

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И МАКЕТИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ДЕТЕКТОРА МОЛНИЙ

В.Е. Квитка

kva-vasja@yandex.ru

Филиал АО «РКЦ «Прогресс»–НПП «ОПТЭКС», Зеленоград,  
Москва, Российская Федерация  
МФТИ, Долгопрудный, Московская обл., Российская Федерация

---

### Аннотация

Проблема обнаружения вспышек молний из космоса приобретает большое значение в связи с развитием дистанционного зондирования Земли, климатологии и физики атмосферы. Детекторы молний космического базирования создаются как в России, так и за рубежом. Рассмотрена задача математического и физического моделирования высокоскоростной камеры, предназначенной для наблюдения вспышек молний с борта низкоорбитального космического аппарата. В предшествующих работах автора выполнено обоснование облика детектора молний, приведены расчеты его характеристик, описано алгоритмическое обеспечение. Для верификации результатов проектирования прибора необходимо проведение его макетирования. Приведено описание основных проблем обнаружения вспышек молний при их наблюдении из космоса. Показан способ компьютерного моделирования снимков с учетом шумов, создаваемых фоном и фотоприемником. Исследованы проблемы воспроизведения фоноцелевой обстановки при макетировании детектора молний с учетом характеристик наблюдаемого явления: размера отблеска, соотношения яркостей фона и молнии. Описан принцип сопоставления двух типов снимков (снятых макетом и синтезированных программно), выполнено сравнение результатов обработки полученных изображений. Совпадение результатов позволило верифицировать алгоритм обработки снимков и подтвердило корректность созданного способа моделирования детектора молний

### Ключевые слова

*Детектор молний, дистанционное зондирование Земли, низкая околоземная орбита, макетирование, высокоскоростная камера*

Поступила 30.12.2019

Принята 11.03.2020

© Автор(ы), 2020

**Введение.** Задача обнаружения вспышек молний из космоса важна как для физики атмосферы [1], так и для метеорологии [2]. Накопление статистических данных о вспышках позволяет уточнять климатические модели и повышать точность прогнозирования погоды. Молниевая активность и динамика развития циклонов взаимосвязаны [3], следовательно, результаты работы детектора молний могут позволить совершенствовать модели крупномасштабных атмосферных явлений. Кроме того, обнаружение вспышек молний из космоса позволит глубже исследовать географические особенности распределения озона в атмосфере [4]. Особо перспективна совместная работа оптического детектора молний и регистратора гамма-диапазона: это даст возможность исследовать редкие вспышки в верхних слоях атмосферы и установить взаимосвязь их свойств с «классическими» молниями [5].

Наземные системы регистрации молний эффективны для разрядов вида облако–земля, однако для обнаружения разрядов облако–облако космические средства подходят лучше. Кроме того, из космоса возможен обзор местностей, не охваченных наземными станциями: океаны, озера, горные районы [4].

Детектор молний космического базирования представляет собой высокоскоростную оптико-электронную камеру, размещаемую на космическом аппарате. Основные проблемы создания такой системы для низкоорбитального космического аппарата рассмотрены в [6], там же описан ее внешний вид. Отметим следующие ключевые вопросы.

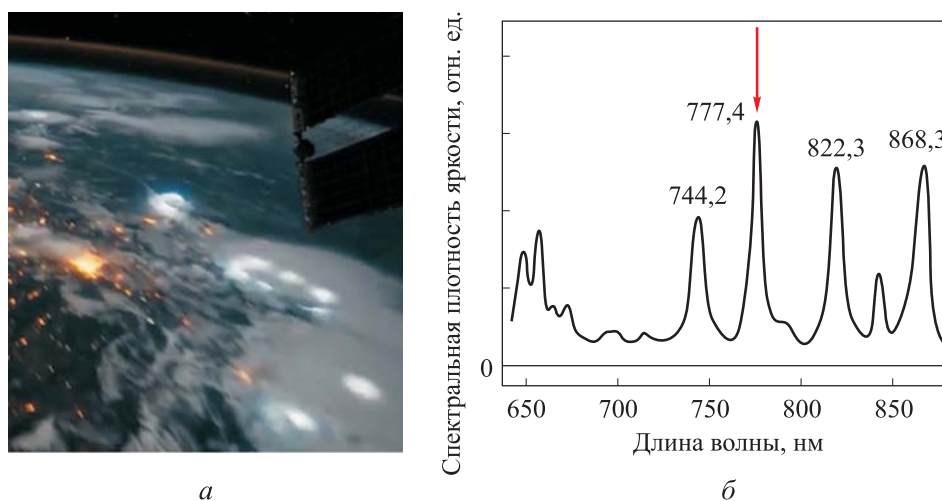
1. Молнии при наблюдении из космоса выглядят как круглые пятна-отблески диаметром 15...30 км [7] (рис. 1). Их необходимо наблюдать на облачном фоне, хорошо отражающем солнечный свет. При характерной интегральной яркости отблеска 5...10 мкДж/(м<sup>2</sup>·ср) [8–10] сигнал от фона будет превосходить сигнал от отблеска в 100 раз на дневной стороне витка.

