

Макаров А.Л.¹, Мозговой Д.К.², Хорошилов В.С.¹, Петренко Г.В.¹, Ольшевский А.Л.¹, Попель В.М.¹
¹Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля.
 Украина, г. Днепропетровск.

²Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара. Украина, г. Днепропетровск

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЪЕМКИ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Анотация

Приведены основные этапы моделирования и планирования спутниковой съемки протяженных и слабоконтрастных объектов с ненулевыми угловыми скоростями для повышения эффективности съемки с помощью КА дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения с оптико-электронными сканерами.

Ключевые слова: спутниковая съемка, малоразмерные подвижные объекты, протяженные участки, высокая разрешающая способность, угловая скорость, управление ориентацией.

Abstract

The basic steps of satellite survey simulating and planning of long and poorly contrast objects with nonzero angular velocities for control efficiency increase of remote sensing spacecraft with high resolution optoelectronic scanner are described.

Keywords: satellite survey, small-sized moving objects, extended area, high resolution, angular velocity, attitude control.

Постановка задачи

При решении ряда задач ДЗЗ возникает необходимость проведения оперативной спутниковой съемки малоразмерных подвижных объектов и протяженных участков (границы, дороги, реки, береговые линии и т.п.) [1-7].

Для этого используются КА ДЗЗ высокой разрешающей способности, отличительной особенностью которых являются:

- 1) узкая полоса захвата, не позволяющая оперативно снимать произвольно расположенные протяженные участки за один виток;
- 2) малый размер фотоэлементов линейки ПЗС (т.е. низкая чувствительность), что не позволяет снимать слабоконтрастные объекты, а также выполнять сверхоперативную съемку с соседних витков при низких углах Солнца.

Для покрытия протяженного объекта с произвольной конфигурацией необходима съемка

нескольких сцен с разных витков, что требует от 3-х дней до 3-х недель (в зависимости от полосы захвата сканера и диапазона углов перенацеливания спутника).

С учетом условий облачности съемка может потребовать еще больше времени, что для большинства задач неприемлемо.

В существующих за рубежом системах ДЗЗ высокой разрешающей способности эти проблемы решены частично (некоторые спутники позволяют выполнять съемку произвольно-ориентированных прямолинейных протяженных участков, а также съемку с увеличенным временем экспозиции).

Если такую съемку производить в процессе перенацеливания (т.е. с ненулевыми угловыми скоростями ориентации), то можно выбирать оптимальное направление сканирования и снимать произвольно расположенные протяженные участки за один виток, т.е. более оперативно (рис. 1).

Кроме того, съемка с ненулевыми угловыми скоростями позволяет увеличить время экспозиции (т.е. снимать слабоконтрастные или слабоосвещенные объекты).

Основными этапами планирования такой съемки являются:

- аппроксимация протяженного объекта, заданного отдельными узловыми точками на цифровой картооснове (линейная, квадратичная, сплайновая и т.п.);
- определение оптимального покрытия протяженного объекта с учетом полосы захвата съемочного прибора и требуемого направления сканирования;

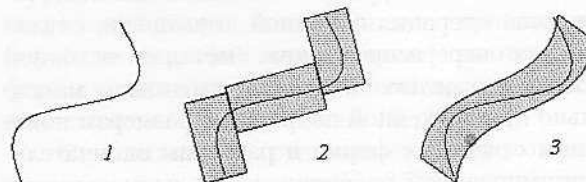


Рис. 1. Съемка протяженного объекта
 1 – Объект съемки
 2 – Трехвитковая съемка
 3 – Одновитковая съемка

– расчет орбитального движения спутника и выбор витка съемки и времени включения съемочного прибора с учетом заданного коэффициента накопления (при реализации режима «съемка с накоплением»);

– расчет углов ориентации спутника, требуемых для съемки заданного протяженного объекта, с учетом углов установки съемочного прибора;

– расчет угловых скоростей спутника во время съемки и анализ реализуемости съемки с учетом имеющихся ограничений на величины углов ориентации и угловых скоростей спутника;

– моделирование съемки заданного протяженного объекта с учетом дополнительных факторов (атмосферная рефракция, рельеф местности и др.);

– анализ влияния систематических и случайных погрешностей на точность определения координат снятых объектов (погрешности установки съемочного прибора, погрешности определения ориентации и местоположения спутника и др.).

