует применению новых технологий. Так, под актуализированный СНиП 2.02.03-85 [5] уже можно «подогнать» некоторые новые свайные технологии, что помогает хотя бы в первом приближении оценить несущую способность. Актуализированный СНиП

3.02.03-87 [6] также вводит новые определения в технологии производства работ, регламентирует производственные процессы для некоторых новых технологий (например, для свай CFA, струйной цементации).

В ходе реализации сложных проектов возникает необходимость внедрения в практику российского фундаментостроения ряда инновационных технологий в области геотехники. Несмотря на то, что геотехнологии Келлер имеют широкое применение во всем мире и являются не один раз проверенными с точки зрения надежности производства работ и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений, адаптация их к нормативному полю и нашей строительной индустрии оказывается очень сложным процессом, требующим значительных материальных и временных затрат. Естественно, что многообразие инженерно-геологических, природно-климатических и организационных факторов на территории России требует всестороннего анализа и тщательного расчетного обоснования принимаемых решений.

Одной из первых работ по адаптации применяемых нами технологий стала разработка стандарта организации [7] по технологии глубинного перемешивания грунта (DSM, от англ. Deep Soil Mixing). Данная технология относится к буросмесительному методу цементации грунта согласно СП [6]. Принцип DSM состоит в создании нового материала – грунтоцемента, путем перемешивания грунтов естественного сложения с вяжущими материалами (рис. 2).

Кроме цемента в качестве вяжущего могут выступать и другие материалы (известь, различные полимерные добавки), при этом по способу подачи в грунтовый массив существуют мокрый и сухой виды перемешивания грунта. В первом случае через канал смесительного инструмента подается раствор вяжущего с водой требуемого соотношения и плотности. Сухой вариант технологии применяется для водонасыщенных грунтов, при этом реакция гидратации и набор прочности грунтоцемента происходят под действием воды, содержащейся непосредственно в грунте.

Наиболее широкое применение технология DSM получила для усиления грунтовых оснований естественного сложения за счет создания грунтоцементных массивов с заданными характеристиками:

- размеры (диаметр, длина) элементов усиления (рис. 3);
- схема расположения элементов (рис. 4) в плане друг относительно друга (квадратная и прямоугольная сетки, секущиеся колонны, сплошной массив и др.);
- варьируемые показатели прочности грунтоцементного камня;
- заглубление грунтоцементных колонн в малосжимаемые грунты (вся нагрузка передается на грунтоцемент) либо совместная работа с грунтом естественного сложения в качестве армирующих элементов.

За счет применения армирования грунтоцементных колонн (как правило, прокатным профилем: швеллер, двутавр) возможно их использование в качестве несущих конструкций, что открывает новые возможности для технологии DSM:



Рис. 3. Внешний вид откопанной грунтоцементной колонны



Рис. 2. Общий вид установки при устройстве колонн DSM



Рис. 4. Возможности расположения колонн DSM в плане фундаментов

- устройство грунтоцементных свай, жестко связанных с ростверком;
- ограждение котлованов, обеспечивающее водонепроницаемость за счет секущихся грунтоцементных свай/колонн.

С учетом недостаточности исследований свойств грунтоцемента, проводимых на территории нашей страны, приходится закладывать излишние запасы по прочности материала. Опыт производства работ в различных грунтовых условиях свидетельствует о том, что в зависимости от вида и состояния грунта можно достичь значений расчетного сопротивления грунтоцемента от 1 до 12 МПа. При этом глинистым грунтам соответствуют более низкие значения прочности грунтоцемента, тогда как для песчаных грунтов показатели приближаются к бетонам (вплоть до В10). Применение технологии DSM в органических и органо-минеральных грунтах требует проведения предварительных опытных испытаний непосредственно в условиях площадки строительства. Учитывая нежелание заказчиков работ нести финансовые затраты на предварительные испытания, разработка экономически и технологически конкурентоспособного проекта представляется весьма сложной задачей, сопряженной с высокими рисками.

Большой интерес вызывает сопоставление технологии глубинного перемешивания грунта DSM со струйной цементацией Soilcrete® (англ. Soil – грунт, concrete – бетон) компании Келлер (рис. 5), являющейся аналогом известной технологии Jet-Grouting.

