

Выбор рациональных вариантов баллистического построения космических телескопов для обнаружения и определения физико-химических свойств астероидов, неблагоприятных для наблюдения с Земли

© Ю.С. Бодрова¹, К.Г. Райкунов^{1,2}

¹ФГУП ЦНИИмаш, г. Королёв, Московская область, 141070, Россия

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Предложен подход к оценке целевой эффективности космических телескопов видимого диапазона, предназначенных для обнаружения опасных небесных тел. Проведен сравнительный анализ целевой эффективности нескольких вариантов размещения таких телескопов на орбите обращения Земли вокруг Солнца. Выбраны наиболее рациональные варианты построения системы космических телескопов применительно к обнаружению угрожающих Земле небесных тел, неблагоприятных для наблюдения наземными телескопами, за заданное время предупреждения. Представлен подход и дано обоснование выбора рационального варианта размещения космических телескопов инфракрасного диапазона для определения физико-химических свойств опасных небесных тел, неблагоприятных для наблюдения с Земли.

Ключевые слова: астероидно-кометная опасность, видимый диапазон, инфракрасный диапазон, космический телескоп, опасные небесные тела, целевая эффективность

Введение. Наблюдение и обнаружение новых малых небесных тел Солнечной системы в настоящее время осуществляется в основном с помощью сети наземных телескопов. Однако несмотря на то, что большое количество астероидов и комет было обнаружено с Земли, есть ограничения, которые могут препятствовать наблюдению за угрожающими Земле малыми опасными небесными телами (ОНТ). В частности, выявлена область космического пространства, где применение наземных телескопов затруднено или невозможно вследствие ограничений по углу солнечной элонгации (угол при наблюдателе между направлением на Солнце и на наблюдаемый объект). Для обеспечения беспропускного обнаружения угрожающих Земле ОНТ контроль этой области следует осуществлять с помощью космических средств наблюдения. Задача проектно-поисковых исследований для создания системы космических телескопов (КТ) наблюдения и оперативного обнаружения ОНТ на начальном этапе должна заключаться в выборе и обосновании рационального варианта размещения КТ, обеспечивающего обнаружение ОНТ, которые недоступны для наблюдения с Земли. Таким образом, рекомендации по выбору рацио-

нального баллистического построения системы КТ целесообразно формулировать, опираясь на факт приоритетного обнаружения астероидов, приближающихся к Земле со стороны Солнца, так как условия наблюдения таких тел наименее благоприятны для наземных телескопов [1]. Это касается не только астероидов, орбиты которых полностью лежат внутри орбиты Земли, но и астероидов, которые приближаются к Земле со стороны Солнца, двигаясь по орбитам с перигелием внутри орбиты Земли и афелием вне ее.

Следует отметить, что важной задачей обеспечения астероидной безопасности Земли является не только обнаружение угрожающих Земле ОНТ, но и определение их физико-химических свойств. Наличие данных о составе и структуре обнаруженного астероида позволит оценить степень его опасности и принять решение о необходимости осуществления мероприятий по противодействию столкновению тела с Землей. Поэтому в настоящей работе рассмотрены подходы к выбору рациональных вариантов размещения как КТ видимого диапазона для обнаружения ОНТ, которые недоступны для наблюдения с Земли, так и КТ инфракрасного (далее — ИК-диапазон) диапазона для определения их физико-химических свойств.

Сравнительный анализ целевой эффективности различных вариантов построения системы космических телескопов видимого диапазона при решении задачи обнаружения опасных небесных тел, неблагоприятных для наблюдения с Земли. Рассмотрим несколько вариантов (табл. 1) построения космической системы типа «Барьер» [2, 3], включающей в себя 2 КТ видимого диапазона на орбите обращения Земли вокруг Солнца. Космические телескопы работают в обзорно-поисковом режиме с непрерывно вращающимися вокруг заданного направления полями зрения.

Для того чтобы выбрать наиболее рациональный из рассматриваемых вариантов построения КС, предлагаем использовать следующий критерий. При обеспечении требуемого времени предупреждения t_y необходимо минимизировать средние значения m_d минимальных доступных для обнаружения диаметров d ОНТ, обеспечиваемых КС на множестве моделируемых орбит. При сравнении нескольких вариантов, имеющих близкие значения m_d , выбирается тот вариант, при котором обеспечиваются минимальные значения среднеквадратичного отклонения σ_d минимальных доступных для обнаружения диаметров ОНТ:

$$\begin{cases} m_d \rightarrow \min; \\ \sigma_d \rightarrow \min; \\ t_y \geq t_{\text{тр}}, \end{cases} \quad (1)$$

Параметры исследуемых вариантов построения КТ

Параметр	T_1	T_2	T_5	T_6	T_3	T_4	T_7	T_8	T_9	T_{10}
Расположение телескопа относительно Земли	Впереди	Позади	Впереди	Позади	Впереди	Позади	Впереди	Позади	Впереди	Позади
Расстояние между Землей и КТ l_T , а.е.	0,3	0,15	0,3	0,3	1	1	0,5	0,5	0,3	0,3
Угол наклона оптической оси КТ к заданному направлению вращения α , град	35	35	35	35	27	27	42	42	6	6
Период обращения мгновенного поля зрения вокруг этого направления $T_{ск}$, ч	5	5	5	5	12	12	12	12	8	8
Направление вращения	КТ — КТ		КТ — Земля					КТ — КТ		

где $m_d = \frac{\sum_1^J d_j}{J}$; $\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum_1^J (d_j - m_d)^2}{J-1}}$; J — количество рассматриваемых орбит астероидов; $j = \overline{1, J}$.