2. Спектр свечения молнии состоит из нескольких узких линий, наиболее яркой из которых является полоса 777,2...777,5 нм [11]. Это требует внедрения в оптическую схему камеры сверхузкополосного светофильтра с шириной полосы пропускания 1,5...2,0 нм для выделения рабочего диапазона длин волн.

3. Молния включает в себя несколько световых импульсов [12], длительность каждого из которых не превышает 1 мс [13]. Это порождает требование на кадровую частоту порядка 1000 Гц в фотоприемнике. Как правило, длительность световых импульсов молний различна, но не превышает 1 мс, поэтому при разработке детектора молний целесообразно вести речь не об энергетической яркости  $L$ , Вт/(м<sup>2</sup>·ср), а об интегральном

по времени свечения яркости отблеска  $\Lambda_0$ , Дж/(м<sup>2</sup>·ср), в рабочем спектральном диапазоне 777,2...777,5 нм.

4. Алгоритм поиска молний на изображениях и его программная реализация для высокоскоростной работы в режиме реального времени очень сложны.



**Рис. 1.** Вид отблесков молний при наблюдении из космоса (а) и зависимость спектральной плотности яркости их свечения от длины волны (б)

Функционально детектор молний состоит из двух частей: 1) собственно высокоскоростной камеры (оптико-электронный блок ОЭБ-ДМ); 2) бортового запоминающего устройства БЗУ-ДМ. Расчетами и численным моделированием показано, что возможно создание детектора молний для работы на МКС с размером кадра 500×500 км. Выбранные аппаратные решения предусматривают использование КМОП-фотоприемника с размером кадра 768×768 пикселей при скорости съемки 1000 кадр/с. Для увеличения соотношения сигнал/шум предусмотрено бинирование 8×8 пикселей. На обработку поступают снимки размером 96×96 пикселей с пространственным разрешением 5 км. Показано, что при выбранном облике прибора вероятность обнаружения отблеска на дневной стороне витка составит не менее 70 %.

Для верификации алгоритма обработки снимков и принципов моделирования целесообразно провести макетирование детектора молний. Выполнено сравнение результатов поиска молний на сериях снимков, синтезированных программно и снятых макетом детектора молний. При этом должны совпадать характеристики фоноцелевой обстановки синтезированных изображений и снимков, полученных макетом детектора.

**Моделирование снимков и их обработка.** Перечислим основные этапы моделирования снимков. Моделирование изображений проводилось в среде *MATLAB R2013a* на основе результатов энергетического расчета детектора молний. Моделирование основано на обработке синтезированных снимков с заранее известными координатами и интегральной яркостью отблесков. Обработка синтезированных снимков позволяет определять вероятность обнаружения молний с известными характеристиками.

Порядок выполнения моделирования.

1. Определение незашумленных сигналов молнии и фона (в электронах) для каждого пикселя  $(i, j)$  на изображении с учетом виньетирования в объективе.

2. Зашумление сигнала для каждого пикселя с учетом фотонного шума и шума считывания фотоприемника.

3. Перевод зашумленных сигналов молнии и фона (в электронах) в уровни аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и округление их до неотрицательного целого числа.

4. Выполнение бинирования исходного изображения: усреднение по окну  $8 \times 8$  пикселей; именно бинированное изображение поступает на вход алгоритма обработки.

Алгоритм обработки снимков построен на принципе пороговой фильтрации. По снимкам, предшествующим обрабатываемому, вычисляется фоновый сигнал. Затем сигнал фона сравнивается с сигналом в исследуемом пикселе. Превышение пороговой разности этих значений служит основанием для дополнительной проверки пикселя по нескольким критериям-признакам вспышки. Одна из ключевых задач при моделировании работы детектора молний — выбор оптимального порога фильтрации. Малое пороговое значение обеспечивает обнаружение вспышек с вероятностью, близкой к 1, при этом имеет место большое число ложных срабатываний. Большое пороговое значение исключает ложные срабатывания детектора молний, но в то же время приводит к пропуску части истинных вспышек.