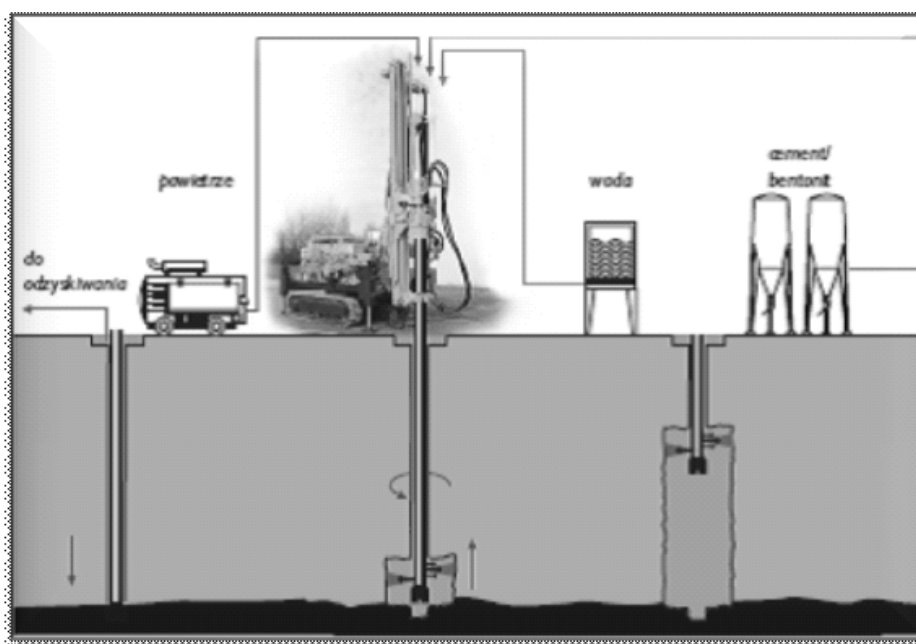


Рис. 5. Схема технологии струйной цементации Soilcrete®

В основе обеих технологий заложен один и тот же принцип – создание грунтоцемента, однако в случае DSM нет возможности произвести замену грунта, тогда как струйная цементация позволяет за счет высокого давления струи «вырезать» и удалить грунт естественного сложения. Данное преимущество Jet-Grouting позволяет расширить область применения технологии по грунту, но вариант замены грунта цементным раствором имеет явно завышенную стоимость, сравнимую с традиционным фундаментом из свай-стоек.

Одной из главных проблем в применении технологии глубинного перемешивания грунта на данный момент следует считать недостаточность нормативной базы для расчетов, а следовательно – появление сложностей в процессе прохождения государственной экспертизы проектной документации. Отметим, что еще в 70–80-х годах XX века специалистами НИИОСП проводились исследования данной технологии, а их результаты нашли применение в строительном производстве. Более того, описываемая технология использовалась для устройства илцементных оснований портовых сооружений [8], что явно требовало огромного объема проведенных исследований, в частности для определения физико-механических характеристик илцементов.

Теоретическое обоснование методики расчета грунтовых массивов, усиленных грунтоцементными колоннами включает в себя несколько возможных подходов.

1. Расчет по несущей способности сводится либо к передаче всей нагрузки только на грунтоцементные колонны, либо частично на грунт между колоннами. Выбор каждого из вариантов проводят в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий и действующих на основании нагрузок.

2. Определение приведенного модуля деформации для массива, включающего грунтоцементные колонны и окружающий их грунт. Так как в результате устройства грунтоцементных свай/колонн не происходит сколько-нибудь значимого изменения свойств грунтов в околосвайном пространстве, в запас надежности можно принимать, что между сваями находится грунт естественного сложения. Для определения приведенных характеристик, в свою очередь, используются различные методы:

а) расчет средневзвешенного модуля деформации по формуле:

$$E_{cp} = \frac{E_{gp}(A_{gp} - A_k) + E_k \cdot A_k}{A_{gp}}, \text{ где}$$

E_{cp} – средневзвешенный модуль деформации усиленного массива;

E_{gp}, E_k – соответственно модуль деформации, грунта естественного сложения и материала колонн (грунтоцемента);

A_{gp}, A_k – соответственно площадь массива грунта и колонн.