Аппроксимация протяженного объекта

Для аппроксимации протяженного объекта $S(t)$, заданного узловыми точками на карте, используется кубический интерполирующий сплайн с последующим сглаживанием (минимальное количество узловых точек объекта принято равным 6).

Порядок интерполяции функции $S(t)$, заданной 6-ю значениями долгот f_0, \dots, f_5 в точках t_0, \dots, t_5 соответствующим нормализованной равномерной сетке широт, приведен ниже.

На интервале $(t_{(i-1)}, t_i)$, где $1 \leq i \leq 5$ функция $S(t)$ интерполируется полиномом

$$S_i(t) = a_i \cdot t^3 + b_i \cdot t^2 + c_i \cdot t + d_i,$$

где

$$a_i = -\frac{1}{6} \mu_{i-1} + \frac{1}{6} \mu_i,$$

$$b_i = \frac{1}{2} \mu_{i-1} \cdot t_i - \frac{1}{2} \mu_i \cdot t_{(i-1)},$$

$$c_i = -\frac{1}{2} \mu_{i-1} \cdot t_i^2 + \frac{1}{2} \mu_i \cdot t_{(i-1)}^2 - f_{i-1} + \frac{1}{6} \mu_{i-1} + f_i - \frac{1}{6} \mu_i,$$

$$d_i = \frac{1}{6} \mu_{i-1} \cdot t_i^3 - \frac{1}{6} \mu_i \cdot t_{(i-1)}^3 + (f_{i-1} - \frac{1}{6} \mu_{i-1}) \cdot t_i -$$

$$-(f_i - \frac{1}{6} \mu_i) \cdot t_{(i-1)}.$$

В формулах выше $\mu_0 = 0$ и $\mu_5 = 0$, а коэффициенты μ_1, \dots, μ_4 находятся из уравнения $\mu = A^{-1} D f$ где $\mu = \{\mu_1, \dots, \mu_4\}$, $f = \{f_0, \dots, f_5\}^T$

где

$$D = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 & 0 \\ \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} & 0 \\ 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} & \frac{1}{6} \\ 0 & 0 & \frac{1}{6} & \frac{2}{3} \end{pmatrix}$$

Функция $S_6(t)$ задается равенством

$$\begin{aligned} S_6(t) &= S_5(t_5) + S'_5(t_5) \cdot (t - t_5) = \\ &= S'_5(t_5) \cdot t + (S_5(t_5) - S'_5(t_5) \cdot t_5) = \\ &= c_6 \cdot t + d_6 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} c_6 &= S'_5(t_5) = \\ &= 3a_5 \cdot t_5^2 + 2b_5 \cdot t_5 + c_5, \\ d_6 &= S_5(t_5) - S'_5(t_5) \cdot t_5 = \\ &= a_5 \cdot t_5^3 + b_5 \cdot t_5^2 + c_5 \cdot t_5 + d_5 - c_6 \cdot t_5. \end{aligned}$$

Функция $S_0(t)$ задается равенством

$$\begin{aligned} S_0(t) &= S_1(t_0) + S'_1(t_0) \cdot (t - t_0) = \\ &= S'_1(t_0) \cdot t + (S_1(t_0) - S'_1(t_0) \cdot t_0) = \\ &= c_0 \cdot t + d_0 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} c_0 &= S'_1(t_0) = 3a_1 \cdot t_0^2 + 2b_1 \cdot t_0 + c_1, \\ d_0 &= S_1(t_0) - S'_1(t_0) \cdot t_0 = \\ &= a_1 \cdot t_0^3 + b_1 \cdot t_0^2 + c_1 \cdot t_0 + d_1 - c_1 \end{aligned}$$

Расчет орбитального движения спутника

Форма представления потенциала поля тяготения Земли принята в виде разложения по сферическим функциям, рекомендованная Международным Астрономическим Союзом

$$\begin{aligned} U &= U_0 + \Delta U = \frac{\mu}{r} + \frac{\mu}{r} \times \\ &\times \left[\sum_{n=2}^{\infty} c_{n0} \left(\frac{R_s}{r} \right)^n P_n(\sin \varphi) + \right. \\ &+ \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{R_s}{r} \right)^n P_{nm}(\sin \varphi) \times \\ &\left. \times (c_{nm} \cos(m\lambda) + d_{nm} \sin(m\lambda)) \right], \end{aligned}$$