Пример выбора порога фильтрации шумов для синтезированного снимка размером  $96 \times 96$  пикселей, на который заранее наложены 16 вспышек с известными координатами и вычтен фон, приведен на рис. 2:

– на рис. 2, а хорошо заметны шумы, сохранившиеся после вычитания фонового сигнала от облаков;

– на рис. 2, б кружками отмечены три ложные вспышки, т. е. в результате фильтрации по пороговому значению 3 уровня АЦП многие шумовые пиксели преодолели малое пороговое значение;

– на рис. 2, *в* стрелкой показаны пять шумовых пикселей, преодолевших пороговое значение, ложные вспышки отсутствуют, так как эти пиксели одиночные (у таких пикселей нет соседей, преодолевших пороговое значение), пороговое значение можно принять оптимальным (результат фильтрации по пороговому значению 4 уровня АЦП);

– на рис. 2, *г* стрелками показаны шесть вспышек, в которых только один пиксель прошел фильтрацию, кружками — четыре вспышки, в которых такие пиксели отсутствуют, ложных молний нет, но вследствие большого порогового значения не все истинные вспышки распознаны (результат фильтрации по пороговому значению 8 уровня АЦП).

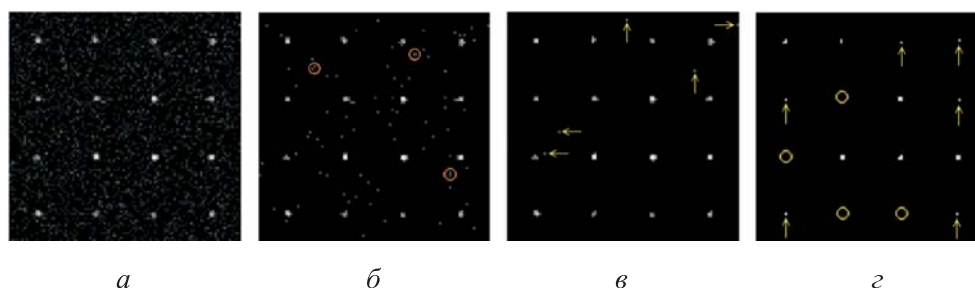


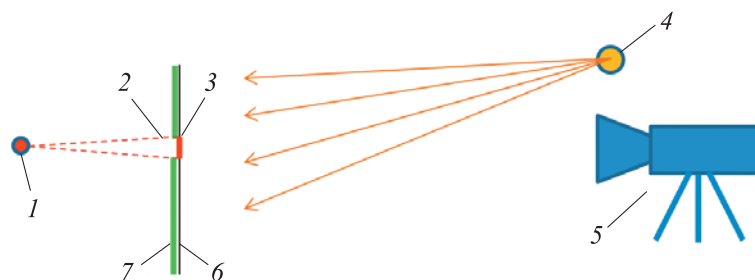
Рис. 2. Пример выбора порога фильтрации при обработке снимка после вычитания фона

Обработка синтезированных описанным способом снимков подтвердила правильность выбранных аппаратных решений детектора молний. Для экспериментальной верификации алгоритма обработки снимков и указанной процедуры моделирования снимков выполнены работы по макетированию детектора молний.

**Макетирование детектора молний.** Цель макетирования — экспериментальная проверка работоспособности алгоритма поиска молний на снимках и верификация способа их моделирования.

При выполнении макетирования детектора молний должны экспериментально определяться вероятности обнаружения отблесков в зависимости от их размера (при фиксированном сигнале фона) и соотношения яркостей фон/отблеск. Далее проводится сравнение полученных данных с результатами обработки модельных снимков. Это дает возможность проверки разработанного способа моделирования снимков и его результатов. Общий вид макета приведен на рис. 3.

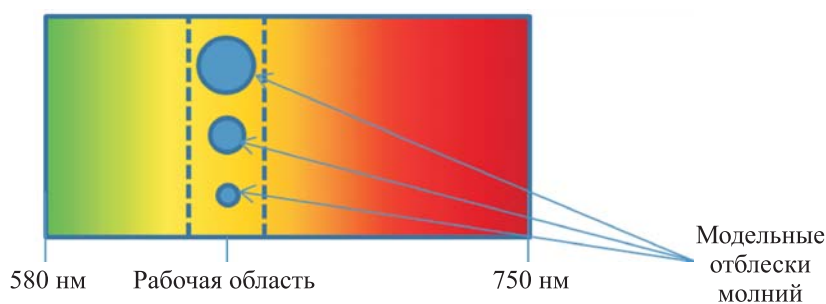
Макет выполнен на базе клинового гиперспектрометра, принцип работы и результаты испытаний которого описаны в [14, 15]. Гиперспектрометр содержит высокоскоростную камеру, построенную на КМОП-матрице.



