

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДОМ КЛАССИФИКАЦИИ НИОКР КОСМИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Гапоненко О.В.^{*}, Гаврин Д.С.^{**}, Свиридова Е.С.^{***}

НПО «Техномаш»,

3-й проезд Марьиной Рощи, 40, Москва, 127018, Россия

** e-mail: gaponenko@tmnpo.ru*

*** e-mail: gds@tmnpo.ru*

**** e-mail: e.sviridova@tm.fsa*

Статья поступила в редакцию 06.12.2018

Приведены основные направления исследований космических функциональных и космических промышленных технологий. Предложен единый классификатор технологий, а также метод сравнительного анализа стратегического технологического инвестиционного плана NASA STIP 2017, программы космических технологий Европейского космического агентства и ФКПР на 2016–2025 гг. путем классификации направлений исследований.

Ключевые слова: технологические направления космонавтики и ракетно-космической промышленности, классификатор космических функциональных и промышленных технологий, PostgreSQL.

В процессе информационно-аналитического сопровождения стратегических программ развития технологического развития ракетно-космической промышленности и принятия управленческих решений отраслевого уровня возникает задача классификации предмета исследований. В данном случае – это совокупность программных мероприятий – научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) технологического развития космонавтики и ракетно-космической промышленности.

Классификаторы [1] представляют собой иерархически структурированный перечень каких-либо объектов, позволяющий находить каждому из них свое место, и имеют определенное (обычно в виде индекса) обозначение. Классификация – группировка объектов на качественном уровне, отнесение их к конкретным классам, которые характеризуются общими свойствами, так называемыми классификационными признаками. Данная процедура направлена на выделение однородных свойств и сортировку объектов в соответствии с ними, что позволяет выявить внутреннюю структуру совокупности объектов аналитического исследования.

Существующая классификация НИОКР в федеральных целевых и государственных программах (ФЦП) «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации» не в полной мере отражает структуру программных мероприятий – совокупность НИОКР технологического развития и применима только к промышленным технологиям. В федеральной космической программе (ФКП) НИОКР классифицированы по целевому назначению конечных изделий [2]. Использование классификации НИОКР не применимо в других ФЦП и наоборот. Наиболее целесообразной, по мнению авторов статьи, является классификация по технологическим направлениям.

В отечественной практике анализа направлений исследований, связанных с космической деятельностью, сложилось разделение «технологических» НИОКР на собственно технологии космонавтики (космические функциональные технологии) и промышленные технологии создания космической техники (космические промышленные технологии) [3, 4].

В космических функциональных технологиях можно выделить следующие направления.

Средства выведения, в том числе многоразовые и частично многоразовые. Технологии создания ракет-носителей (РН) предлагается классифицировать в зависимости от грузоподъемности [4, 9] на: РН сверхтяжелого класса (свыше 100 т полезной нагрузки (ПН) при выведении на круговую орбиту высотой 200 км); РН тяжелого класса (от 20 до 100 т ПН); РН среднего класса (от 5 до 20 т ПН); РН легкого класса (менее 5 т ПН). В отдельные категории выделяются разгонные и апогейные блоки и средства выведения суборбитальных систем.

Двигательные установки систем выведения. В данном направлении можно выделить технологии создания маршевых двигательных установок большой мощности на основе жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) и твердотопливных ракетных двигателей (РДТТ), а также — в связи с возобновлением интереса инженеров к двухсредным (космос—атмосфера) летательным аппаратам, — воздушных (атмосферных) ракетных двигателей (РД), куда входят, в частности, гиперзвуковые прямоточные воздушные реактивные двигатели (ГПВРД). Предложены подклассы для технологий нетрадиционных систем выведения, находящихся на низких уровнях технологической готовности (такие как системы воздушного старта, тросовые системы, системы с лучевым переносом энергии), и аэростатных систем [5, 11].

Двигательные установки космических аппаратов (КА). Данное направление содержит подклассы химических РД (ЖРД и РДТТ) и нехимических РД, куда входят электроракетные, термические солнечные и термические ядерные РД и аналогичный предыдущему направлению подкласс нетрадиционных двигателей [6, 7].

Космическая энергетика и бортовые системы электроснабжения. Направление включает в себя подклассы генерации энергии, в том числе химические топливные элементы, солнечные батареи, радиоизотопные и ядерные генераторы, хранения энергии и управления распределением энергии.