где $\mu = 398600.4 \text{ км}^3/\text{с}^2$; R_s – средний радиус Земли; c_{n0} , c_{nm} , d_{nm} – безразмерные коэффициенты, зависящие от формы и распределения массы Земли; $P_{nm}(\sin \varphi)$ – присоединные функции Лежандра порядка n , индекса m ; $P_{nm}(\sin \varphi)$ – полиномы Лежандра порядка n ; φ , λ – геоцентрическая широта и гринвичская долгота подспутниковой точки (проекция положения КА на поверхность Земли).



Модель движения КА представлена в виде системы шести дифференциальных уравнений первого порядка в оскулирующих элементах:

$$\begin{cases} \frac{di}{dt} = \frac{r \cos(u)}{\sqrt{\mu p}} g_w, \\ \frac{dp}{dt} = 2r \sqrt{\frac{p}{\mu}} g_w, \\ \frac{du}{dt} = \sqrt{\mu p} / (r \times r) - (r / \sqrt{\mu p}) \times \text{ctg}(i) \sin(u) g_w, \\ \frac{dq}{dt} = \sqrt{\frac{p}{\omega}} \left[\sin(u) g_s + g_t \left(\left(1 + \frac{r}{p} \right) \cos(u) + \frac{r}{p} q \right) + k \frac{r}{p} \text{ctg}(i) \sin(u) g_w \right], \\ \frac{dk}{dt} = \sqrt{\frac{p}{\omega}} \left[-\cos(u) g_s + g_t \left(\left(1 + \frac{r}{p} \right) \sin(u) + \frac{r}{p} k \right) - q \frac{r}{p} \text{ctg}(i) \sin(u) g_w \right], \end{cases}$$

где
$$r = \frac{p}{1 + q \cos(u) + k \sin(u)}.$$

Здесь g_s, g_t, g_w – проекции суммарного возмущающего ускорения на оси ОСК; $q = e \cos(\omega)$, $k = e \sin(\omega)$ – составляющие вектора Лапласа.

Применение переменных k и q вместо e и ω обусловлено малым эксцентриситетом околокруговых орбит КА ДЗЗ.

Проекции суммарного возмущающего ускорения представляют собой ускорения от силы притяжения Земли:

$$g_s = g_{se}; \quad g_t = g_{te}; \quad g_w = g_{we},$$

где

$$\begin{aligned} g_{se} &= \frac{\partial(\Delta U)}{\partial r}; \\ g_{te} &= \frac{\cos u \times \sin i}{r \cos \phi} \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \phi} + \frac{\cos i}{r \cos^2 \phi} \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \lambda}; \\ g_{we} &= \frac{\cos i}{r \cos \phi} \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \phi} - \frac{\cos u \sin i}{r \cos^2 \phi} \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \lambda}; \\ \frac{\partial(\Delta U)}{\partial r} &= \frac{\mu}{r^2} \left[\sum_{n=2}^{\infty} c_{n0} \left(\frac{R_c}{r} \right)^n (n+1) P_n(\sin \phi) + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{R_c}{r} \right)^n (n+1) P_{nm}(\sin \phi) \times \right. \\ &\quad \left. \times (c_{nm} \cos(m\lambda) + d_{nm} \sin(m\lambda)) \right], \\ \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \phi} &= \frac{\mu}{r} \left[\sum_{n=2}^{\infty} c_{n0} \left(\frac{R_c}{r} \right)^n \cos \phi \frac{\partial P_n(\sin \phi)}{\partial(\sin \phi)} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{R_c}{r} \right)^n \cos \phi \frac{\partial P_{nm}(\sin \phi)}{\partial(\sin \phi)} \times (c_{nm} \cos(m\lambda) + \right. \\ &\quad \left. + d_{nm} \sin(m\lambda)) \right], \\ \frac{\partial(\Delta U)}{\partial \lambda} &= \frac{\mu}{r^2} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=1}^n \left(\frac{R_c}{r} \right)^n P_{nm}(\sin \phi) \times \\ &\quad \times (-c_{nm} \sin(m\lambda) + d_{nm} \cos(m\lambda)). \end{aligned}$$

Начальные условия движения на момент времени t_0 в оскулирующих элементах запишутся: $\Omega_0 = \Omega(t_0)$; $i_0 = i(t_0)$; $p_0 = p(t_0)$; $u_0 = u(t_0)$; $q_0 = q(t_0) = -e(t_0) \times \cos(\omega(t_0))$; $k_0 = k(t_0) = e(t_0) \times \sin(\omega(t_0))$.