Рассмотрение усредненных значений обеспечиваемых диаметров обнаруживаемых ОНТ осложнено потерей части информации при свертке. В частности, некоторые астероиды могут оказаться недоступными для обнаружения тем или иным КТ, что не учитывается при рассмотрении параметров m_d и σ_d . Однако этот недостаток обусловлен необходимостью: оценка эффективности КС должна быть проведена применительно к обнаружению ОНТ на широком множестве моделируемых орбит. Для смягчения указанного недостатка предлагается при принятии решения использовать дополнительную информацию — оценить относительное количество контролируемых орбит ОНТ из числа моделируемых применительно к различным размерам обнаруживаемых астероидов и значениям обеспечиваемого времени предупреждения об их столкновении с Землей:

$$\frac{\sum_1^J b_j}{J} \rightarrow \max,$$

$$b_j = \begin{cases} 0, & \text{если ОНТ, движущееся по } j\text{-й орбите, не обнаружено,} \\ 1, & \text{если ОНТ, движущееся по } j\text{-й орбите, обнаружено,} \end{cases}$$

где b_j — параметр, характеризующий обнаружение ОНТ на j -й орбите.

Обеспечиваемые каждым из рассматриваемых вариантов построения системы КТ параметры обнаружения ОНТ (в том числе значения d , t_y) были определены путем имитационного моделирования процесса захвата полями зрения КТ астероидов, движущихся по столкновительным с Землей траекториям [4]. Движение моделируемых объектов (Земля, КТ, астероид) рассматривалось как невозмущенное движение материальной точки относительно притягивающего центра (Солнца).

Требуемое время предупреждения о столкновении обнаруженного ОНТ с Землей $t_{\text{тр}}$ может различаться, в зависимости от размера обнаруженного ОНТ и его физико-химических свойств, что связано с необходимостью принятия мер по противодействию столкновению или ее отсутствием. В литературе [5, 6] приведена оценка требуемого времени предупреждения о столкновении ОНТ с Землей — порядка 30 сут. В случае невозможности выполнения указанного требования по оперативности для отдельных орбит ОНТ космическая система должна обеспечивать запас времени в 6–10 сут для эвакуации населения и принятия иных мер по уменьшению возможного ущерба. В случае обнаружения астероида малого размера достаточным считается время предупреждения порядка 1 сут. Обсудим результаты моделирования функционирования КТ применительно к каждому из представленных требований по оперативности.

Проанализируем целевую эффективность рассматриваемых вариантов построения космической системы применительно к обнаружению астероидов, неблагоприятных для наблюдения с Земли. Рассмотрим, как изменяется относительное количество обнаруженных космическими телескопами ОНТ в зависимости от размера астероида (рис. 1).

Из рис. 1, *a* видно неоспоримое преимущество пары $T_9 + T_{10}$ (светло-зеленая кривая) по сравнению с другими вариантами для обнаружения астероидов, приближающихся к Земле со стороны Солнца, при $t_y \geq 1$ сут. Однако с увеличением требуемого времени t_y до 7 сут процент ОНТ, обнаруженных парой телескопов $T_9 + T_{10}$, снижается примерно в 2 раза. Все рассматриваемые пары КТ (см. рис. 1, *б*), за исключением $T_9 + T_{10}$, обеспечивают 100%-ное обнаружение тел, начиная с определенного размера (200–300 м, в зависимости от варианта), за время более 7 сут до встречи с Землей. С увеличением времени t_y до 30 сут (см. рис. 1, *в*) ни один из вариантов не сможет обеспечить 100%-ное обнаружение ОНТ. Уменьшение относительного количества обнаруживаемых астероидов с увеличением времени t_y объясняет