**Рис. 3.** Схема макета детектора молний:

1 — лампа отблеска; 2 — отверстие; 3 — отблеск; 4 — лампа-осветитель фона;  
5 — камера (гиперспектрометр); 6 — бумага-фон; 7 — непрозрачный лист

В клиновом светофильтре длина волны зависит от номера столбца кадра. Таким образом, все имитационные отблески должны быть в одном столбце, чтобы обеспечить свечение на одной и той же длине волны. Вид кадра гиперспектрометра и принцип расположения модельных отблесков показаны на рис. 4.



**Рис. 4.** Вид кадра гиперспектрометра и принцип расположения модельных отблесков в нем

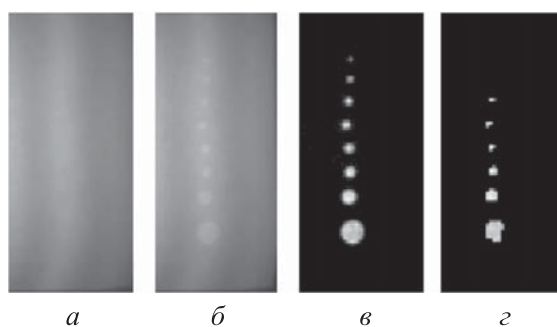
Фоноцелевая обстановка воспроизводится белым непрозрачным экраном, освещаемым лампой накаливания. В экране выполнены отверстия диаметром, соответствующим угловому размеру отблеска молнии. Свечение отблеска молнии имитируется второй лампой накаливания, находящейся за экраном. Регулировка яркости фона и отблесков осуществляется путем удаления/приближения ламп. Поскольку макет детектора молний работает в узком спектральном диапазоне шириной 8...10 нм, различие спектров ламп и Солнца можно пренебречь. Для работы алгоритма обнаружения отблесков ключевое значение имеет не рабочий диапазон длин волн, а значения сигналов, накопленных в пикселях изображения. Таким образом, при настройке макета можно выбрать длину волны, отличную от 777,4 нм. При этом важно обеспечить требуемые значения сигнала фона



и соотношения интегральных яркостей отблеск/фон. Именно фотонный шум, определяемый сигналом фона, вносит главный вклад в зашумленность снимка [6], критичную при обнаружении отблесков. Сигналы и от фона, и от отблеска формируются лишь от света в узкой спектральной полосе, поэтому появляется возможность применить в качестве источников света лампы накаливания.

В экране выполнено восемь отверстий диаметром 2...10 мм. При дальности наблюдения 4,5 м это соответствует диаметру изображений отблесков 13...64 небинированных пикселей фотоприемника (от 1,6 до 8 пикселей изображения). Появляется возможность одновременной съемки отблесков существенно разных размеров. Отверстия закрыты бумагой-фоном. При выключенной лампе отблесков круглые светящиеся пятна на бумажном экране не появляются, фон однороден. В реальных условиях наблюдения яркость облачного фона можно принять постоянной по площади, занимаемой отблеском (100...200 км<sup>2</sup>) при съемке с пространственным разрешением 5 км. Следовательно, нет необходимости воспроизведения неоднородности фона в выполняемом эксперименте.

Для воспроизведения реальной фоноцелевой обстановки необходимо, чтобы сигналы от фона и молнии соответствовали моделируемым условиям съемки. Например, для воспроизведения наихудших условий съемки (возвышение Солнца 90°) время накопления подбирается так, чтобы сигнал от фона составлял 67...73 % максимума (171–186 уровней АЦП). При имитации съемки местности вблизи терминатора (возвышение Солнца 5°) необходимо обеспечить сигнал фона 14–16 уровней АЦП. Примеры получаемых снимков приведены на рис. 5.



**Рис. 5.** Фрагменты снимков, сделанных макетом:

*a* — фон; *б* — фон и вспышки; *в* — вспышки с вычтенным фоном;  
*г* — фильтрация по пороговому значению

По результатам анализа можно сделать вывод, что обнаружены нижние шесть вспышек и не обнаружены две верхние вспышки минимального

диаметра. Вертикальные полосы обусловлены зависимостью чувствительности гиперспектрометра от длины волны и, следовательно, от номера столбца кадра.

