

УДК 004.65:629.78

URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/arise/nateeu/1088.html>

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА ЗАПУСКОВ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.Ю. Ипатова

ann_ipatova@bk.ru

В.Д. Мамонов

mavlad2013@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Рассмотрена разработка реляционной базы данных для учета запусков малых космических аппаратов, охватывающая период с 1998 по 2024 г. Соответствуя все возрастающему интересу к этой категории аппаратов, база данных позволяет систематизировать информацию и значительно упрощает проведение аналитических исследований. В процессе исследования проведен анализ открытых источников, что позволило сформировать структуру базы и определить ключевые объекты, содержащиеся в ней. Также описаны внешний вид и функциональность пользовательского интерфейса. Результаты работы демонстрируют, что созданная база данных не только способствует эффективному учету запусков, но и открывает новые возможности для анализа и прогнозирования в области космических технологий.

Ключевые слова: запуски, малые космические аппараты, космические технологии, CubeSat, Access, база данных, космический рынок, космический аппарат, малые спутники

Введение. В последние годы наблюдается значительный рост популярности малых космических аппаратов (МКА) [1, 2]. В период с 2015 по 2024 г. малые спутники составили 95 % от общего числа запущенных космических аппаратов (КА). В частности, в 2024 г. доля МКА достигла 97 % от общего числа аппаратов, запущенных в этом году, что свидетельствует о продолжающемся росте их использования и интересе к малым спутникам в области космических технологий [3]. Кроме того, наблюдается рост числа операторов, занимающихся запуском спутников этого типа. В 2015 г. число операторов составило 66, из которых 39 впервые осуществили свои запуски МКА. К 2024 г. общее число операторов увеличилось до 222, среди которых 98 операторов также впервые провели запуски МКА [3].

Увеличение интереса к малым спутникам обусловлено внедрением современных методов проектирования и производства, которые позволяют значительно снизить массу аппаратов и, как следствие, уменьшить затраты на их запуск. Снижение стоимости МКА открывает новые возможности для проведения исследований компаниями с ограниченным бюджетом, включая учебные заведения и стартапы. С учетом того что порог входа в область запусков малых спутников становится значительно ниже по сравнению с тра-

диционными КА, ожидается, что количество таких аппаратов продолжит расти [4]. Вследствие этого возникает необходимость в систематическом учете и анализе данных о запусках малых спутников. Это создает актуальную задачу разработки специализированной базы данных, которая позволит эффективно отслеживать и анализировать информацию о запусках и запущенных МКА.

Целью данной работы является разработка реляционной динамической базы данных, предназначенной для учета и анализа запусков МКА.

Назначение базы данных. Разработанная в программе Access реляционная база данных (БД) [5] «Запуски малых космических аппаратов» предназначена для учета запусков малых спутников. Создание такой базы направлено на решение ряда задач. Во-первых, такая база данных позволяет централизовать информацию обо всех запусках, что упрощает доступ к данным и их обработку. Во-вторых, накопление информации создает основу для применения методов анализа и прогнозирования. В-третьих, реализация интуитивно понятного интерфейса с динамическим обновлением обеспечивает эффективное взаимодействие с пользователями и заинтересованными сторонами, что улучшает восприятие информации и способствует более качественному анализу данных. Кроме того, база данных будет способствовать оценке степени наполненности орбит, что является важным аспектом для обеспечения безопасности спутников и предотвращения столкновений в космосе.

Выбор объектов для базы данных. При разработке базы данных важно определить ключевые объекты, которые будут храниться в системе и каждый из которых представлен отдельной записью, содержащей информацию о МКА и их запусках.

В контексте анализа объектов, связанных с МКА, классификация по массе [6] представляет собой один из ключевых подходов. Данная классификация представлена ниже:

фемтоспутники — менее 0,1 кг;

пикоспутники — 0,1...1,0 кг;

наноспутники — 1...10 кг;

микроспутники — 10...100 кг;

миниспутники — 100...500 кг.

Спутники массой менее 100 кг называются сверхмалыми КА [6].

Помимо классификации по массе, можно выделить типы малых КА, такие как CubeSat [7], PocketQube [8], ThinSat [9] и TinySat [10]. Эти аппараты характеризуются различными архитектурными решениями, в табл. 1 представлены основные характеристики этих типов.