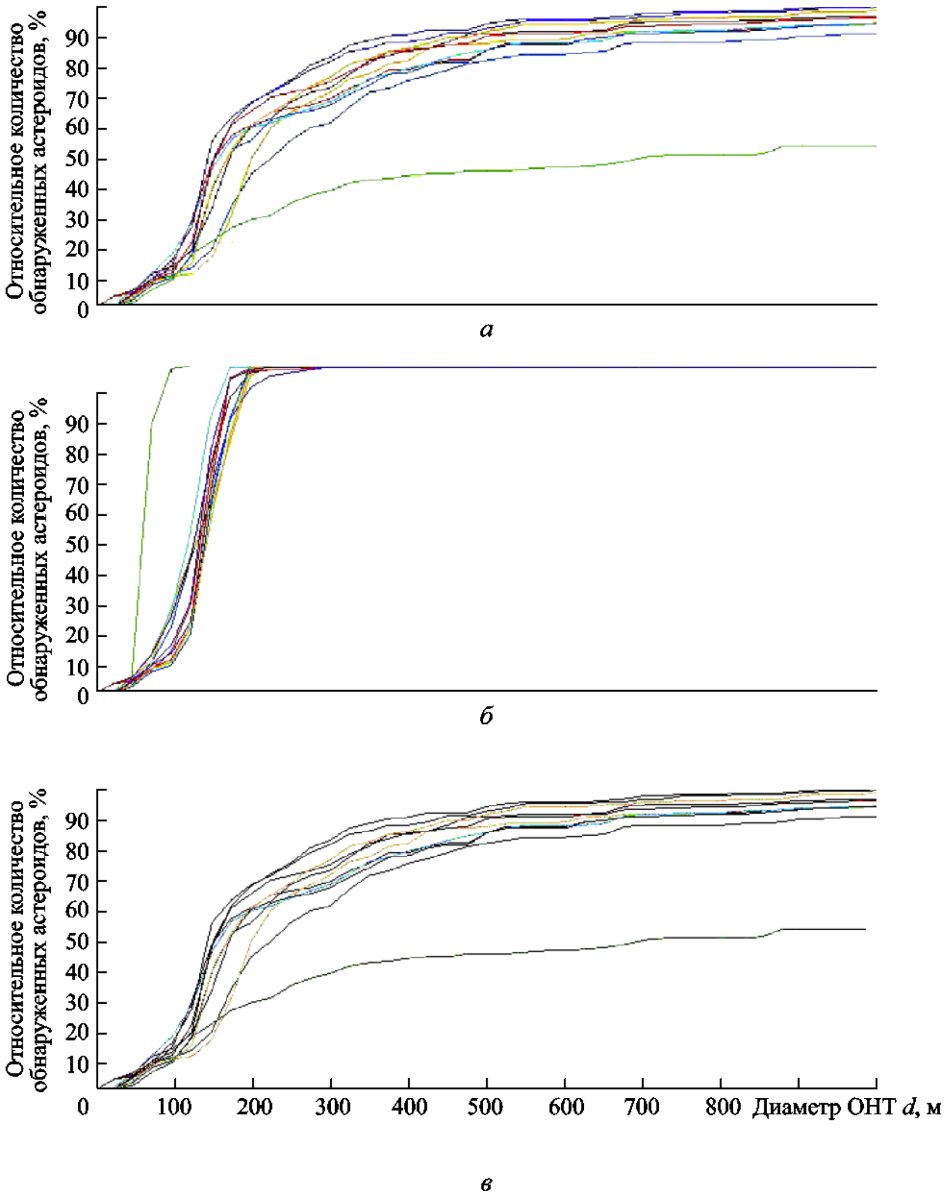


Рис. 1. Относительное количество обнаруженных космическими телескопами опасных небесных тел, движущихся к Земле со стороны Солнца, за время более 1 (а), 7 (б) и 30 (в) суток до столкновения с Землей в зависимости от их размера

ухудшение условий наблюдения по мере приближения наблюдаемого объекта к Солнцу, в том числе вследствие пребывания ОНТ в зоне солнечной засветки, а также расположение контролируемой барьерной зоны КТ.

Определим, какой из вариантов построения КТ обеспечивает обнаружение большего относительного количества ОНТ интегрально по всем размерам (рис. 2). Каждый из столбиков (см. рис. 2) характеризует относительное значение площади под соответствующим данному варианту построения КТ графиком на рис. 1. Столбики, соответствующие максимальному относительному количеству обнаруженных ОНТ интегрально по всем размерам, для каждого из рассматриваемых ограничений по t_y выделены цветом. При ограничении $t_y \geq 1$ сут наиболее высокое значение рассматриваемого параметра принадлежит паре $T_9 + T_{10}$. При $t_y \geq 7$ сут максимальное значение обеспечивает пара $T_5 + T_4$, однако разница между исследуемыми вариантами в данном случае не столь велика. При $t_y \geq 30$ сут наилучшее значение обеспечивает пара $T_7 + T_8$.

Сравним исследуемые варианты по предложенному критерию (табл. 2). Жирным шрифтом в таблице выделены наилучшие значения рассматриваемых параметров для каждого из «столбцов», соответствующих различным вариантам ограничений по обеспечиваемому КТ времени t_y .