Последовательность испытаний.

1. Выполнение настройки ламп освещения фона и отблеска, а также выбор времени экспозиции.

2. Съемка экрана с отблесками.

3. Сохранение темного кадра.

4. Исследование снимков с помощью *MATLAB* для определения сигнала фона, сигнала отблеска (для их различных диаметров), значения темного кадра и его шума.

5. Загрузка полученной серии снимков в алгоритм обработки изображений.

6. Запуск алгоритма обработки снимков.

7. Определение числа выявленных молний и, соответственно, вероятности обнаружения вспышки фиксированного размера для разных значений сигнала фона или сигнала отблеска.

8. Синтез снимков с параметрами, соответствующими п. 4 последовательности.

9. Загрузка синтезированных снимков в алгоритм обработки изображений для определения вероятности обнаружения вспышки какого-либо фиксированного размера от сигнала фона и сигнала отблеска.

Сравнение результатов обработки серий снимков, снятых макетом (п. 2), и синтезированных изображений, воспроизводящих такие же условия съемки (п. 8). Это позволяет испытать алгоритм обработки изображений и проверить корректность способа синтеза изображений.

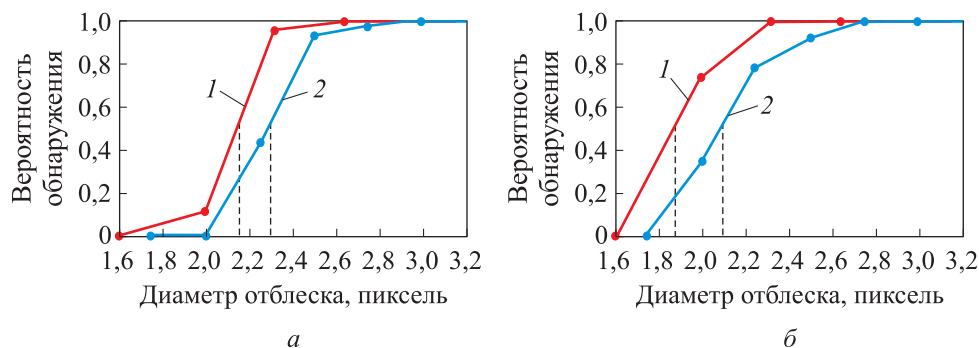
*Пример.* Осветители настроены так, что яркость фона в 20 раз больше яркости отблеска. При съемке получено 20 изображений. При этом отблеск № 1 (самый крупный) обнаружен на всех 20 снимках, отблеск № 4 — на девяти, а отблеск № 8 — только на одном. Следовательно, вероятности обнаружения отблесков с диаметрами 10, 4, 1,6 пикселей составят 100, 45 и 5 % соответственно (при соотношении яркостей фона и вспышки 20 : 1).

В используемой камере выходные снимки имеют разрядность (радиометрическое разрешение) 8 бит/пиксель. Условия съемки (сигнал фона, разрядность информации) на синтезируемых снимках должны быть приведены в соответствие с условиями на снимках, полученных при макетировании. Это необходимо для корректности сравнения результатов их обработки. Отметим, что в летном образце детектора молний целесообразно повысить радиометрическое разрешение до 10 бит/пиксель, что позволит



не только обнаруживать молнии, но и получать данные об интегральной яркости их отблесков [6]. Кроме того, повышение радиометрического разрешения позволяет существенно расширить диапазон интегральных яркостей обнаруживаемых отблесков.

**Результаты.** Исследована зависимость вероятности обнаружения отблеска от его размера (рис. 6). Вероятность обнаружения отблеска существенно зависит от диаметра его изображения. Предположим, что изображение вспышки имеет размер 1 пиксель. Тогда она не распознается алгоритмом при сколь угодно большой яркости отблеска: одним из критериев проверки является наличие хотя бы двух смежных пикселей, преодолевших пороговое значение. В процессе проведения съемок сигнал фона оставался неизменным (170 уровней АЦП), как и сигнал отблесков (18 уровней АЦП), что соответствует соотношению яркостей фона и отблеска 9,5 : 1. Обработка серии снимков позволяет построить зависимость вероятности обнаружения отблеска от его диаметра. Выполнено моделирование снимков с такими параметрами фоноцелевой обстановки. Аналогично получена и исследована серия снимков для соотношения яркостей фона и отблеска 15,5 : 1 (сигнал фона 160 уровней АЦП и сигнал молнии 11 уровней АЦП).