Задача прогнозирования движения КА в каждый момент времени сводится к численному интегрированию системы дифференциальных уравнений шестого порядка при начальных условиях на заданный момент времени t_0 . Решение системы дифференциальных уравнений проводится по методу Рунге-Кутты 4 порядка.

Для малых периодов прогноза (до нескольких суток) и низкоорбитальных орбит (высота до 1000 км) достаточно точной является аналитическая модель SGP4, позволяющая работать с начальными условиями, представленными в виде TLE-файлов, формируемых системой NORAD.

Определение ориентации спутника по двум опорным точкам

Входными данными являются:

- координаты опорных точек в гринвичской системе координат (ГСК) $x_{orb}, y_{orb}, z_{orb}$, соответствующих началу и концу строки, содержащей узловую точку объекта ($i=1, 2$);
- координаты спутника в ГСК $x_{сп}, y_{сп}, z_{сп}$;
- географическая долгота λ , геоцентрическая широта ϕ и азимут a спутника.
- векторы визирования опорных точек в приборной системе координат (ПСК) $\vec{V}_{ori}^{ПСК}$ ($i=1, 2$).

Выходными данными являются углы крена, тангажа и рыскания спутника – соответственно $\varphi_{сп}, \vartheta_{сп}$ и $\psi_{сп}$.

Сначала вычисляются векторы визирования опорных точек

$$\begin{aligned} \bar{\Delta}_{ori1} &= \{x_{ori1} - x_{сп}, y_{ori1} - y_{сп}, z_{ori1} - z_{сп}\}^T, \\ \bar{\Delta}_{ori2} &= \{x_{ori2} - x_{сп}, y_{ori2} - y_{сп}, z_{ori2} - z_{сп}\}^T. \end{aligned}$$

Затем по $\bar{\Delta}_{ori1}$ и $\bar{\Delta}_{ori2}$ вычисляются нормированные вектора визирования опорных точек в ГСК $\vec{V}_{ori1}^{ГСК}$ и $\vec{V}_{ori2}^{ГСК}$

$$\vec{V}_{ori1}^{ГСК} = \frac{\bar{\Delta}_{ori1}}{|\bar{\Delta}_{ori1}|}, \quad \vec{V}_{ori2}^{ГСК} = \frac{\bar{\Delta}_{ori2}}{|\bar{\Delta}_{ori2}|}.$$

Рассчитываются значения элементов матрицы перехода $M_{ГСК-ОКС}$.

$$\begin{aligned} & \sin\lambda \sin\alpha - \cos\lambda \sin\varphi \cos\alpha \\ & \cos\lambda \sin\alpha - \sin\lambda \sin\varphi \cos\alpha \\ & \cos\varphi \cos\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sin\lambda \cos\alpha - \cos\lambda \sin\varphi \sin\alpha \\ & \cos\lambda \sin\alpha - \sin\lambda \sin\varphi \sin\alpha \\ & \cos\varphi \sin\alpha \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cos\lambda \sin\varphi \\ & \sin\lambda \cos\varphi \\ & \sin\varphi \end{aligned}$$

Значения элементов матрицы перехода от ГСК к ОСК определяются следующим образом:

$$M_{ГСК-ОСК} = M_{ОСК-ГСК}^T$$

По матрице $M_{ГСК-ОСК}$ и векторам $\vec{V}_{ор1}^{ГСК}$ и $\vec{V}_{ор2}^{ГСК}$ вычисляются вектора визирования опорных точек в ОСК $\vec{V}_{ор1}^{ОСК}$ и $\vec{V}_{ор2}^{ОСК}$

$$\vec{V}_{ор1}^{ОСК} = M_{ГСК-ОСК} \times \vec{V}_{ор1}^{ГСК}, \quad \vec{V}_{ор2}^{ОСК} = M_{ГСК-ОСК} \times \vec{V}_{ор2}^{ГСК}$$