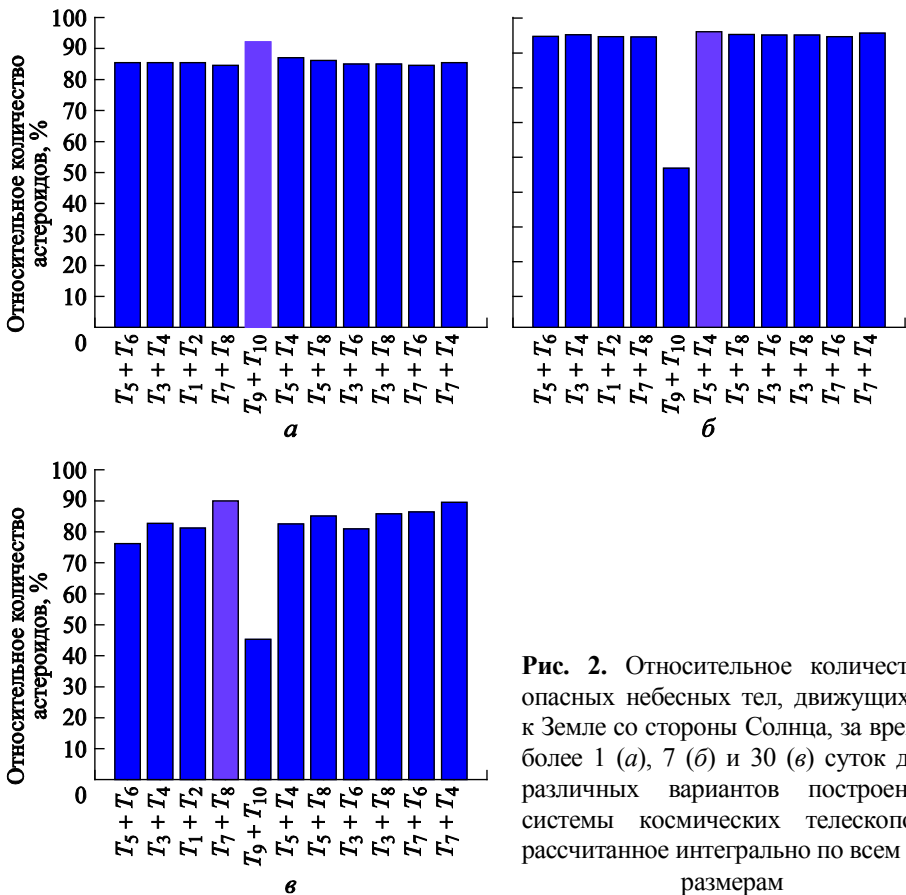


Рис. 2. Относительное количество опасных небесных тел, движущихся к Земле со стороны Солнца, за время более 1 (а), 7 (б) и 30 (в) суток для различных вариантов построения системы космических телескопов, рассчитанное интегрально по всем их размерам

Таблица 2

Средние значения и среднеквадратические отклонения минимальных диаметров опасных небесных тел, приближающихся к Земле со стороны Солнца, которые обнаруживают космические телескопы за время более 1, 7 и 30 сут до момента столкновения с Землей*

Ограничение по времени предупреждения	$t_y \geq 1$ сут				$t_y \geq 7$ сут				$t_y \geq 30$ сут			
	m_d		σ_d		m_d		σ_d		m_d		σ_d	
T_1	151	134	51	46	228	144	277	48	350	298	364	291
T_2	156		44		158		46		551		530	
T_5	141	133	44	40	228	144	283	42	363	314	371	294
T_6	158		38		158		38		557		534	
T_3	173	134	71	34	173	134	71	34	290	263	242	256
T_4	142		40		142		40		378		427	
T_7	181	141	72	41	181	141	72	41	287	253	279	284
T_8	157		52		157		52		370		389	
T_9	67	65	17	14	201	208	184	225	226	268	180	234
T_{10}	75		15		309		391		576		411	
$T_5 + T_4$	119		35		127		39		280		299	
$T_5 + T_8$	127		45		136		47		275		288	
$T_3 + T_6$	278		254		141		34		278		254	
$T_3 + T_8$	136		38		136		38		249		247	
$T_7 + T_6$	144		37		144		37		276		286	
$T_7 + T_4$	131		34		131		34		254		288	

* m_d — среднее значение минимальных доступных для обнаружения каждым из КТ размеров ОНТ; σ_d — их среднеквадратичное отклонение.

По данным табл. 2 видно, что пара КТ $T_9 + T_{10}$ обеспечивает обнаружение ОНТ наименьшего размера при ограничении $t_y \geq 1$ сут. Поскольку для этого значения t_y наибольшее относительное число обнаруживаемых телескопами астероидов интегрально по всем размерам также обеспечивается парой $T_9 + T_{10}$, что подтверждает рис. 2, а, то при отсутствии ограничения по времени предупреждения выбор этого варианта построения системы КТ является наиболее рациональным. Для $t_y \geq 7$ сут лучшие показатели обеспечивает пара $T_5 + T_4$. Однако в целом, за исключением пары $T_9 + T_{10}$, результаты для всех сравниваемых вариантов различаются не столь значительно как по значениям m_d и σ_d , так и по относительному количеству обнаруженных ОНТ интегрально по всем диаметрам до 1 км. Существенные различия в основном проявляются при рассмотрении астероидов малых размеров, о чем свидетельствуют графики на рис. 1, б. Для $t_y \geq 30$ сут лучшие значения m_d и σ_d обеспечивает пара $T_3 + T_8$, однако, как видно на рис. 2, этот вариант уступает парам $T_7 + T_8$ и $T_7 + T_4$, обес-

печивающим наибольшее относительное количество обнаруживаемых ОНТ. Из табл. 2 видно, что значения m_d и σ_d этих двух вариантов при $t_y \geq 30$ сут близки. При рассмотрении относительного количества обнаруженных ОНТ вариант $T_7 + T_4$ незначительно уступает варианту $T_7 + T_8$ лишь при малом размере обнаруживаемых ОНТ.

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод о том, что из числа рассмотренных вариантов размещения КТ для обнаружения ОНТ, недоступных для наблюдения с Земли, рационально использование

$T_9 + T_{10}$ при $t_y \geq 1$ сут;

$T_5 + T_4$ при $t_y \geq 7$ сут;

$T_7 + T_8$ или $T_7 + T_4$ при $t_y \geq 30$ сут.