На основе проведенного анализа данных о космических аппаратах [11–13] основой базы данных стали типы малых космических аппаратов, указанные

в табл. 1, что соответствует сверхмалым КА, т. е. диапазону от фемтоспутников до наноспутников. На разработанном этапе миниспутники не включены в БД, поскольку меньшие по массе классы представляют больший интерес, для их запуска требуются более высокие затраты и, вследствие этого, они являются менее доступными для разработчиков. Также выбранные спутники имеют более строгую классификацию.

Таблица 1. Типы МКА

Тип МКА	Описание	Размеры модуля (аппарата), см	Масса модуля (аппарата), г
CubeSat	Стандартный малый спутник с модульной архитектурой, часто используется в образовательных и научных миссиях. Модули могут быть 1U, 2U, 3U и т. д.	1U: 10×10×10	1U: 1330
PocketCube	Компактный спутник с модульной архитектурой, часто используется для простых экспериментов. Модули могут быть от 1p до 3p	1p: 5×5×5	1p: до 250
Femtosatellite	Очень малый спутник, предназначенный для простых задач и экспериментов. Модульная архитектура отсутствует	3×3×3	до 100
ThinSat	Плоский спутник, предназначенный для различных экспериментов, с минимальной толщиной. Модульная архитектура отсутствует	11,1×11,4×1,25	до 280
TinySat	Компактный малый спутник для простых задач, может иметь различные конструкции. Модульная архитектура отсутствует	5×5×5	до 250

Создание базы данных. Основной структурой для хранения данных в базе являются таблицы. Они организуют информацию в виде записей (строк) и полей (столбцов). Каждое поле отражает отдельный аспект данных, а запись содержит полную информацию об объекте.

В процессе разработки сформированы семь таблиц, которые охватывают ключевые аспекты, связанные с запусками малых космических аппаратов. Описание этих таблиц и количество добавленных в базу записей представлено в табл. 2.

Схема данных разработанной базы представлена на рис. 1. Она визуализирует структуру таблиц и взаимосвязи между ними.

Таблица 2. Описание таблиц базы данных «Запуски малых космических аппаратов»

Название таблицы	Описание	Количество записей
Запуски	Содержит информацию о запусках, в рамках которых выводились МКА. Включает даты их проведения, используемые ракеты-носители (РН), космодромы, запускающие организации и статусы запусков (аварийный или успешный)	286
Космодромы	Содержит информацию о космодромах, с которых осуществлялись запуски МКА. Включает названия и страны, где они расположены	29
Ракеты-носители	Содержит сведения о ракетах-носителях, на которых выводились МКА. Включает названия, страны разработчиков, разработчиков и другие характеристики	65
Космические аппараты	Содержит основную информацию о малых космических аппаратах. Включает названия, классы (согласно массе), типы (согласно табл. 1), страны разработчиков, организации разработчиков, а также назначения и краткие описания аппаратов	2804
Характеристики КА	Содержит детализированные характеристики. Включает в себя сведения, в которых отражены основные характеристики самих МКА, а также информацию об орбите	2804
Фото РН	Содержат изображения РН и КА. Включают в себя поля с уникальным идентификатором изображения и вложением с самим изображением РН и КА соответственно	1211
Фото КА		65

Каждая запись в таблице «Ракеты-носители» может быть связана с несколькими запусками, что отражает реальную практику использования одной и той же РН для различных миссий. Аналогично, таблица «Космодромы» имеет связь с таблицей «Запуски», что позволяет отслеживать, где именно происходят запуски.

Таблица «Запуски» служит центральным элементом, связывая информацию о запусках с космическими аппаратами, которые участвуют в этих миссиях. Каждый космический аппарат, в свою очередь, может иметь уникальные характеристики, хранящиеся в отдельной таблице, что позволяет детально описывать технические параметры каждого аппарата. Кроме того, таблицы, содержащие изображения ракет и КА, обеспечивают визуализацию информации. Изображения вынесены в отдельные таблицы, это решение

позволяет избежать дублирования данных и способствует экономии места в базе данных.