Затем вводятся две тройки ортогональных векторов

$$\vec{u} = \vec{V}_{ор1}^{ОСК}, \quad \vec{v} = \vec{V}_{ор1}^{ОСК} \times \vec{V}_{ор2}^{ОСК} \times \vec{V}_{ор1}^{ОСК}, \quad \vec{w} = \vec{V}_{ор1}^{ОСК} \times \vec{V}_{ор2}^{ОСК}$$

и

$$\vec{u}_0 = \vec{V}_{ор1}^{ПСК}, \quad \vec{v}_0 = \vec{V}_{ор1}^{ПСК} \times \vec{V}_{ор2}^{ПСК} \times \vec{V}_{ор1}^{ПСК}, \quad \vec{w}_0 = \vec{V}_{ор1}^{ПСК} \times \vec{V}_{ор2}^{ПСК}$$

По векторам $\vec{u}, \vec{v}, \vec{w}, \vec{u}_0, \vec{v}_0, \vec{w}_0$ строятся ортогональные матрицы B и B_0

$$B = \begin{pmatrix} u^x & v^x & w^x \\ u^y & v^y & w^y \\ u^z & v^z & w^z \end{pmatrix}, \quad B_0 = \begin{pmatrix} u_0^x & v_0^x & w_0^x \\ u_0^y & v_0^y & w_0^y \\ u_0^z & v_0^z & w_0^z \end{pmatrix},$$

где верхними индексами обозначены соответствующие координаты векторов.

Значения элементов матрицы $M_{ПСК-ОСК} = b_{ij}$ ($1 \leq i, j \leq 3$) вычисляются по формуле $M_{ПСК-ОСК} = B \cdot B_0^T$.

Углы крена φ , тангажа ϑ и рыскания ψ спутника для данной последовательности поворотов вычисляются по значениям элементов матрицы $M_{ПСК-ОСК}$.

$$\varphi_{сн} = -\arctg \frac{b_{21}}{b_{31}}, \quad \vartheta_{сн} = \arcsin b_{13}, \quad \psi_{сн} = -\arctg \frac{b_{12}}{b_{11}}$$

Расчет координат снятых объектов

Входными данными являются полуоси земного эллипсоида a и b ; координаты спутника в ГСК $x_{сн}, y_{сн}, z_{сн}$; координаты V_x, V_y, V_z вектора визирования в ГСК $V_{ГСК}$.

Выходными данными являются широта и долгота визируемой точки φ и λ .

Для нахождения координат x, y, z визируемой точки в ГСК используется система параметрических уравнений прямой и эллипсоида

$$\begin{cases} x - x_{сн} = V_x \cdot t, \\ y - y_{сн} = V_y \cdot t, \\ z - z_{сн} = V_z \cdot t, \\ \frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1. \end{cases}$$

Для решения системы уравнений используется квадратное уравнение

$$Kx^2 + Lx + M = 0,$$

где

$$K = \frac{b^2 + b^2 \times A_y + a^2 \times A_z}{a^2 b^2},$$

$$L = \frac{b^2 \times B_y + a^2 \times B_z}{a^2 b^2},$$

$$M = \frac{C_y}{a^2} + \frac{C_z}{b^2} - 1,$$

$$A_y = \left(\frac{V_y}{V_x}\right)^2,$$

$$B_y = 2 \times \left(y_{сн} \times \frac{V_y}{V_x} - x_{сн} \times \left(\frac{V_y}{V_x}\right)^2\right),$$

$$C_y = (y_{сн})^2 - 2y_{сн} \times \frac{V_y}{V_x} \times x_{сн} + \left(\frac{V_y}{V_x}\right)^2 (x_{сн})^2,$$

$$A_z = \left(\frac{V_z}{V_x}\right)^2,$$

$$B_z = 2 \times \left(z_{сн} \times \frac{V_z}{V_x} - x_{сн} \times \left(\frac{V_z}{V_x}\right)^2\right),$$

$$C_z = (z_{сн})^2 - 2z_{сн} \times \frac{V_z}{V_x} \times x_{сн} + \left(\frac{V_z}{V_x}\right)^2 (x_{сн})^2.$$

Координаты визируемой точки вычисляются по формулам

$$x_{1,2} = \frac{-L \pm \sqrt{L^2 - 4KM}}{2K},$$

$$y = y_{сн} + \frac{V_y}{V_x} \times (x - x_{сн}),$$

$$z = z_{сн} + \frac{V_z}{V_x} \times (x - x_{сн}).$$

Из двух вариантов решения выбирают тот, который соответствует минимальному расстоянию от спутника до визируемой точки.