Обоснование рационального варианта баллистического построения космических телескопов ИК-диапазона для определения физико-химических свойств астероидов, неблагоприятных для наблюдения с Земли. Для оценки физико-химических параметров ОНТ необходимо использование орбитальных телескопов ИК-диапазона длин волн. При этом измерения целесообразно проводить преимущественно по предварительному целеуказанию от орбитальных телескопов видимого диапазона спектра. Организация постоянного сканирования в ИК-диапазоне длин волн нецелесообразна, поскольку для этого требуются значительно большие поля зрения и апертуры телескопов, чем для наблюдения по предварительному целеуказанию, а также большой запас и расход бортового рабочего тела системы охлаждения. С ростом ресурса системы охлаждения увеличивается выводимая масса или сокращается срок активного существования при том же запасе рабочего тела системы охлаждения. Однако без использования ИК-диапазона невозможно оценить доминирующий геологический состав астероида и его физико-химические характеристики [7].

В силу того что для ИК-диапазона длин волн засветка от Солнца играет значительно большую роль, чем для видимого диапазона длин волн, целесообразно в качестве критерия выбора рационального баллистического построения космического аппарата (КА) с ИК-телескопом наблюдения выбрать максимум площади контролируемой области небесной сферы без засветки от Солнца. Вторым критерием выбора баллистической структуры принят критерий минимума затрат на удержание КА на рабочей орбите, третьим — обеспечение приемлемого теплового режима ИК-аппаратуры и в первую очередь ее фотоприемного устройства и оптики. Этот критерий может оказать существенное влияние как на выводимую массу КА, так и на срок его активного существования.

В первом приближении к перспективным вариантам для размещения КА с ИК-телескопом для наблюдения астероидов, неблагоприятных для наблюдения с Земли, можно отнести:

- гелиоцентрические орбиты венерианского типа;
- окрестности точки либрации L_2 системы Солнце — Венера;
- окрестности точек либрации L_4 или L_5 системы Солнце — Венера.

Гелиоцентрические орбиты венерианского типа привлекательны для обнаружения малых ОНТ внутри орбиты Земли. Орбитальный телескоп ИК-диапазона, расположенный на гелиоцентрической орбите Венеры или в точке либрации системы Солнце — Венера, может наблюдать значительную область внутри орбиты Земли даже с учетом ограничения в $80^\circ \dots 90^\circ$ по углу элонгации (рис. 3). При этом использование точки либрации L_2 системы Солнце — Венера имеет

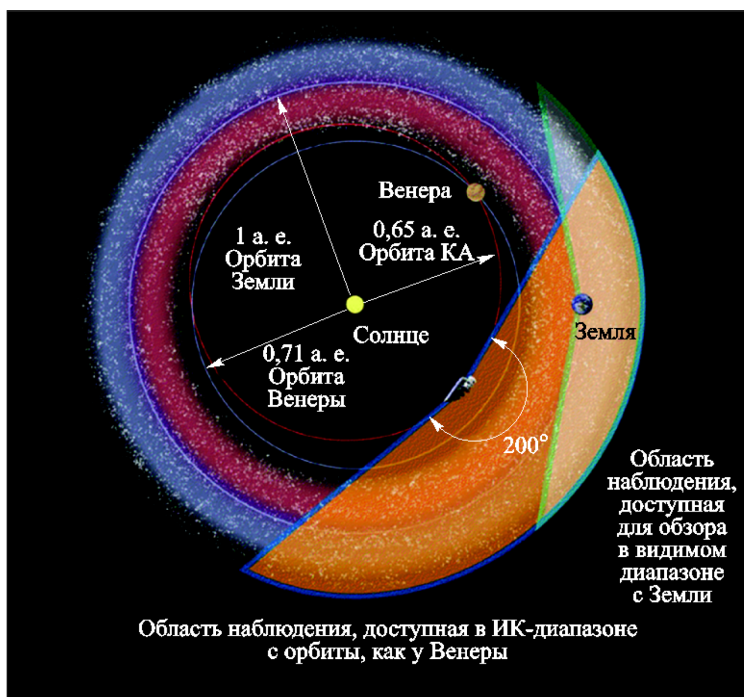


Рис. 3. Соотношение между областями, доступными для наблюдения наземным телескопом видимого диапазона, и ИК-телескопом, расположенным на орбите, аналогичной орбите Венеры

преимущества перед другими гелиоцентрическими орбитами Венеры в отношении меньших затрат на удержание орбиты и возможности находиться в полутени Венеры. Нахождение ИК-телескопа в полутени Венеры облегчит обеспечение температурного режима для целевой аппаратуры. Можно показать, что использование ИК-телескопа с

диапазоном наблюдения 6–13 мкм на орбите данного класса позволит регистрировать потоки собственного излучения астероидов, превышающие потоки отраженного солнечного излучения, что говорит о возможности обнаружения темных астероидов, наблюдение которых в видимом диапазоне затруднено, и о возможности определения физико-химических свойств астероидов с различным альбедо [7].

Для сравнения потоков отраженного солнечного излучения с потоками собственного теплового излучения астероидов необходимо учитывать динамику изменения условий наблюдения, поскольку отраженный поток существенно зависит от угла фазы астероида, угла элонгации телескопа и других параметров.

Математические расчеты показали, что при наблюдении малых астероидов, находящихся на удалениях $L_{a-s} = 0,8$ и 1 а.е. от Солнца, телескопом, который расположен на гелиоцентрической орбите Венеры или в точке либрации L_2 системы Солнце — Венера, с изменением угла элонгации ψ угол фазы при ОНТ будет изменяться, как показано на рис. 4.