Роботизированные и автономные системы. Технологии направления подразделяются на разделы, относящиеся к чувствительности и системам восприятия роботов, подвижности роботов, различным роботизированным манипуляторам, системам человеко-машинного взаимодействия, широкому классу автономных систем — от систем стыковки до систем поддержки принятия решений, на раздел системной инженерии, охватывающей на-

правления верификации и валидации робототехнических систем, модульности и унификации их модулей, безопасности и доверия к действиям робота.

Системы связи, вещания, ретрансляции, поиска и спасания, навигации и отслеживания, определения параметров орбитального мусора. Подразделы данного направления перечислены в его наименовании.

Системы жизнеобеспечения и сохранения здоровья человека. В данном направлении предлагается выделить подклассы систем жизнеобеспечения, включая управление воздухо- и водообменом, управление отходами, контроль среды обитания, обеспечение внекорабельной деятельности, обеспечение здоровья человека в длительных космических полетах, подкласс, связанный с воздействием радиации на человека.

Пилотируемая космонавтика. Содержит ряд подклассов, связанных с перспективами деятельности человека в космосе (ремонт и обслуживание КА на орбите, разведка и добыча местных ресурсов, производство инфраструктурных элементов с их использованием, жилище и передвижение человека в космосе и на поверхности планеты).

Научные инструменты и датчики. В данное направление входят подклассы инструментов для дистанционного зондирования Земли, внеземные обсерватории, бортовые датчики и инструменты для использования экипажем, научная аппаратура для космической биологии.

Технологии систем входа в плотные слои атмосферы, спуска и посадки. Включают технологии входа в атмосферу, спуска в заданную точку и выбора места посадки, конструкцию посадочных аппаратов и собственно технологии посадки на поверхность Земли, Луны, планет (системы касания, двигатели посадки, системы разворачивания оборудования и выхода экипажа).

Наземная космическая инфраструктура. В данном разделе предлагается выделить подклассы, связанные с космодромами и стартовым оборудованием, центрами управления полетом КА и технологиями эксплуатации наземной космической инфраструктуры, такими как системы сборки, предстартовой подготовки и транспортировка КА и РН, системы производства, хранения и транспортировки компонентов топлива, логистические системы.

Технологии обеспечения тепловых режимов КА. Подразделяются на технологии активного и пассивного контроля криогенных систем КА, техно-

логии термоконтроля КА, включающие системы сбора и передачи тепла, и технологии различных систем теплозащиты.

Механические и мехатронные системы. Можно классифицировать подклассами: механические узлы стыковочных систем, механические системы отделения ступеней, механические системы посадки, системы КА и РН, основанные на объединении узлов точной механики и электротехнических, электронных и компьютерных систем [8].

Бортовые системы управления КА. В соответствии с подходом, изложенным в [9], данное направление подразделяется на подклассы технологий организации командной радиолинии, технологий управления движением КА, технологий работы системы ориентации и стабилизации, технологий управления целевой аппаратурой КА, системами энергоснабжения, тепловыми режимами, технологий формирования телеметрии КА.

Технологии *дистанционного зондирования Земли* (ДЗЗ) из космоса предлагается классифицировать в соответствии с диапазоном чувствительности целевой аппаратуры на: ДЗЗ в оптическом диапазоне, ДЗЗ в ультрафиолетовом диапазоне, ДЗЗ в рентгеновском диапазоне, ДЗЗ в инфракрасном диапазоне. В отдельные подклассы выделены космические радиолокаторы для ДЗЗ и геоинформационные системы на основе данных ДЗЗ [11].

Направление *системы защиты* подразделяется на технологии защиты КА и РН от метеороидных и техногенных частиц, защиты оптико-электронных систем, кибербезопасности радиолиний. В данное направление также включен подкласс технологий защиты от угрожающих Земле небесных тел.

Космические промышленные технологии предлагается классифицировать следующим образом.

Технологии разработки материалов и структур для создания изделий РКТ. Включают подклассы облегченных материалов, материалов для экстремальных сред, гибких и полиморфных материалов, материалов для энергетических систем (электролиты, материалы для электродов, проводов и т.п.), клеи, герметики, наполнители для эксплуатации в условиях космоса, производство структур из металлов, их сплавов и интерметаллидов, композитов, создание надувных конструкций.

Нанотехнологии. Близкий к предыдущему подкласс, классификационным признаком которого является использование «совокупности технологических методов, применяемых для изучения, проектирования и производства материалов, устройств и систем, включая целенаправленный

контроль и управление строением, химическим составом и взаимодействием составляющих их отдельных элементов нанодиапазона» [12], т. е. 1–100 нанометров.