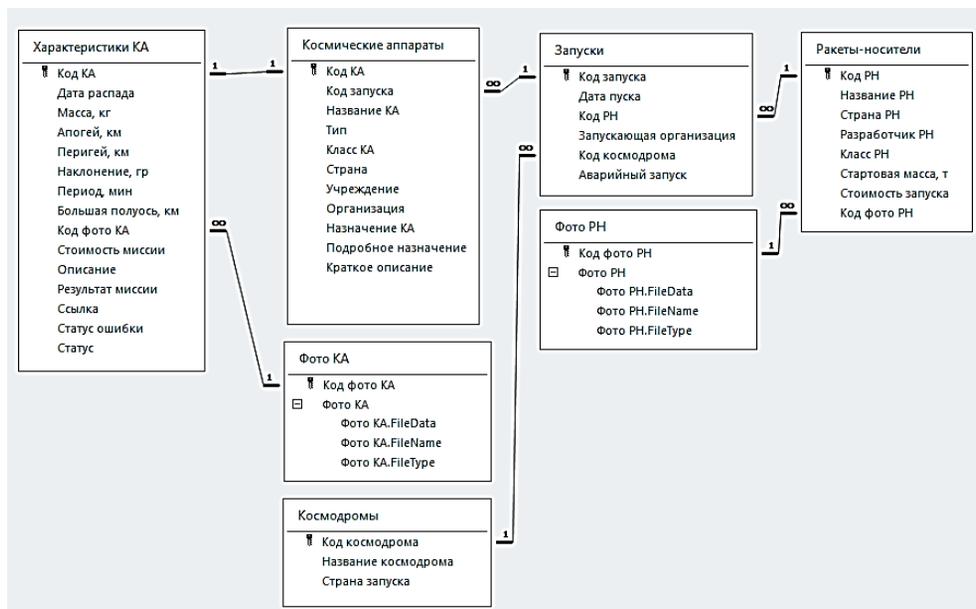


Рис. 1. Экранная копия схемы данных

Итоги разработки базы данных. В результате работ была реализована База данных, которая включает в себя информацию о запущенных малых космических аппаратах в период с 1998 по 2024 г. [11–13].

Для повышения удобства работы с информацией, а также для отображения медиафайлов, статистических и графических данных, которые формируются на основе запросов и динамически обновляются при добавлении новых записей, были разработаны следующие формы.

Форма «Главная» (рис. 2, 3) служит основным меню для навигации по другим формам и отображает ключевую статистику по запускам МКА.

В форме расположены вкладки, которые предоставляют доступ к различным статистическим данным и графикам, связанным с запусками МКА. По данным графиков можно сделать следующие выводы:

- подавляющее большинство запусков малых спутников завершаются успешно, что свидетельствует о высоком уровне надежности современных технологий запуска;

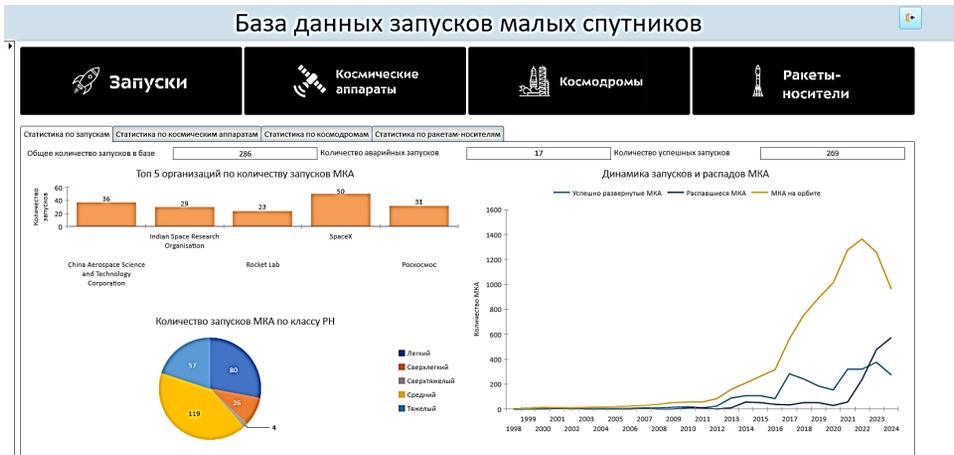


Рис. 2. Экранная копия формы «Главная»