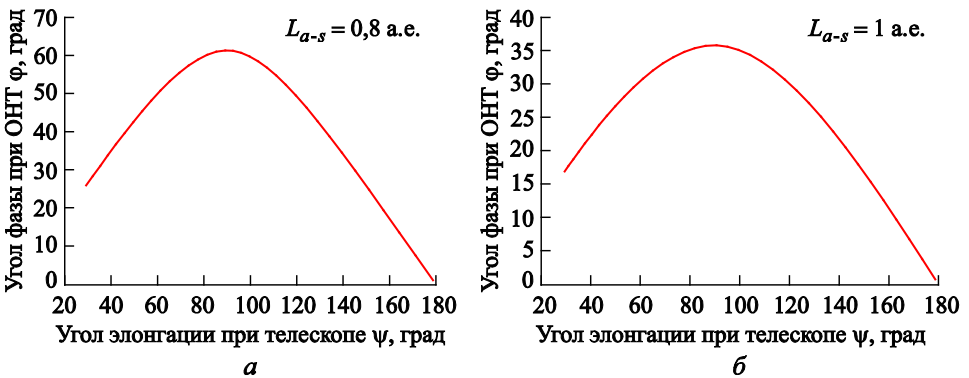


Рис. 4. Зависимость угла фазы от угла элонгации телескопа, расположенного на гелиоцентрической орбите Венеры, при наблюдении ОНТ, находящегося на расстоянии 0,8 а.е. (а) и 1 а.е. (б) от Солнца

На рис. 5 представлена динамика изменения потоков отраженного солнечного излучения от малых опасных небесных тел с низкой отражательной способностью, удаленных от Солнца на 0,8 а.е. (а), 1 а.е. (б), в зависимости от угла элонгации ψ телескопа с апертурой 1 м, находящегося на гелиоцентрической орбите Венеры, для различных значений альбедо p опасного небесного тела.

Значения потоков отраженного и собственного излучения ОНТ, в зависимости от условий наблюдения, рассчитаны с помощью разработанной автором математической модели спектрально-энергетических характеристик астероида, более подробно рассмотренной в работе [8].

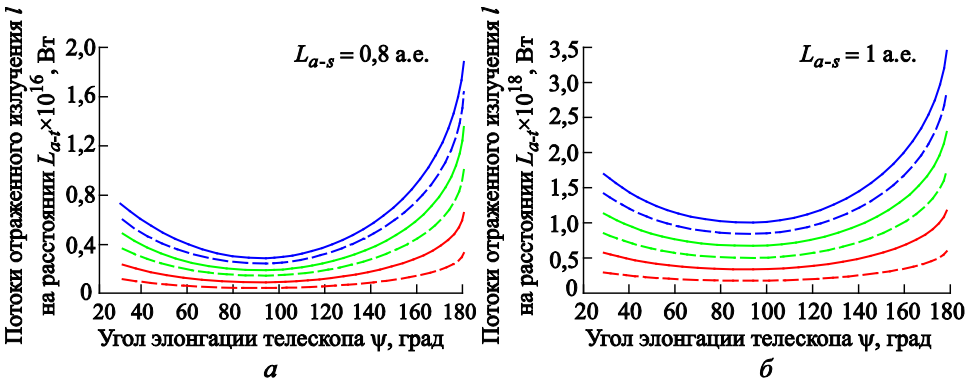


Рис. 5. Потоки отраженного излучения в зависимости от альbedo ρ опасного небесного тела, удаленного от Солнца на 0,8 (а) и 1 а.е. (б), и угла элонгации ψ телескопа видимого диапазона с диаметром входного зрачка 1м, расположенного на гелиоцентрической орбите Венеры

В соответствии с указанной моделью суммарный поток излучения F_{a-t} , приходящий на телескоп с диаметром входного зрачка $D_{\text{вх}}$, находящийся на расстоянии L_{a-t} от астероида диаметром d_a , в диапазоне длин волн наблюдения от λ_1 до λ_2 , можно оценить следующим образом:

$$F_{a-t} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\rho I_{\lambda}^c \pi d_a^2 D_{\text{вх}}^2}{16 L_{a-t}^2} f(\varphi) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{\epsilon R_{\lambda,T} \pi d_a^2 D_{\text{вх}}^2}{16 L_{a-t}^2} d\lambda,$$

где ρ — альbedo астероида; I_{λ}^c — сила излучения Солнца; $f(\varphi)$ — функция диффузного рассеивания отраженного солнечного излучения; φ — угол фазы.

Сравним потоки отраженного и собственного излучения малого ОНТ, находящегося на расстоянии 0,8 а.е. (а) и 1 а.е. (б) от Солнца, при различных значениях альbedo ρ астероида (рис. 6). На рис. 6 представлено усредненное по углу фазы значение потока отраженного излучения, поскольку изменение отраженного потока, в зависимости от условий наблюдения (см. рис. 4 и 5), мало по сравнению с ростом потока собственного излучения по мере увеличения температуры астероида и при уменьшении его альbedo, что хорошо видно на рис. 6.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что использование ИК-диапазона от 6 до 13 мкм для наблюдения ОНТ с низкой отражательной способностью может позволить обнаружить ОНТ меньшего диаметра внутри орбиты Земли, чем при наблюдении

в видимом диапазоне спектра, вследствие большего регистрируемого потока излучения. Таким образом, использование ИК-телескопа в точке либрации L_2 системы Солнце — Венера для обнаружения малых темных ОНТ представляется перспективным решением.