Геодезические координаты визируемой точки – широта ϕ и долгота λ вычисляются по координатам x, y, z визируемой точки в ГСК по формулам

$$\phi = \arctg \frac{z}{p(1-e^2)},$$

$$\lambda = \text{sign}(y) \arctg |y/x|,$$

$$\text{где } p = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}.$$

Выводы

В ходе проведенных исследований были изучены недостатки существующих моделей управления КА ДЗЗ при съемке, а также выполнен анализ влияния упрощений и погрешностей существующих моделей съемки на эффективность решения целевой задачи в части оперативности съемки, площади покрытия и достоверности данных ДЗЗ.

Особенности планирования спутниковой съемки высокой разрешающей способности и обработки полученных данных ДЗЗ требуют учета большего числа дополнительных влияющих факторов, которые не учитывались при разработке предыдущих КА («Сич-1», «Океан-О», «Egyptsat-1»).

Методика программного управления ориентацией КА ДЗЗ высокого пространственного разрешения в процессе перенацеливания (т. е. с ненулевыми угловыми скоростями ориентации) позволяет выбирать оптимальное направление сканирования и снимать произвольно расположенные протяженные участки за один виток, т. е. более оперативно.

Кроме того, съемка с ненулевыми угловыми скоростями позволяет увеличить время экспозиции и снимать малоcontrastные или слабоосвещенные объекты (т. н. режим «съемка с накоплением»).

Литература

- 1 Мозговой Д. К. Волошин В.И. Спутниковая съемка протяженных объектов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Ракетно-космічна техніка. Вип. 10, т. 2. № 9/2, 2006 г. – С. 239-241.
- 2 Мозговой Д. К. Технология съемки протяженных объектов // IX Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Зб. тез. – Д., 2007. – С. 439.
- 3 Мозговой Д. К. Волошин В. И. Технология съемки прибрежных зон // Современные проблемы рационального природопользования в прибрежных морских акваториях Украины. Тезисы докладов Международной конференции молодых ученых (г. Севастополь – п. Кацивели, 12–14 июня 2007). – Севастополь, 2007. – С. 21–22.
- 4 Мозговой Д.К., Волошин В.И., Бушуев Е.И., Салтыков Ю.Д. Использование новых технологий съемки для повышения эффективности КА МС-2-8 // VII Українська конференція по космічеським дослідженням. Сб. тезисов. 3–8 сентября 2007 г., НЦУИКС, Евпатория. – С. 182–183.
- 5 Ю.С. Долинец, Д.К. Мозговой. Технология спутниковой съемки с ненулевыми угловыми скоростями // X Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос»: Збірник тез. – Д., 2008. – С. 495.
- 6 Кравець О.В., Корчинський В.М., Мозговий Д.К. Підвищення інформативності даних ДЗЗ. XI Міжнародна науково-практична конференція «Людина і космос». 8-10 квітня 2009 р., Дніпропетровськ, НЦАОМ: Збірник тез. – Дніпропетровськ; 2009. – С. 283.
- 7 Мозговой Д.К. Управление ориентацией КА ДЗЗ высокой разрешающей способности // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Ракетно-космічна техніка. Вип. 13, т. 1. № 17/4, 2009 г. – С. 59-65.

УДК 621.7.016.2:669.715

Скрябин С. А., Гунько И.В., Бубновская И. А.

Винницкий национальный аграрный университет. Украина, г. Винница

МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ПОД ШТАМПОВКУ ЗАГОТОВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ И ВСЕСТОРОННИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗ НИХ ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

Анотація

У статті представлена класифікація типових представників заготовок під штампування, що вальцюються на кувальних вальцях.

Процес вальцювання на підприємствах машинобудівної промисловості впроваджувався

замість: підготовки заготовок під штампування на кувальних молотах (операція протягування); операцій, що виконуються набором стовищень на ГKM; використання мірних заготовок з більшою витратою металу в облої при штампуванні кувань подовженої форми. Описані результати всебічного аналізу (-мікро,