Отметим, что применение такого упрощенного подхода оправдано лишь в ограниченном числе случаев, когда грунт естественного сложения имеет достаточно высокие прочностные и деформационные характеристики.

б) расчет приведенного модуля деформации на основании численного моделирования взаимодействия элемента усиления и окружающего грунта.

В данном случае основу методики составляет применение специализированных геотехнических программ, позволяющих провести моделирование работы под нагрузкой ячейки усиленного массива. В расчет обычно включают характерные виды ячеек массива: внутреннюю, крайнюю и угловую. Одним из наиболее известных у нас является способ, разработанный в МГСУ [9].

3. Методика разделения общей осадки фундамента на усиленном основании на отдельные составляющие:

- осадка грунта распределительного слоя (при его наличии);
- осадка грунта между элементами усиления (продавливание вверх);
- осадка в подошве элемента усиления (продавливание вниз);
- осадка усиленного массива в целом как условного фундамента.

Данный способ, реализованный с незначительными изменениями разными авторами [10, 11], был в итоге нормативно закреплен в актуализированной редакции СНиП «Свайные фундаменты» (рис. 6). Здесь разделение осадки на составляющие предложено применять для расчета по деформациям массивных свайных фундаментов, включающих большое количество (100 и более) свай.

Применение метода ячейки по СП [5] для расчета осадки массива, усиленного грунтоцементными колоннами DSM, в определенной степени завышает наблюдаемые на практике деформации, что в достаточной степени обеспечивает запас надежности, но без избыточного перерасхода материалов.

В общем случае усиление грунтовых массивов (армирование, закрепление) может быть выполнено как по технологии глубинного перемешивания грунта, так и по целому ряду технологий: сваи без вытеснения грунта, гравийные и гравийно-песчаные колонны, известковые колонны. Расчет усиленных по разным технологиям грунтовых оснований может быть выполнен с применением программы KID (Keller Improvement Designer). Алгоритм расчета здесь наиболее близок к описанной выше нормативной методике, с разницей лишь в том, что возможны два основных варианта расчета:

1) расчет в упругой стадии применяется для жестких элементов усиления без возможности превышения их расчетного сопротивления; оптимально его использование для бетонных колонн, а также для колонн DSM в очень слабых грунтовых условиях;

2) расчет в упругопластической стадии учитывает развитие поперечных деформаций для

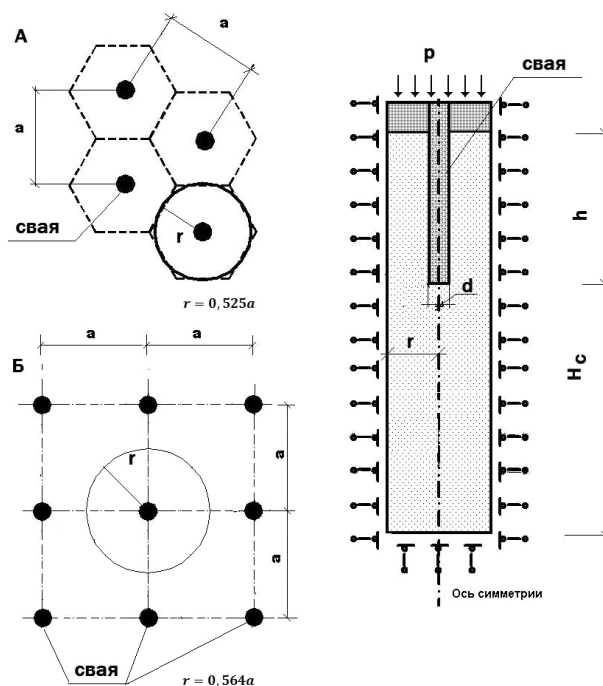


Рис. 6. Расчетная схема метода ячейки (по СП 24.13330.2011)

гравийных и песчано-гравийных элементов усиления (рис. 7); дополнительно возможен учет оболочки из геосинтетического материала.