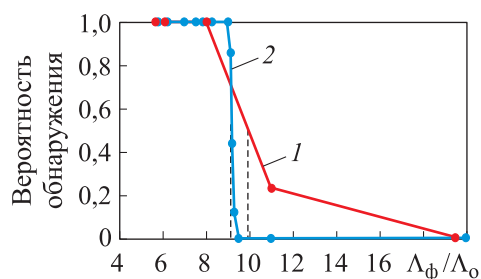


**Рис. 6.** Экспериментальная (1) и модельная (2) зависимости вероятности обнаружения отблеска от его диаметра для соотношений яркостей фона и молнии 9,5 : 1 (а) и 15,5:1 (б)

Основная характеристика для сравнения полученных данных — размер отблеска, обнаруживаемого с вероятностью 50 %. Результаты анализа позволяют сделать вывод, что расхождение будет около 15 %: при  $\Lambda_{\text{ф}}/\Lambda_{\text{о}} = 15,5$  с вероятностью 0,5 обнаруживаются отблески диаметром 1,85 и 2,15 пикселей для эксперимента и моделирования. Для вероятности обнаружения 70 % размеры обнаруживаемых отблесков составляют 2,00 и 2,25 пикселей (расхождение моделирования и эксперимента 13 %).

Аналогично определялась зависимость вероятности обнаружения отблеска от его яркости (рис. 7). В процессе съемок яркость фона поддерживалась постоянной, тогда как яркость отблеска изменялась. Здесь основная характеристика — яркость отблеска, обнаруживаемого с вероятностью 50 %. Отблеск размером 4,75 пикселя обнаруживается с вероятностью 50 % при  $\Lambda_{\phi}/\Lambda_0 = 9,1$  на синтезированных снимках и  $\Lambda_{\phi}/\Lambda_0 = 10$  на снимках, сделанных макетом. Точность совпадения составляет 10 %, что можно полагать удовлетворительным результатом.

**Рис. 7.** Экспериментальная (1) и модельная (2) зависимости вероятности обнаружения отблеска диаметром 4,75 пикселей от соотношения яркостей фона и вспышки



**Заключение.** На основании полученных результатов можно сделать вывод, что разработанный алгоритм обработки снимков позволяет проводить селекцию шумов и истинных вспышек. Показано, что предложенный способ моделирования снимков обеспечивает удовлетворительное совпадение результатов моделирования и эксперимента (не менее 15 %). Доказана правильность результатов определения вероятности обнаружения путем анализа синтезированных снимков. Это подтверждают проведенные расчеты характеристик детектора молний и сформированный на их основе облик прибора, его аппаратные и алгоритмические решения.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Finke U., Kreyer O. Detect and locate lightning events from geostationary satellite observations. Institut für Meteorologie und Klimatologie. Universität Hannover, 2002.
- [2] Moura C., Dos Santos W.A., Naccarato K.P., et al. Feasibility analysis of an optical payload in a lightning detection Cubesat. *Proc. 1st IAA Latin American Symp. Small Satellites*, 2017. URL: <http://www.unsam.edu.ar/institutos/colomb/Presentaciones/Session.7/IAA-LA-07-01.pdf> (дата обращения: 15.12.2019).
- [3] Zhang W., Zhang Y., Zheng D., et al. Relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity over the northwest Pacific. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2015, vol. 120, iss. 9, pp. 4072–4089. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014JD022334>
- [4] Шарков Е.А., Кузьмин А.В., Jeong S. Космический эксперимент «Конвергенция»: научные задачи, бортовая аппаратура, методики решения обратных задач. *Исследование Земли из космоса*, 2018, № 4, с. 71–96. DOI: <https://doi.org/10.31857/S020596140002356-2>

