

## **СИСТЕМА ВИДЕОРЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОТДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ОТ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ**

Корнилин Д.В., Кудрявцев И.А., Медведев М.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет им. ак. С.П.Королёва (Национальный исследовательский институт), Самара, Россия

kornilin@mail.ru

Одной из наиболее актуальных задач при контроле процесса разделения полезной нагрузки и ракеты-носителя является визуальный контроль. Он осуществляется с целью определения наличия или отсутствия столкновений разделяемых частей, а также регистрации параметров отделения. Одними из таких параметров являются скорость отделения, а также угловая скорость при стабилизации движения отделяемой части закруткой. В настоящее время не существует достаточно простых и эффективных отечественных систем, способных решить задачу визуального контроля за процессом разделения подобных объектов.

Предлагаемая система [1] состоит из двух видеокамер, устанавливаемых на полезной нагрузке и ракете соответственно, модем для передачи данных по спутниковой связи, а также система сжатия и обработки видеoinформации на основе встроенного сигнального микроконтроллера. С целью проведения видеорегистрации в отсутствие естественного освещения, по длине окружности спутника и ракеты-носителя размещаются цветные сверхъяркие светодиоды [2,3]. При этом на видеокамеры регистрируется не естественное изображение объекта, а только его контуры. Это требует значительно меньшую мощность и, одновременно позволяет упростить анализ движения объекта [3]. Определим основные требования к системе видеорегистрации с точки зрения анализа параметров движения.

Рассмотрим два варианта движения полезной нагрузки:

1. Равномерное удаление без вращения
2. Равномерное вращение вокруг неподвижной продольной оси.

### 1 Равномерное удаление без вращения

При равномерном удалении спутника от ракетносителя, на матрице камеры происходит плавное уменьшение диаметра изображения объекта. Размер изображения можно представить в виде:

$$h = p_n \cdot h_p \quad (1)$$

где  $p_n$  – количество пикселей из которых в данный момент времени состоит изображение;

$h_p$  – высота одного пикселя для данной матрицы, м.

Тогда размер одного пикселя можно посчитать по формуле (3):

$$h_p = \frac{n}{p} \quad (2)$$

где  $n$  – размер матрицы, м;

$p$  – количество пикселей в матрице.

На основе (1) и (2), а также соотношений между размерами объекта  $H$  и расстоянием до него  $L$  с учетом фокусного расстояния объектива  $f$  [4,5,6], получим:

$$L = \frac{Hf \cdot p}{p_n \cdot n} \quad (3)$$

Секция 5. Проектирование и конструирование малых космических аппаратов и их систем

Рассмотрим два расстояния  $L_1$  и  $L_2$  для которых количество пикселей приходящихся на объект будут равны соответственно  $p_{h1}$  и  $p_{h2}$ . Найдем изменение расстояния между объектами  $\Delta L$ . Поскольку объекты удаляются  $L_2 > L_1$ .



$$(4)$$

При прямолинейном равномерном движении мгновенная скорость взаимного удаления объектов будет вычисляться по формуле:

$$V = \frac{\Delta L}{\Delta t_e} \quad (5)$$

где  $\Delta t_k$  – время между кадрами, на которых изображение предмета уменьшилось на  $p_{h1} - p_{h2}$  пикселей, с.

Минимальную скорость, которую может зафиксировать система, можно посчитать, если принять, что за время между кадрами изображение смещается минимум на один пиксель, то есть:

$$p_{h1} - p_{h2} = 1$$

$$p_{h2} = p_{h1} - 1$$

Тогда формула (5) примет вид:



$$(6)$$

Из формулы (6) видно, что минимальной скоростью будет в том случае, когда  $p_{h1} = p$ . Таким образом, выражение (6) примет вид:

$$V_{min} = \frac{H \cdot f}{(p - 1) \cdot n \cdot \Delta t_e} \quad (7)$$

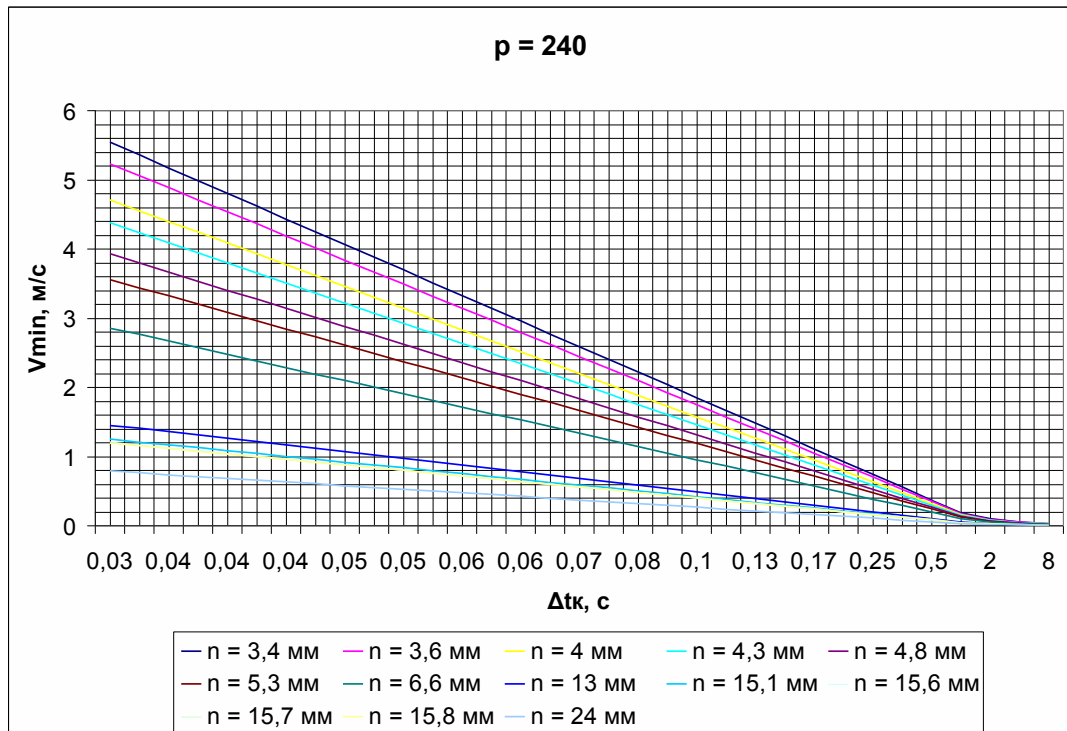


Рис. 1 – Зависимость величины регистрируемой минимальной скорости  $V_{min}$  от времени между кадрами  $\Delta t_k$  для различных матриц при количестве пикселей  $p = 240$

На рис. 1-3 приведены зависимости, построенные на основе (7), позволяющие выбрать разрешение матрицы в зависимости от величины требуемой регистрируемой минимальной скорости  $V_{min}$ , а также при фиксированном времени между кадрами  $\Delta t_k$ .