В космонавтике и ракетостроении нанотехнологии применяются в создании материалов и структур с заданными свойствами, устойчивыми к повреждениям и самовосстанавливающимся, радиационно-непроницаемым и адгезивным материалам типа биомиметических поверхностей («лапка геккона») и материалам для борьбы с ригидной пылью, электропроводящих наноконструкций для защиты от электростатического воздействия.

Нанотехнологии находят применение в космическом двигателестроении при создании термостойких материалов для особо теплонагруженных деталей и узлов ЖРД, криостойких материалов и покрытий, модификации компонентов ракетных топлив.

Перспективным направлением космических технологий является наноэлектроника: создание наноразмерных датчиков, приборов, электронных компонентов с новыми свойствами, включая графеновые электронные устройства, спинтронику, наноструктурные элементы памяти высокой плотности.

Технологии промышленного производства изделий РКТ. Подразделы классификатора собственно промышленных технологий соответствуют основным технологическим переделам при производстве РН и КА:

- подкласс технологий заготовительного производства, включающий в себя кузнечно-прессовую обработку, литье, технологии деформирования в состоянии сверхпластичности, технологии производства деталей из листовых и трубных заготовок, порошковые и гранульные технологии, технологии раскатки и ротационной вытяжки;
- подкласс технологий металлообработки, объединяющий технологии резания, фрезерования, перфорации;
- подклассы нанесения покрытий, технологий плазменной и импульсной обработки, технологий электрофизической и электрохимической обработки;
- подкласс сборочных технологий, пайки и сварки, в частности включающей аргоно-дуговую, лазерную, плазменную сварку, фрикционную сварку с перемешиванием, электронно-лучевую сварку в вакууме;
- подкласс промышленных робототехнических систем;

- подкласс обработки композитов и создания деталей из композитных материалов;
- подкласс производственных процессов электроники и оптики;
- подкласс технологий производственных испытаний и неразрушающего контроля производственных процессов;
- подкласс технологий технических измерений и метрологического обеспечения производства РКТ.

Помимо основных технологических переделов, в направление промышленных технологий включены подклассы технологий экологии производства и промышленной безопасности, интеграции производства и киберфизических систем (аддитивные технологии, технологии «near-net shape», цифровое 3D-моделеориентированное производство), технологии производственных операций в космосе (изготовление деталей на орбите аддитивными методами, ремонт и обслуживание КА на орбите, сборка конструкций РКТ на орбите).

Технологии *наземной экспериментальной отработки*. Наземная экспериментальная отработка является неотъемлемой частью жизненного цикла создания космических систем и, следовательно, должна быть отнесена к технологиям создания космической техники, т. е. к космическим промышленным технологиям. В данное направление предлагается включить подклассы технологий аэрогазодинамических и тепловых испытаний, прочностных и ресурсных испытаний, огневых стендовых испытаний ракетных двигателей, испытаний на воздействие неблагоприятных факторов космического пространства, наземной отработки целевого оборудования КА.

Моделирование и информационные технологии. Данное направление можно классифицировать делением на подклассы системного моделирования (интегрированные модели программно-аппаратного обеспечения систем РКТ, модели человеко-машинных интерфейсов, модели среды, природных явлений, программные среды, библиотеки и языки моделирования), имитационное моделирование (модели для инженерных расчетов и конструкторской подготовки производства, модели жизненного цикла изделий РКТ, моделирование как альтернативу натурным испытаниям, верификация и валидация моделей), компьютеры (бортовые и наземные аппаратные средства), методы хранения, обработки и передачи информации и кибербезопасность.

В программах развития космонавтики и ракетостроения, помимо рассмотренных выше функциональных и промышленных технологий, суще-

ствует третья – *общесистемные исследования*. К ним относятся комплексные системно-аналитические исследовательские работы четырех подклассов:

- планирование, прогнозирование, исследование проблем развития космонавтики и путей их решения;
- качество, надежность, сертификация РКТ;
- кадровые вопросы, человеческий и интеллектуальный капитал РКП;
- институциональное развитие и организационная структура РКП.