- [5] Черненко А.М. О связи гамма-вспышек земного происхождения (ТGF) с распределением примесей в тропосфере. *Тез. 15-й Всерос. открыт. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, 2017.  
URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6297>  
(дата обращения: 15.12.2019).
- [6] Квитка В.Е., Корх А.В. Создание детектора молний для Международной космической станции. *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*, 2018, № 66-1, с. 42–29.  
DOI: <https://doi.org/10.21667/1995-4565-2018-66-4-1-42-49>
- [7] Grandell J. Geostationary lightning monitoring with the Meteosat Third Generation Lightning Imager (MTG LI). *Convection Working Group Meeting*, 2012.  
URL: <https://slideplayer.com/slide/3266426> (дата обращения: 15.12.2019).
- [8] Blakeslee R.J., Christian H.J., Mach D.M., et al. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the International Space Station (ISS): mission description and science goals. *XV Int. Conf. Atmospheric Electricity*, 2014.  
URL: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20150002883> (дата обращения: 15.12.2019).
- [9] Christian H.J., Blakeslee R.J., Boccippio D.J., et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2003, vol. 108, no. D1, pp. 4-1–4-15. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JD002347>
- [10] Mach D.M., Christian H.J., Blakeslee R.J., et al. Performance assessment of the Optical Transient Detector and Lightning Imaging Sensor. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2007, vol. 112, iss. D9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007787>
- [11] Meteosat third generation lightning imager.  
URL: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/MeteosatThirdGeneration/index.html> (дата обращения: 15.12.2019).
- [12] Bergstrom J., Down D., Hagerty S.P., et al. Modelling and simulation of the GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM) instrument performance. *Third Symp. Future National Operational Environmental Satellites*, 2007.  
URL: [https://ams.confex.com/ams/87ANNUAL/techprogram/paper\\_120568.htm](https://ams.confex.com/ams/87ANNUAL/techprogram/paper_120568.htm)  
(дата обращения: 15.12.2019).
- [13] Dobber M., Grandell J. Meteosat Third Generation (MTG) Light Imager (LI) instrument performance and calibration for user perspective. *EUMETSAT*, 2014.  
URL: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1088&context=calcon>  
(дата обращения: 15.12.2019).
- [14] Квитка В.Е., Ключников М.В., Князев А.Н. и др. Разработка и исследование макетного гиперспектрометра ОЭА-ГС. *Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли. Матер. XII науч.-техн. конф.* Калуга, Манускрипт, 2015, с. 149–155.
- [15] Квитка В.Е., Ключников М.В., Князев А.Н. и др. Результаты испытаний макетного гиперспектрометра ОЭА-ГС. *Тр. 58-й науч. конф. МФТИ*. Долгопрудный, МФТИ, 2015.

**Квитка Василий Егорович** — ведущий инженер отделения 11 филиала АО «РКЦ «Прогресс»–НПП «ОПТЭКС» (Российская Федерация, 124460, Москва, Зеленоград, ул. конструктора Гуськова, д. 8, стр. 2); аспирант, МФТИ (Российская Федерация, 141701, Московская обл., Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Квитка В.Е. Моделирование и макетирование космического детектора молний. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2020, № 3 (132), с. 4–17. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-3-4-17>

## **SIMULATION AND PROTOTYPING OF AN ORBITAL LIGHTNING DETECTOR**

V.E. Kvitka

kva-vasja@yandex.ru

**Branch of Joint Stock Company Space Rocket Centre  
Progress–Scientific and Production Enterprise OPTEKS,  
Zelenograd, Moscow, Russian Federation  
Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudnyy,  
Moscow Region, Russian Federation**

---

### **Abstract**

The problem of detecting lightning flashes from space is becoming more and more important as the remote sensing of Earth, climatology and atmospheric physics develop. Orbital lightning detectors are designed both in Russia and abroad. The paper considers the problem of mathematical and physical simulation of a high-speed camera designed to observe lightning flashes from onboard spacecraft in low Earth orbit. Our previous works substantiated the exterior design of the lightning detector, computed its properties and described the algorithms behind the software. In order to validate the design results, we need to prototype the instrument. We describe the main problems of detecting lightning flashes as observed from space. We show a computer simulation method producing snapshots that takes into account the interference generated by the background and the photodetector. We studied the problems of recreating the target environment during prototyping of the lightning detector, accounting for the properties of the phenomenon observed, that is, the flash spot dimensions and the ratio of the background

### **Keywords**

*Lightning detector, remote sensing of Earth, low earth orbit, prototyping, high-speed camera*

brightness to that of the lightning. We describe the principle of comparing these two types of snapshots (taken by the prototype and synthesised by the software) and compared the results of processing the images obtained. The results matched, which allowed us to validate the snapshot processing algorithm and confirmed that the lightning detector simulation method developed is correct