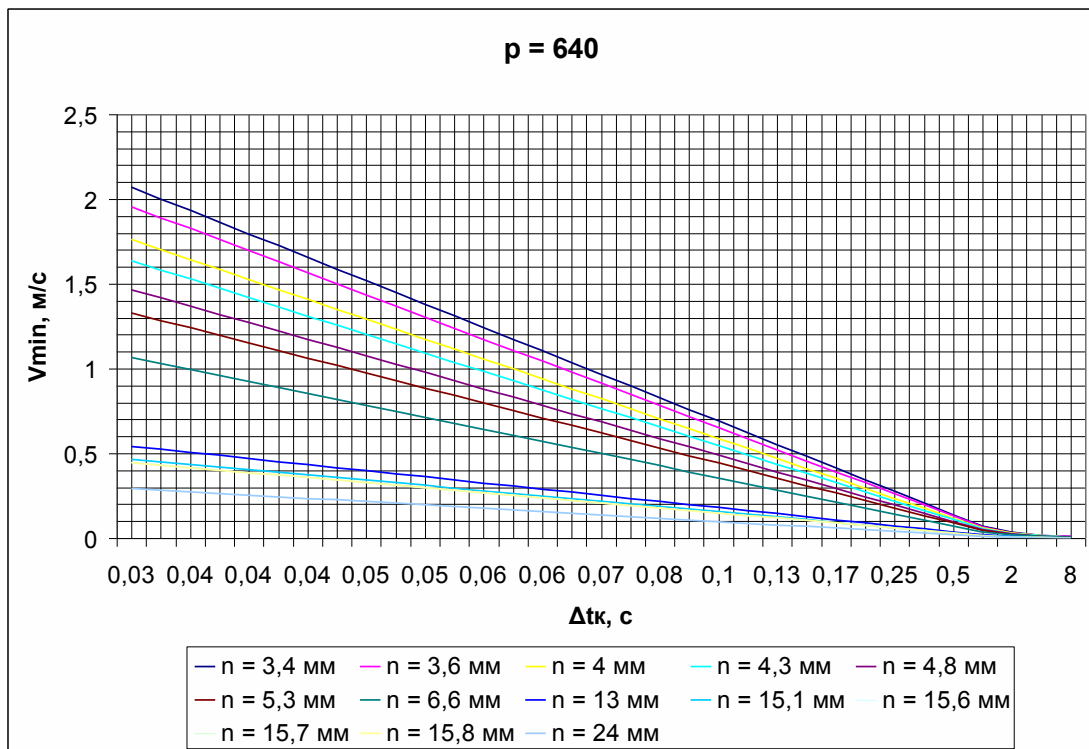


Рис. 2 – Зависимость величины регистрируемой минимальной скорости  $V_{min}$  от времени между кадрами  $\Delta t_k$  для различных матриц при количестве пикселей  $p = 640$

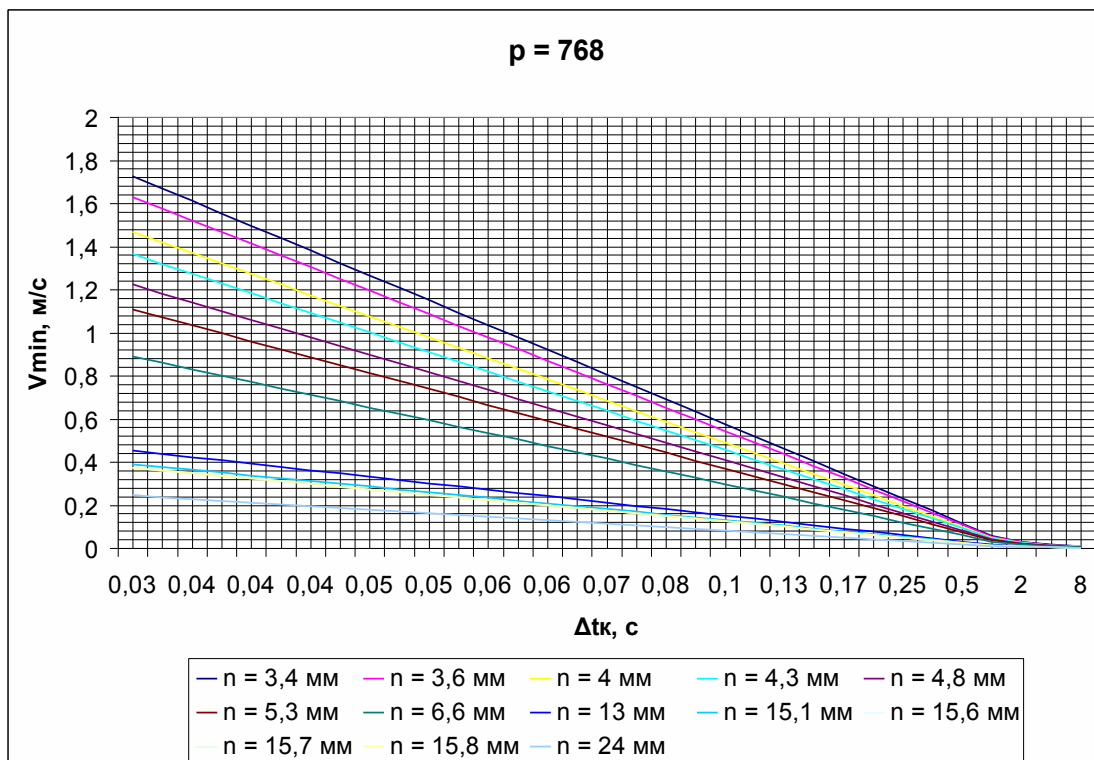


Рис. 3 – Зависимость величины регистрируемой минимальной скорости  $V_{min}$  от времени между кадрами  $\Delta t_k$  для различных матриц при количестве пикселей  $p = 768$

Таким образом, существующие видеокамеры в данной системе могут позволить регистрацию удаления полезной нагрузки с минимальной скоростью от 0,04 м/с.