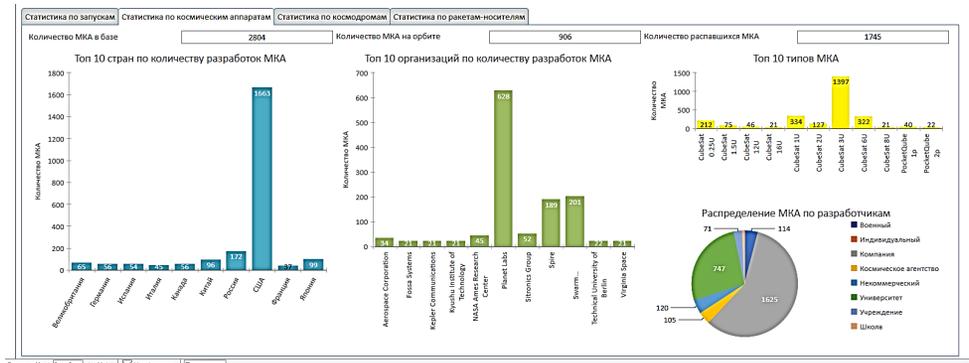


Рис. 3. Экранная копия вкладки «Статистика по космическим аппаратам» формы «Главная»

– Китайская аэрокосмическая корпорация, Роскосмос и SpaceX являются лидерами по количеству запусков малых спутников;

– с 2015 г. наблюдается значительный рост количества успешно развернутых МКА. Однако в 2020 году наблюдается спад с последующим ростом в 2021 г., что может быть связано с пандемией COVID-19. Пик наблюдается в 2023 г.;

– распады спутников также увеличиваются. С 2022 г. наблюдается значительный рост распавшихся МКА, что может быть связано с естественным износом и устареванием спутников, а также с увеличением количества запусков;

– наполненность орбиты малыми космическими аппаратами стремительно растет до 2022 г., после наблюдается спад данного показателя. Данный параметр подчеркивает важность мониторинга и управления космическим мусором, чтобы избежать столкновений и обеспечить безопасность космических операций;

– лидерство в сфере запусков малых космических аппаратов принадлежит США. Соединенными штатами было осуществлено наибольшее количество запусков и разработок МКА. Лидер по разработкам МКА американская компания — Planet Labs, а лидер по осуществлению запусков — SpaceX;

– второе место по количеству разработок МКА занимает Россия, она также имеет лидирующие позиции по запускам;

– компании и академическое сообщество является одними из ключевых игроков в разработке малых космических аппаратов;

– самый популярный тип малых спутников — это CubeSat 3U. Разработано и запущено 1397 спутников данного формата, это составляет 50 % от общего числа МКА;

– преобладают запуски на легких и средних РН.

На вкладках «Статистика по космодромам» и «Статистика по ракетам-носителям» представлены гистограммы, отображающие пять ведущих стран (территорий запуска) и разработчиков РН по количеству запусков и запущенных МКА.



Рис. 4. Экранная копия исходного вида формы «Ракеты-носители»

Формы «Ракеты-носители» (рис. 4) и «Космодромы» имеют схожую структуру, отражающую краткие сведения о ракетах-носителях и космодро-

мах соответственно. Также в формах во вкладках расположены гистограммы, позволяющие оценить количество запусков КА за разные годы, по которым можно сделать выводы об активности в разные периоды времени.

Данные формы оснащены динамическими фильтрами, которые позволяют отбирать записи, удовлетворяющие заданным условиям (рис. 5). Они реализованы на основе запросов к базе данных, при применении одного из фильтров происходит автоматическая адаптация остальных. В результате в них отображаются только те значения, которые соответствуют критериям, установленным предыдущими примененными фильтрами. Таким образом, примененные фильтры исключают из других полей те элементы, которые не соответствуют оставшимся записям. Помимо этого, гистограммы обновляются в зависимости от примененных фильтров. На графических примерах (рис. 6) можно наблюдать, как изменяется набор доступных данных при применении одного из фильтров на форме «Ракеты-носители».

Формы «Космодромы» и «Ракеты-носители» обеспечивают переход к формам «Запуски» (рис. 7) и «Космические аппараты» (рис. 8) с отображением запусков и МКА, которые были осуществлены с выбранных космодрома или РН. Эти формы отражают краткие сведения о запусках и малых спутниках с возможностью перехода к более подробной информации. В них также реализованы динамические фильтры, а форма «Запуски» имеет гистограмму с распределением аварийных и успешных запусков по годам, которая аналогично предыдущим обновляется после применения фильтров.