Received 30.12.2019

Accepted 12.03.2020

© Author(s), 2020

## REFERENCES

- [1] Finke U., Kreyer O. Detect and locate lightning events from geostationary satellite observations. Institut für Meteorologie und Klimatologie. Universität Hannover, 2002.
- [2] Moura C., Dos Santos W.A., Naccarato K.P., et al. Feasibility analysis of an optical payload in a lightning detection Cubesat. *Proc. 1st IAA Latin American Symp. Small Satellites*, 2017.  
Available at: <http://www.unsam.edu.ar/institutos/colomb/Presentaciones/Session.7/IAA-LA-07-01.pdf> (accessed: 15.12.2019).
- [3] Zhang W., Zhang Y., Zheng D., et al. Relationship between lightning activity and tropical cyclone intensity over the northwest Pacific. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2015, vol. 120, iss. 9, pp. 4072–4089. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014JD022334>
- [4] Sharkov E.A., Kuzmin A.V., Jeong S. Space experiment “Convergence”: scientific objectives, on-board equipment, methods of reverse problems. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2018, no. 4, pp. 71–96 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S020596140002356-2>
- [5] Chernenko A.M. [On relation between gamma-ray bursts of terrestrial origin (TGF) and impurities distribution in troposphere]. *Tez. 15-y Vseros. otkryt. konf. “Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa”* [Abs. 15th Russ. Open Conf. Today Problems of Remote Earth Sounding from Space], 2017 (in Russ.).  
Available at: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=144&thesis=6297> (accessed: 15.12.2019).
- [6] Kvitka V.E., Korkh A.V. Lightning detector creation for international space station. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Vestnik of Ryazan State Radio Engineering University], 2018, no. 66-1, pp. 42–29 (in Russ.).  
DOI: <https://doi.org/10.21667/1995-4565-2018-66-4-1-42-49>
- [7] Grandell J. Geostationary lightning monitoring with the Meteosat Third Generation Lightning Imager (MTG LI). *Convection Working Group Meeting*, 2012.  
Available at: <https://slideplayer.com/slide/3266426> (accessed: 15.12.2019).
- [8] Blakeslee R.J., Christian H.J., Mach D.M., et al. Lightning Imaging Sensor (LIS) for the International Space Station (ISS): mission description and science goals. *XV Int. Conf. Atmospheric Electricity*, 2014.  
Available at: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20150002883> (accessed: 15.12.2019).

- [9] Christian H.J., Blakeslee R.J., Boccippio D.J., et al. Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2003, vol. 108, iss. D1, pp. 4-1-4-15. DOI: <https://doi.org/10.1029/2002JD002347>
- [10] Mach D.M., Christian H.J., Blakeslee R.J., et al. Performance assessment of the Optical Transient Detector and Lightning Imaging Sensor. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2007, vol. 112, iss. D9. DOI: <https://doi.org/10.1029/2006JD007787>
- [11] Meteosat third generation lightning imager.  
Available at: <https://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/MeteosatThirdGeneration/index.html> (accessed: 15.12.2019).
- [12] Bergstrom J., Down D., Hagerty S.P., et al. Modelling and simulation of the GOES-R Geostationary Lightning Mapper (GLM) instrument performance. *Third Symp. Future National Operational Environmental Satellites*, 2007.  
Available at: [https://ams.confex.com/ams/87ANNUAL/techprogram/paper\\_120568.htm](https://ams.confex.com/ams/87ANNUAL/techprogram/paper_120568.htm) (accessed: 15.12.2019).
- [13] Dobber M., Grandell J. Meteosat Third Generation (MTG) Light Imager (LI) instrument performance and calibration for user perspective. *EUMETSAT*, 2014.  
Available at: <https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1088&context=calcon> (accessed: 15.12.2019).
- [14] Kvitka V.E., Klyushnikov M.V., Knyazev A.N., et al. [Development and study on layout of OEA-GS hyperspectrometer]. *Sistemy nablyudeniya, monitoringa i distantsionnogo zondirovaniya Zemli. Mater. XII nauch.-tekh. konf.* [Systems of Earth Remote Sensing and Monitoring. Proc. XII Sci.-Tech. Conf.]. Kaluga, Manuscript Publ., 2015, pp. 149–154 (in Russ.).
- [15] Kvitka V.E., Klyushnikov M.V., Knyazev A.N., et al. [Results of testing OEA-GS hyperspectrometer]. *Tr. 58-y nauch. konf. MFTI* [Proc. 58th MIPT Sci. Conf.]. Dolgoprudnyy, MIPT Publ., 2015 (in Russ.).

**Kvitka V.E.** — Leading Engineer, Department 11, branch of Joint Stock Company Space Rocket Centre Progress–Scientific and Production Enterprise OPTEKS (Konstruktora Guskova ul. 8, str. 2, Zelenograd, Moscow, 124460 Russian Federation); Post-Graduate Student, Moscow Institute of Physics and Technology (Institutskiy pereulok 9, Dolgoprudnyy, Moscow Region, 141701 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Kvitka V.E. Simulation and prototyping of an orbital lightning detector. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2020, no. 3 (132), pp. 4–17 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2020-3-4-17>