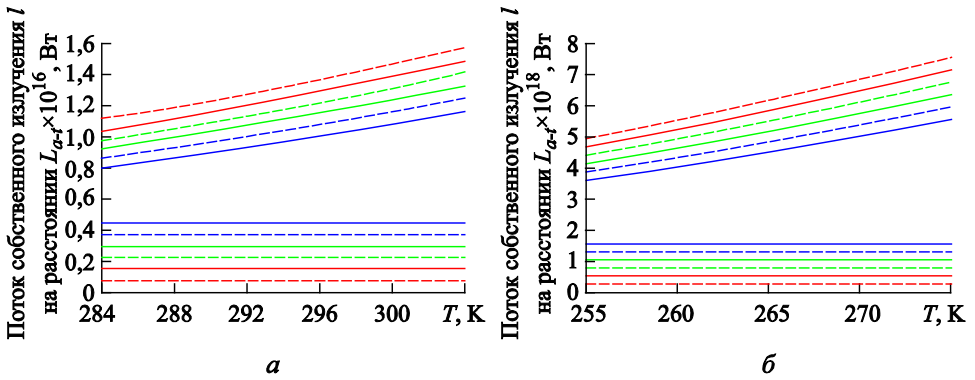


Рис. 6. Соотношение между отраженным и собственным излучением малого опасного небесного тела с различным альбедо ρ и с усредненным значением фазового угла при нем в случае наблюдения с гелиоцентрической орбиты Венеры (диаметр входного зрачка 1 м):

a — расстояние от опасного небесного тела до Солнца, $L_a = 0,8$ а.е., удаление от тела до телескопа $L_{a-t} = 0,1$ а.е.; b — расстояние от опасного небесного тела до Солнца $L_{a-s} = 1$ а.е., удаление от тела до телескопа $L_{a-t} = 0,3$ а.е.

Использование космических ИК-телескопов на гелиоцентрической орбите Венеры и в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце — Венера имеет некоторые сложности. Ввиду близости к Солнцу технически сложно реализовать длительное поддержание рабочей температуры ИК-матриц, кроме того, высокими являются энергозатраты на выведение на орбиту, что делает такие орбиты труднодоступными для средств обнаружения ИК-диапазона.

Заключение. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования процесса функционирования нескольких вариантов размещения КТ обнаружения малых ОНТ на орбите обращения Земли вокруг Солнца. С помощью разработанной методики оценки целевой эффективности получены следующие результаты, характеризующие выбор наиболее рациональных из числа рассмотренных вариантов построения системы КТ применительно к обнаружению ОНТ, приближающихся к Земле со стороны Солнца:

- при ограничении на время предупреждения $t_y \geq 1$ сут или отсутствии ограничения рационален выбор варианта $T_9 + T_{10}$;

• при ограничении на время предупреждения $t_y \geq 7$ сут рационален выбор варианта $T_5 + T_4$;

• при ограничении на время предупреждения $t_y \geq 30$ сут рационален выбор варианта $T_7 + T_4$ или $T_7 + T_8$.

Использование орбит в окрестности точки либрации L_2 системы Солнце — Венера является перспективным решением для размещения ИК-аппарата в целях определения физико-химических свойств и основного доминирующего геологического состава астероидов, находящихся внутри орбиты Земли. Использование диапазона от 6 до 13 мкм позволяет не только производить оценку физико-химических свойств и доминирующего геологического состава, но и обнаруживать астероиды малого размера с предельно низкими значениями альбедо, обнаружение которых особенно затруднено телескопами видимого диапазона спектра.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бодрова Ю.С. Методика определения времени пребывания астероидов на подлетных траекториях различного типа вне зоны видимости наземных телескопов. *Полет*, 2014, № 11, с. 23–28.
- [2] Емельянов В.А. Перспективы использования космических телескопов для обнаружения малых опасных небесных тел и определения параметров их движения. *Космонавтика и ракетостроение*, 2008, № 2 (51), с. 117–122.
- [3] Дедус Ф.Ф., Емельянов В.А., Ёлкин К.С., Бодрова Ю.С., Меркушев Ю.К., Райкунов К.Г. Проект «Космический барьер» оперативного обнаружения малых астероидов на столкновительных с Землей траекториях, не обнаруживаемых наземными телескопами. Околосолнечная астрономия 2015. *Труды международной конференции. 31 августа — 5 сентября 2015, п. Терскол*. Москва, Янус-К, 2015, с. 188–194.
- [4] Бодрова Ю.С. Влияние орбитального построения системы космических телескопов на показатели эффективности ее функционирования при обнаружении астероида типа Атон на подлетной к Земле траектории. *Космонавтика и ракетостроение*, 2014, № 3 (76), с. 66–72.
- [5] Пучков В.А., ред. *Астероидно-кометная опасность: стратегия противодействия*. Москва, ФГБУ ВНИИ ГОЧС, 2015, 272 с.
- [6] Нароенков С.А., Шустов Б.М. Распределение скоростей потенциально опасных объектов. *Космические исследования*, 2012, т. 50, № 3, с. 229–233.
- [7] Райкунов К.Г., Емельянов В.А. Способ определения температуры, степени черноты и размера астероида космическим телескопом ИК-диапазона. *Космонавтика и ракетостроение*, 2013, вып. № 4 (73), с. 154–162.
- [8] Райкунов К.Г. Оценка требований к аппаратуре видимого и ИК-диапазонов наблюдения, предназначенной для обнаружения астероидов и размещаемой в точке либрации L_2 системы Солнце — Земля. *Космонавтика и ракетостроение*, 2013, вып. № 3 (72), с. 185–194.