Рис. 5. Экранная копия вида формы «Ракеты-носители после» применения фильтров

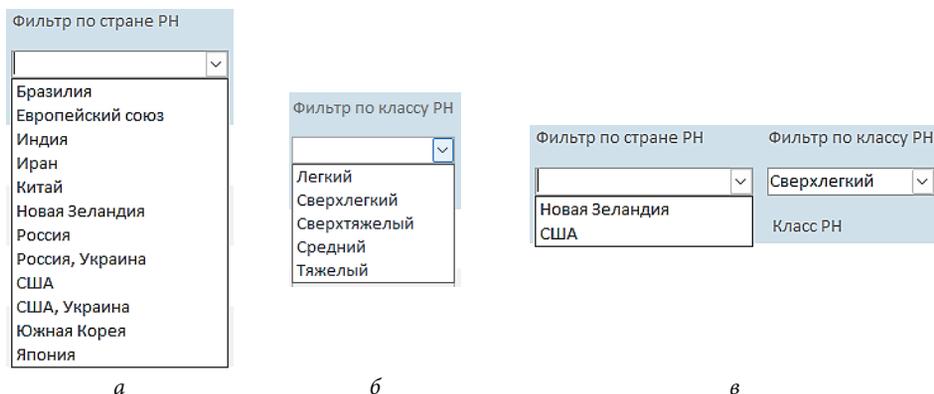


Рис. 6. Пример применения фильтров формы «Ракеты-носители»:

а — список значений поля «Фильтр по стране РН» до применения фильтров; *б* — список значений поля «Фильтр по классу РН» до применения фильтров; *в* — список значений поля «Фильтр по стране РН» после применения фильтра «Сверхлегкий» для поля «Фильтр по классу РН»

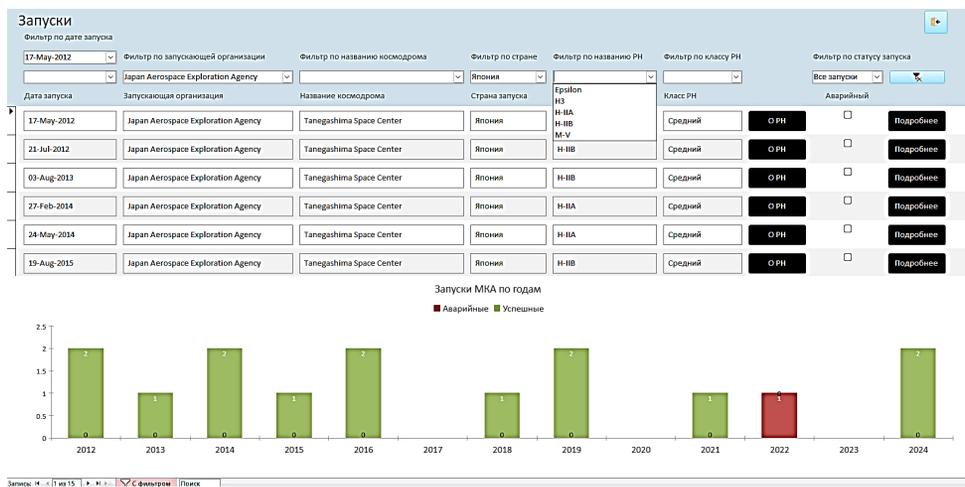


Рис. 7. Экранная копия вида формы «Запуски» после применения фильтров

При нажатии на кнопки с подробной информацией на формах, описанных ранее, можно перейти к формам «Информация о РН» (рис. 9), «Информация о КА» (рис. 10) и «Информация о запуске». В них отражена вся информация об объекте, содержащемся в базе данных. В форме с информацией о РН показан график, который предоставляет информацию о запущенных ей МКА и демонстрирует успешность вывода на орбиту данных спутников.