Анализ современного уровня технологического развития космонавтики показывает, что космические функциональные и космические промышленные технологии тесно взаимосвязаны, а в ряде случаев — просто неразделимы. Представляется целесообразным объединение указанных технологических классов в единую систему. Это обусловлено следующими причинами:

- прогноз развития космических технологий без учета возможностей ракетно-космической промышленности рискует превратиться в бесплодные мечтания и фантастику, и наоборот, развитие промышленного производства без стратегических целей в виде перспективных космических технологий может привести (и приводит) к созданию неэффективных и экономически нежизнеспособных производственных структур;
- одна и та же технология в зависимости от этапа жизненного цикла изделия космической техники может быть отнесена и к целевой технологии, и к технологии промышленного производства;
- тесная связь технологий производства и ремонта космической техники непосредственно на орбите (изделия радиоэлектроники, аддитивные технологии, сборка крупногабаритных конструкций) в перспективе.

Целесообразна единая система классификации НИОКР космических функциональных, космических промышленных технологий и общесистемных НИР.

Существует необходимость единого классификатора для стратегических программ развития космонавтики (ФКП, государственных программ «Развитие ОПК», стратегических программ и планов других государств) в части разделов НИОКР.

В работе предложен единый классификатор космических и промышленных технологий. За основу взяты классификационные признаки технологий, используемые NASA в технологических дорожных картах 2015 года. В американских дорожных картах содержатся 15 направлений разви-

тия космических технологий. Они используются как основные классификационные признаки. По мнению авторов статьи, данный перечень не полон. В предлагаемом к работе классификаторе количество классов увеличено до 21. Кроме того, в силу различий в области ответственности Госкорпорации «Роскосмос» и НАСА (Госкорпорация «Роскосмос» не занимается авиационными технологиями) из нашего классификатора исключен раздел «Аэронавтика», присутствующий в американских дорожных картах.

Классификатор – иерархическая структура, которая содержит 21 основной класс. Основные классы:

01. РН и разгонные блоки
02. ДУ систем выведения
03. ДУ космических аппаратов
04. космическая энергетика и бортовые системы энергоснабжения
05. роботизированные и автономные системы
06. системы связи, вещания, ретрансляции, поиска и спасания, навигации и отслеживания, определения параметров орбитального мусора
07. системы жизнеобеспечения и сохранения здоровья человека
08. исследования пилотируемой космонавтики
09. научные инструменты и датчики, внеземные обсерватории
10. системы входа в плотные слои атмосферы, спуска и посадки
11. нанотехнологии
12. моделирование и информационные технологии
13. технологии производства материалов, структур, промышленные технологии
14. наземная космическая инфраструктура
15. системы обеспечения тепловых режимов
16. механические и мехатронные системы
17. бортовые системы управления
18. дистанционное зондирование Земли
19. системы защиты
20. наземная экспериментальная отработка
21. общесистемные НИР.

Глубина вложенности категорий колеблется от 3 до 6 в зависимости от раздела. Классификатор реализован авторами в виде объектно-реляционной базы данных на PostgreSQL в соответствии с принципами, изложенными в [13]. Для наглядного представления структуры базы данных, на основе которой построен программный комплекс

классификатора, ее ключевых сущностей и связей между ними, на рис. 1 приведена ER-диаграмма¹.

Создание иерархии хранения классов технологий реализовано посредством рекурсивной связи в таблице `tech_set`. В табл. 1 приведено описание полей отношений по таким характеристикам, как:

- наименование таблицы/поля;
- псевдоним таблицы/поля;
- тип данных, хранимых в поле, где `int` – представление целых чисел, `text` – хранение символьных и двоичных данных в формате Unicode и иных форматов, `varchar` – алфавитно-цифровые (символьные) поля, `bytea` – двоичные данные, `serial` – используется для представления возрастающих числовых последовательностей, `date` – поля даты, `numeric` – тип с фиксированной точностью, идеально подходящий для работы с денежными суммами;
- поле, идентифицирующее первичный ключ таблицы;
- внешний ключ;
- возможность пустого значения в поле.

База данных подключается как внешний источник данных к Excel, и далее используются аналитические возможности механизмов сводных таблиц Excel [15].

Комплекс программ реализует информационную технологию:

- сбор, верификацию, хранение и актуализацию информации о НИОКР в ФЦ и ГП;
- формирование информационно-аналитических материалов о космических и промышленных технологиях для проведения исследований стратегических программ.