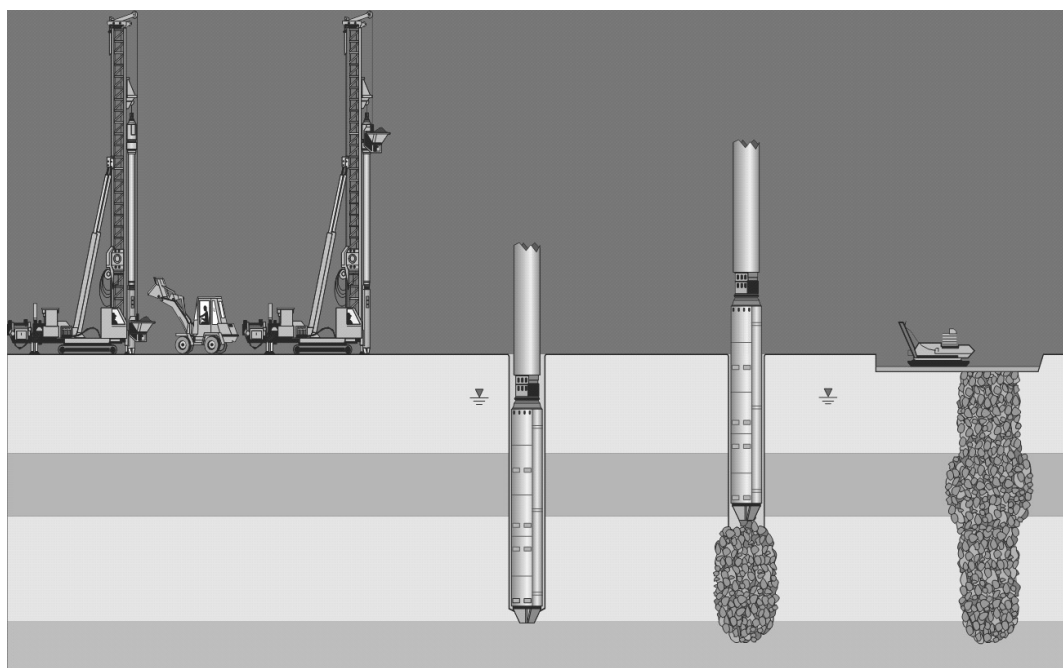


Рис. 7. Устройство гравийных колонн по вибротехнологиям Келлер

Представленный краткий обзор существующих способов устройства искусственных оснований, а также методик расчета на примере технологии глубинного перемешивания грунта позволяет судить о многообразии возможностей для решения сложных задач геотехники на современном уровне. Несмотря на очевидные упущенные в 90-е годы прошлого века возможности развития технологий, в настоящее время в России наблюдается приход зарубежных технологий и новых методов расчета на базе специальных геотехнических программ. Основой реализации крупных геотехнических проектов становится комплексный подход, объединяющий проектирование, производство работ и руководство проектом на высоком уровне.

Литература

1. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Изд-во АСВ, 2010. – 240 с.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной городской застройки): «Стройиздат Северо-Запад», Группа компаний «Геореконструкция». – СПб., 2010.
3. МГСН 2.07.01 Основания, фундаменты и подземные сооружения.
4. ТСН 50-302-2004 Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.
5. СП 24.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».
6. СП 45.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».
7. СТО 2.1-2011 ООО «Келлер Раша» Укрепление грунтов оснований транспортных, гражданских и промышленных объектов по технологии «Глубинное перемешивание грунтов» Deep Soil Mixing (DSM).
8. РД 31.31.29-82 Руководство по проектированию илцементных оснований и фундаментов портовых сооружений
9. Беспалов А.Е. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук «Напряженно-деформированное состояние оснований свайных фундаментов большой площади». – М., 2009.
10. Безволев С.Г. Общая методика расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта с упрочняющими или ослабляющими элементами. – Журнал «Основания, фундаменты и механика грунтов». – 2008. – №3.
11. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Методика расчета армированных оснований. – Вестник гражданских инженеров. – 2009. – №2 (19). – С.124-125.

Москва