Космические аппараты

Фильтр по дате: 12-Jan-2018 | 25-Jun-2019

Фильтр по типу КА: | Фильтр по стране К: | Фильтр по учреждению: Школа | Фильтр по организации: | Фильтр по назначению КА: | Распаса: |

Дата запуска	Название КА	Тип	Страна	Учреждение	Организация	Назначение КА	Состояние
09-Jul-2018	SiriusSat 2 (SiriusSat-2)	Наноспутник	Россия	Школа	Образовательный центр «Сирius»	Академический / Образовательный	Распаса
Собран школьниками в образовательных целях, а также в качестве полезной нагрузки для детектора частиц.							Подробнее
09-Jul-2018	SiriusSat 1 (SiriusSat-1)	Наноспутник	Россия	Школа	Образовательный центр «Сирius»	Академический / Образовательный	Распаса
Собран школьниками в образовательных целях, а также в качестве полезной нагрузки для детектора частиц.							Подробнее
11-Nov-2018	Invine01 (Invine 01)	Наноспутник	США	Школа	Woodbridge High School	Академический / Образовательный	Распаса
Образовательная миссия, которая даёт старшеклассникам опыт создания, тестирования и управления наноспутником с целью развития интереса и талантов в области инженерии.							Подробнее
16-Dec-2018	DaVinci (Da Vinci)	Наноспутник	США	Школа	North Idaho STEM Charter Academy	Академический / Образовательный	Распаса
Разработка спутника с возможностью загружать цифровые материалы в капсулу времени спутника, где собирались хранить любимые фотографии, видео, песни, книги и другие материалы.							Подробнее
25-Jun-2019	Stangsat	Наноспутник	США	Школа	Merritt Island High School	Академический / Образовательный	Распаса
Основная задача – измерение данных ударов и вибрации во время запуска.							Подробнее

Рис. 8. Экранная копия формы «Космические аппараты»

Ракета-носитель Antares

Название РН	Antares
Страна РН	США
Разработчик РН	Orbital Sciences Corporation
Класс РН	Средний
Стартовая масса, т	281
Стоимость запуска	
Количество запусков (всего/аварийных)	15 / 1
Количество запущенных КА (всего/успеш)	236 / 187
Процент успеха (запуски/КА)	93.33 / 85.57



Количество выведенных КА

Легенда: Успешные (зеленый), Возвращен на Землю (синий), Ожидает развертывания (красный), Не был запущен (серый), Ошибка развертывания (оранжевый)

Дата запуска	Успешные	Возвращен на Землю	Ожидает развертывания	Не был запущен	Ошибка развертывания
4/23/2013	1	0	0	0	0
1/9/2014	3	0	0	0	0
7/13/2014	2	0	0	0	0
8/6/2014	1	0	0	0	0
2/6/2015	1	0	0	0	0
2/12/2015	1	0	0	0	0
4/12/2015	1	0	0	0	0
4/21/2015	1	0	0	0	0
11/2/2019	1	0	0	0	0
1/24/2020	1	0	0	0	0
0/8/2020	1	0	0	0	0
1/28/2021	1	0	0	0	0
1/17/2022	1	0	0	0	0

Запуски РН

Дата пуска	Запускающая организация	Название космодрома	Аварийный пуск
09-Jan-2014	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>
14-Feb-2020	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>
20-Feb-2021	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>
19-Feb-2022	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>
21-Apr-2013	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>
17-Apr-2019	Northrop Grumman	Wallops Flight Facility	<input type="checkbox"/>

Рис. 9. Экранная копия формы «Информация о РН»

Заключение. В результате выполненных работ спроектирована специализированная база данных для учета запусков МКА, охватывающая период с 1998 по 2024 г.

1. Разработка БД позволила централизовать информацию о запусках, упростить доступ к данным и их обработку.

2. Применение динамических фильтров в пользовательском интерфейсе значительно улучшило взаимодействие с базой данных, позволяя пользователям быстро находить необходимую информацию. Графическое и статистическое отображение данных в различных формах, облегчает анализ и позволяет выявлять тренды и закономерности в запуске малых спутников.

Рис. 10. Экранная копия формы «Информация о КА»

3. С учетом текущих тенденций в области запусков МКА, возможности данной базы данных могут включать:

- проведение комплексного анализа данных. По данным, содержащимся в базе, можно более детально оценить влияние различных факторов и прослеживать тенденции в данной сфере;

- использование исторических данных для создания моделей прогнозирования, которые могут предсказывать количество запусков малых спутников в будущем и другие факторы;

- расширение базы данных и включение других типов спутников. Это повысит ее универсальность и актуальность, позволяя создать более полное представление о сфере запусков.