Статья поступила в редакцию 15.03.2017

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Бодрова Ю.С., Райкунов К.Г. Выбор рациональных вариантов баллистического построения космических телескопов для обнаружения и определения физико-химических свойств астероидов, неблагоприятных для наблюдения с Земли. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 7.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-7-1640>

Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XLI Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 24–27 января 2017 г.

Бодрова Юлия Сергеевна — инженер 2-й категории, аспирант ФГУП ЦНИИмаш. Автор 6 опубликованных научных работ в области баллистики, системных методов проектирования и оценки эффективности космических систем. e-mail: fraubodrova@gmail.com

Райкунов Константин Геннадьевич — инженер 2-й категории ФГУП ЦНИИмаш, аспирант кафедры «Динамика и управление полетом ракет и космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 13 опубликованных научных работ в области баллистики, навигации и системных методов проектирования космических систем, системного анализа. e-mail: nucleuspda@gmail.com

Approaches to selecting rational variants of the ballistic construction of space telescopes for operative detection and determination of physicochemical properties of asteroids unfavorable for observation from the Earth

© Yu.S. Bodrova¹, K.G. Raykunov^{1,2}

¹FSUE Central Research Institute of Machine Building,
Moscow region, Korolev town, 141070, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, 105055, Russia

The article proposes an approach to the target efficiency estimation for space telescopes of visible range intended for the detection of dangerous celestial bodies (DCB). A comparative analysis of the target efficiency of several variants of such space telescopes placing in the Earth's orbit around the Sun is performed. The most efficient variants of constructing a system of space telescopes were selected among the considered ones with respect to detection of Earth-threatening DCB, unfavorable for observation by ground-based telescopes, during a given warning time. The approach to selecting space telescopes of infrared range rational accommodation is proposed and justification of the choice for determining the physicochemical properties of DCB, unfavorable for observation from the Earth is given.

Keywords: *asteroid-comet danger, visible range, infrared range, space telescope, dangerous celestial bodies, target efficiency*

REFERENCES

- [1] Bodrova Yu.S. *Obscherossiyskiy nauchno-tekhnicheskiy zhurnal "Polet" — All-Russian Scientific-Technical Journal "Polyot" ("Flight")*, 2014, no. 11, pp. 23–28.
- [2] Emelyanov V.A. *Kosmonavtika i raketostroenie — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2008, no. 2 (51), pp. 117–122.
- [3] Dedus F.F., Emelyanov V.A., Yolkin K.S., Bodrova Yu.S., Merkushev Yu.K., Raykunov K.G. *Proekt "Kosmicheskii baryer" operativnogo obnaruzheniya mal'kikh asteroidov na stolkovitelnykh s Zemley traektoriyakh, ne obnaruzhivaemykh nazemnymi teleskopami ["Space Barrier" — project of operational detection of small asteroids on collisional with the Earth trajectories not detected by ground-based telescopes]. Trudy mezhdunarodnoy konferentsii "Okolozemnaya astronomiya 2015" 31 avgusta — 5 sentyabrya. Poselok Terskol [Proceedings of the International Conference "Near-Earth Astronomy 2015". August 31 — September 5. Terskol village]. Moscow, Yanus-K Publ., 2015, pp. 188–194.*
- [4] Bodrova Yu.S. *Kosmonavtika i raketostroenie — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2014, no. 3 (76), pp. 66–72.
- [5] Puchkov V.A., ed. *Asteroidno-kometnaya opasnost: strategiya protivodeystviya [Asteroid-comet danger: counteraction strategy]. Moscow, FSFI Research Institute CDES Publ., 2015, 272 p.*
- [6] Naroenkov S.A., Shustov B.M. *Kosmicheskie issledovaniya — Cosmic Research*, 2012, vol. 50, no. 3, pp. 229–233.
- [7] Raykunov K.G., Emelyanov V.A. *Kosmonavtika i raketostroenie — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2013, no. 4 (73), pp. 154–162.
- [8] Raykunov K.G. *Kosmonavtika i raketostroenie — Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2013, no. 3 (72), pp. 185–194.

Bodrova Yu.S., engineer of the 2nd category and post-graduate (Ph.D.) student, FSUE Central Research Institute of Machine Building. Author of 6 research publications in the field of ballistics, systematic approach to designing and evaluating the effectiveness of space systems. e-mail: fraubodrova@gmail.com

Raykunov K.G., engineer of the 2nd category, FSUE Central Research Institute of Machine Building, post-graduate (Ph.D.) student, Department of Space Flight Dynamics and Control, Bauman Moscow State Technical University. Author of 13 research publications in the field of ballistics, navigation and systematic approach to designing space systems and system analysis. e-mail: nucleuspda@gmail.com