2 Равномерное вращение вокруг неподвижной продольной оси

На рис. 4 представлено схематическое изображение объекта с установленными на нем светодиодами с расстоянием между ними  $A$ , направление поворота указано стрелкой.

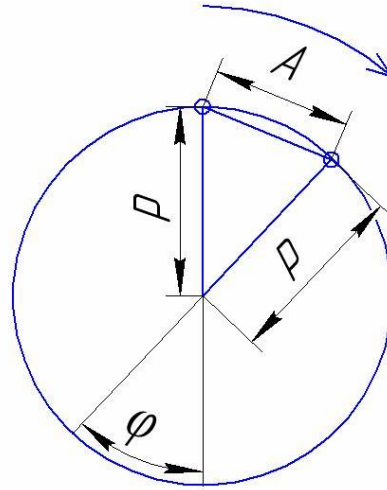


Рис. 4 – Схематическое изображение модели вращения полезной нагрузки

Допустим, что при повороте спутника на угол  $\varphi$ , изображение светодиода смещается на расстояние  $A$  в пикселях. При этом образуется равнобедренный треугольник, площадь которого можно вычислить по формулам:

$$S = \frac{1}{2} \cdot p^2 \cdot \sin(\varphi) \quad (8)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \sqrt{(p + \frac{1}{2} \cdot A)(p - \frac{1}{2} \cdot A)} \quad (9)$$

Приравняем правые части формул (8) и (9) и выразим угол  $\varphi$ :

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{A \cdot \sqrt{(p + \frac{1}{2} \cdot A)(p - \frac{1}{2} \cdot A)}}{p^2}\right) \quad (10)$$

Угловая скорость будет вычисляться по формуле:

$$w = \frac{\arcsin\left(\frac{A \cdot \sqrt{(p + \frac{1}{2} \cdot A)(p - \frac{1}{2} \cdot A)}}{p^2}\right)}{\Delta t_e} \quad (11)$$

где  $w$  – угловая скорость спутника, град/с;

$\Delta t_k$  – время между двумя кадрами, расстояние между положением светодиода на которых отличается на  $A$ .

Минимальная скорость, которую может зафиксировать система, можно посчитать, если принять  $A = 1$ . Тогда формула (11) приобретает вид:

$$w_{\min} = \frac{\arcsin\left(\frac{\sqrt{p - 0.25}}{p^2}\right)}{\Delta t_{\epsilon}} \quad (12)$$

На рис. 5 представлена зависимость минимальной регистрируемой угловой скорости  $w_{\min}$  от времени между кадрами  $\Delta t_{\kappa}$  для различного количества пикселей  $p$ .