Литература

- [1] *Большое будущее малых спутников*. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/bolshoe-budusee-malyh-sputnikov> (дата обращения 21.04.2025).
- [2] *Малые спутники для большого космоса: микро-аппараты на ГСО укрепляются на рынке*. URL: <https://satcomrus.ru/news/malye-sputniki-dlya-bolshogo-kosmosa-mikro-apparaty-na-gso-ukrepyayutsya-na-rynke> (дата обращения 21.04.2025).
- [3] *BryceTech — Smallsats by the Numbers 2025*. URL: <https://brycetech.com/reports/report-documents/smallsats-2025> (дата обращения 21.04.2025).
- [4] *Small Satellite Market Size, Share & Forecast Report, 2025–2034*. URL: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/small-satellite-market> (accessed April 21, 2025).

- [5] Агафонов А.А. *Основы технологии баз данных*. Самара, Самарский университет, 2023.
- [6] Крамлих А.В. *Модульное проектирование микро/наноспутников*. Самара, Изд-во СГАУ, 2010. URL: <https://ru.z-lib.fm/dl/18448189/f7662d> (дата обращения 25.04.2025).
- [7] ISO 17770:2017. *Space systems — Cube satellites* (CubeSats). Switzerland, 2017. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/e2a7d1f6-f563-413e-a6f9-4701f0f23928/iso-17770-2017> (accessed April 25, 2025).
- [8] *PocketQube Standard. Issue 1*. URL: <https://static1.squarespace.com/static/53d7dcdce4b07a1cddb08a4/t/5b34c395352f5303fcec6f45/1530184648111/PocketQube+Standard+issue+1+-+Published.pdf> (accessed April 25, 2025).
- [9] Twiggs R., Zucherman A., Bujold E., Counts N., Colman C., Garcia J., Diddle A., Zhirkina P. *The ThinSat Program: Flight Opportunities for Education, Research and Industry. 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, Logan, UT, 2018.
- [10] *Спутники формата «TinySat» развернуты из контейнера МКА «STRATOSAT-TK1 (RS52S)»*. URL: <https://r4uab.ru/2023/07/11/sputniki-formata-tynysat-razvyornuty-iz-kontejnera-mka-stratosat-tk1-rs52s> (дата обращения 25.04.2025).
- [11] *Nanosatellite & CubeSat Database*. URL: <https://www.nanosats.eu/database> (accessed April 27, 2025).
- [12] *Chronology of Space Launches — Gunter's Space Page*. URL: <https://space.skyrocket.de/directories/chronology.htm> (accessed April 27, 2025).
- [13] *Browse satellites by launch date*. URL: <https://www.n2yo.com/browse/> (accessed April 27, 2025).

Поступила в редакцию 10.06.2025

Ипатовая Анна Юрьевна — студентка кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Мамонов Владислав Дмитриевич — студент кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Васильева Татьяна Владимировна, старший преподаватель кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация. E-mail: vtv64@mail.ru

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Ипатовая А.Ю., Мамонов В.Д. Разработка базы данных для учета и анализа запусков малых космических аппаратов. *Политехнический молодежный журнал*, 2026, № 01 (102). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/arse/nateeu/1088.html>

DEVELOPMENT OF A DATABASE TO RECORD AND ANALYZE SMALL SPACECRAFT LAUNCHES

A.Yu. Ipatova

ann_ipatova@bk.ru

V.D. Mamonov

mavlad2013@mail.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The development of a relational database for recording launches of small spacecraft, covering the period from 1998 to 2024, is considered. Reflecting the growing interest in this category of spacecraft, the database allows for the systematization of information and significantly simplifies the conduct of analytical research. In the course of the study, an analysis of open sources was carried out, which made it possible to form the database structure and identify the key objects contained within it. The appearance and functionality of the user interface are also described. The results demonstrate that the created database not only contributes to the efficient recording of launches but also opens up new opportunities for analysis and forecasting in the field of space technology.

Keywords: launches, small spacecraft, space technology, CubeSat, Access, database, space market, spacecraft, small satellites

Received 10.06.2025

Ipatova A.Yu. — Student of Department of Technologies of Rocket and Space Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Mamonov V.D. — Student of Department of Technologies of Rocket and Space Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Vasilieva T.V., Senior Lecturer of Department of Technologies of Rocket and Space Engineering, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation. E-mail: vtv64@mail.ru

Please cite this article in English as:

Ipatova A.Yu., Mamonov V.D. Development of a database to record and analyze small spacecraft launches. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal*, 2026, no. 01 (102). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/arise/nateeu/1088.html>