С использованием разработанного классификатора проведен сравнительный анализ технологических НИОКР, выполняемых в НАСА, Европейском космическом агентстве и Госкорпорации «Роскосмос» в рамках долгосрочных стратегических программ космической деятельности. Использовались данные о НИОКР:

- стратегического технологического инвестиционного плана НАСА «STIP 2017» (Strategic Technology Investment Plan 2017) (538 НИОКР) [16];
- программы космических технологий Европейского космического агентства (Critical Space Technologies for European Strategic Non-Dependence Actions for 2015/2017) (39 НИОКР) [17];
- ФКП России на 2016–2025 годы (130 НИОКР) [18].

¹ Принципы формирования ER-диаграмм изложены в [14].

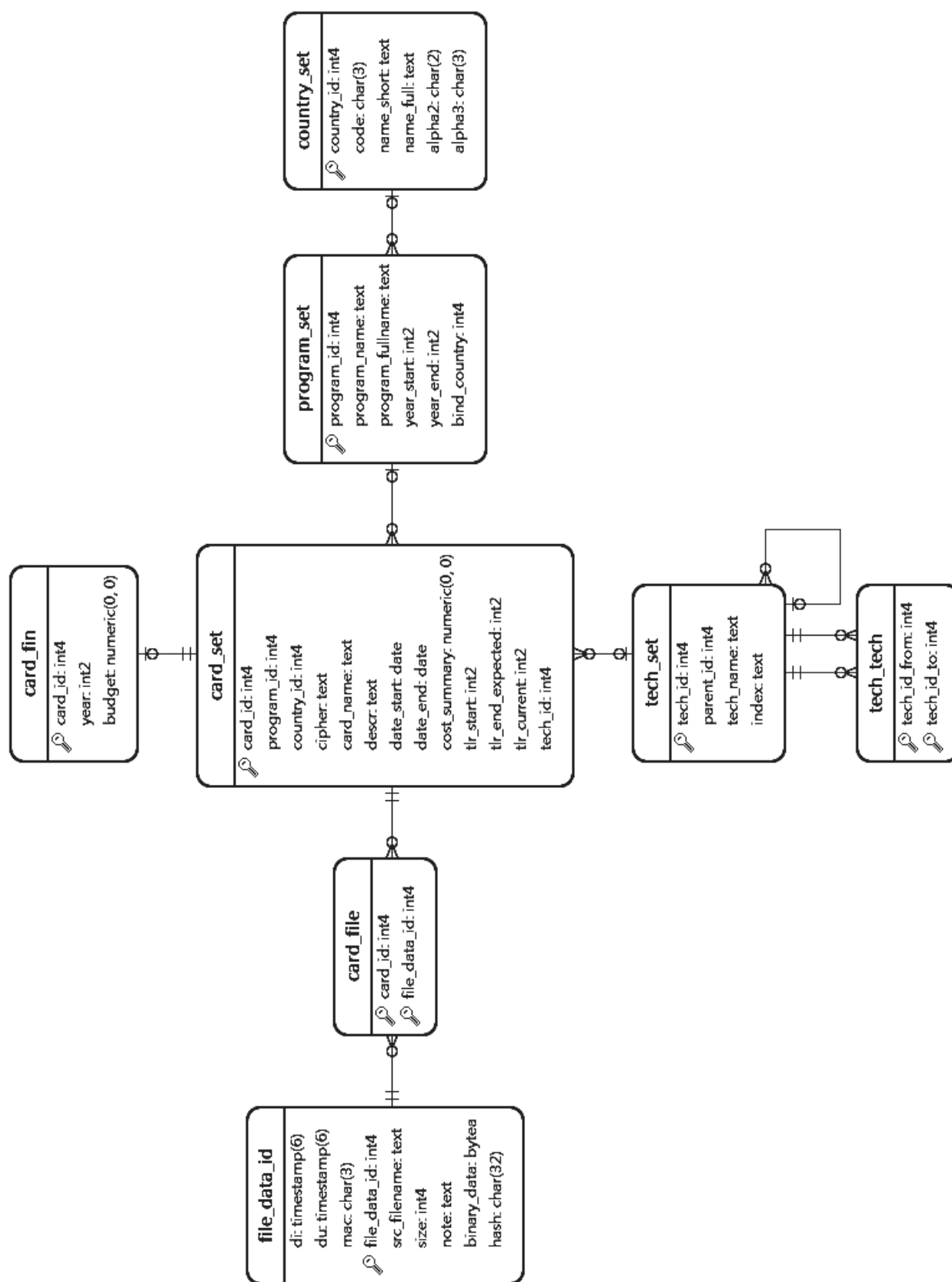


Рис. 1. ER-диаграмма базы данных «Автоматизированный классификатор космических промышленных и космических функциональных технологий»