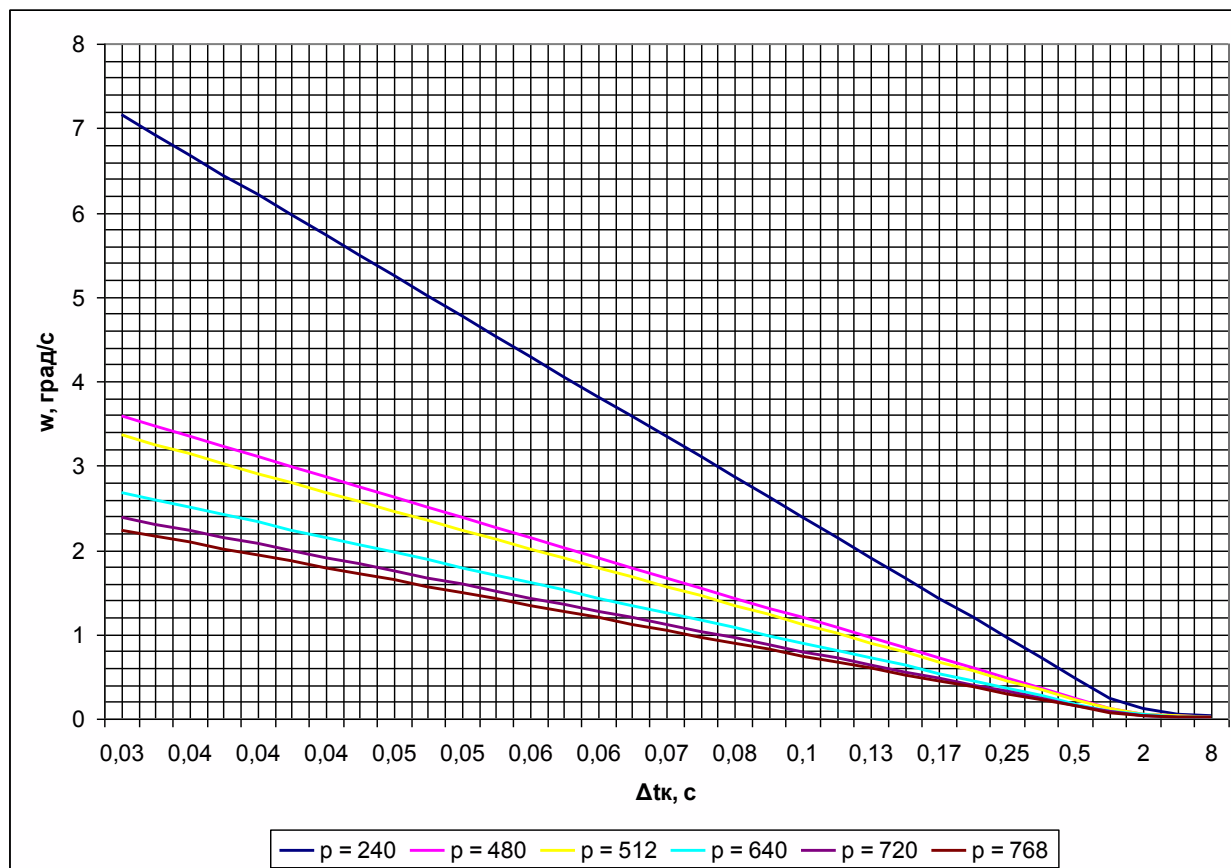


Рис. 5 – Зависимость минимальной угловой скорости  $w_{\min}$  от времени между кадрами  $\Delta t_{\kappa}$  для различного количества пикселей  $p$

Таким образом, минимальная регистрируемая угловая скорость в предлагаемой системе составит около 0.2 градуса/сек.

На основе представленных результатов можно сделать вывод, что предлагаемая система позволяет регистрировать движение отделяемой части от ракеты-носителя с приемлемыми для такой системы параметрами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

#### Список использованных источников

1. Медведев М.В., Корнилин Д.В. Система визуального контроля процесса отделения полезной нагрузки от третьей ступени ракеты-носителя // Научные и технологические эксперименты на автоматических космических аппаратах и малых спутниках: Тезисы докладов второй международной конференции «Научные и технологические эксперименты на автоматических космических аппаратах и малых спутниках». Самара, 27–30 июня 2011 г. – Самара, Изд-во СНЦ РАН, 2011. – 402 с.; с. 386.

Секция 5. Проектирование и конструирование малых космических аппаратов и их систем

2. Медведев М.В., Корнилин Д.В. Оценка освещенности поверхности ракеты-носителя при использовании системы визуального контроля процесса отделения полезной нагрузки. //Региональная научно-практическая конференция, посвященная 50-летию первого полета человека в космос. Самара, 14-15 апреля 2011 г.: тезисы докладов. - Самара: Издательство Самарского государственного аэрокосмического университета, 2011. - 298 с.; с. 190-191.
3. Медведев М.В., Корнилин Д.В. Оценка параметров системы видеорегистрации процесса отделения полезной нагрузки при отсутствии естественного освещения // Информационные технологии. Радиотехника. Телекоммуникации: сб. статей I международной заочной научно-технической конференции / Поволжский гос. ун-т сервиса. - Тольятти: Изд-во ПВГУС, 2011. - 352 с. ; с. 247-254.
4. Медведев, Корнилин. Требования к объективу системы визуального контроля процесса отделения полезной нагрузки от третьей ступени ракеты-носителя.// Решетневские чтения: материалы XV Международной научной конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (10-12 ноября 2011, г. Красноярск): В 2-х частях. Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова; Сибирский государственный аэрокосмический университет - Красноярск, 2011 - Часть 2. стр. 584-585.
5. Яштолд-Говорко, В.А.: Фотосъемка и обработка. Съемка, формулы, термины, рецепты. Изд. 4-е, сокр.[Текст] – М.: «Искусство», 1977.
6. Волосов, Д.С.: Фотографическая оптика.[Текст] – М.: «Искусство», 1971.