Таблица 1

Перечень и описание таблиц базы данных

№	Псевдоним таблицы, поля	Название таблицы, поля	Тип данных	primary key	foreign key (табл/обн/уд)	not null	
p1	public.card_file	файлы карточек НИОКР					
	-3	card_id	ссылка на карточку НИОКР	int4	X	card_set	X
	-2	file_data_id	ссылка на файл	int4	X	file_data_set	X
p2	public.card_set	словарь карточек НИОКР					
	-3	card_id	идентификатор карточки НИОКР	serial	X		X
	-2	tech_id	ссылка на класс	int4		tech_set	
	-1	program_id	ссылка на ФЦП / ГП	int4		program_set	
	0	country_id	ссылка на страну	int4			
	1	cipher	шифр НИОКР	text			
	2	card_name	наименование НИОКР	text			
	3	descr	описание	text			
	4	date_start	дата начала	date			
	5	date_end	дата окончания	date			
	6	cost_summary	суммарная стоимость	numeric			
	7	tlr_start	TLR начальный	int2			
8	tlr_end_expected	TLR конечный ожидаемый	int2				
9	tlr_current	TLR текущий	int2				
p3	public.country_set	словарь стран					
	-3	country_id	идентификатор страны	int4	X		X
	-2	code	код	bpchar			
	-1	name_short	краткое наименование	text			
	0	name_full	полное наименование	text			
	1	alpha2	код Alpha2	bpchar			
	2	alpha3	код Alpha3	bpchar			
p4	public.file_data_set	файлы					
	0	file_data_id	идентификатор файла	serial	X		X
	1	src_filename	имя файла - источника данных	text			
	2	Size	размер в байтах	int4			
	3	note	примечания	text			
	4	binary_data	двоичные данные	bytea			
	5	hash		bpchar			

№	Псевдоним таблицы, поля	Название таблицы, поля	Тип данных	primary key	foreign key (табл/обн/уд)	not null
p5	public.program_set	словарь ФЦП / ГП				
	-3	program_id	идентификатор программы	serial	X	X
	-2	program_name	наименование ФЦП / ГП	text		
	-1	program_fullname	полное наименование (описание программы)	text		
	0	year_start	год начала	int2		
	1	year_end	год окончания	int2		
p6	public.tech_set	классификатор технологий				
	-3	tech_id	идентификатор класса технологий	serial	X	X
	-2	parent_id	ссылка на вышестоящий класс	int4		tech_set
	-1	tech_name	наименование класса	text		
	0	index	цифровой индекс	text		
p7	public.tech_tech	связь технологий между собой				
	-3	tech_id_from	ссылка на начальный узел	int4	X	tech_set X
	-2	tech_id_to	ссылка на конечный узел	int4	X	tech_set X

Следует отметить, что наличие либо отсутствие технологических направлений анализировалось по факту включения (невключения) тематики НИ-ОКР в указанные стратегические планы гражданской космонавтики, финансируемые за счет государственного бюджета. Это не означает, что данные направления не разрабатываются. Отсутствующая тематика может разрабатываться за счет других статей бюджета (например, оборонной) или негосударственных источников финансирования – собственных средств частных компаний.

На рис. 2 показано количество НИОКР, выполняемых по каждому из основных технологических направлений в STIP NASA [19], программы ЕКА и ФКП.

Можно выделить направления, наиболее полно представленные в каждой из программ НАСА (рис. 3):

- системы жизнеобеспечения;
- пилотируемые полеты;
- научные инструменты и датчики;
- системы входа в плотные слои атмосферы, спуска и посадки.

Европейское космическое агентство (рис. 4):

- ДУ систем выведения;
- моделирование и ИТ;
- технологии производства материалов, структур;
- промышленные технологии.

ФКП России (рис. 5):

- системы связи;
- научные инструменты и датчики;
- ДЗЗ;
- наземная космическая инфраструктура;
- общесистемные НИР.

Классификатор позволяет детально декомпозировать каждое изучаемое направление. Пример анализа направлений НИОКР систем жизнеобеспечения в STIP NASA 2017 приведен в табл. 2–4. Представлены скриншоты сводных таблиц Excel, на которых показано количество исследовательских работ по технологическим подклассам на 2, 3, 4 уровне классификатора соответственно.

Также с помощью классификатора возможно сравнить одно и то же технологическое направление в разных программах. В табл. 5 приведено сравнение технологического направления «Кос-

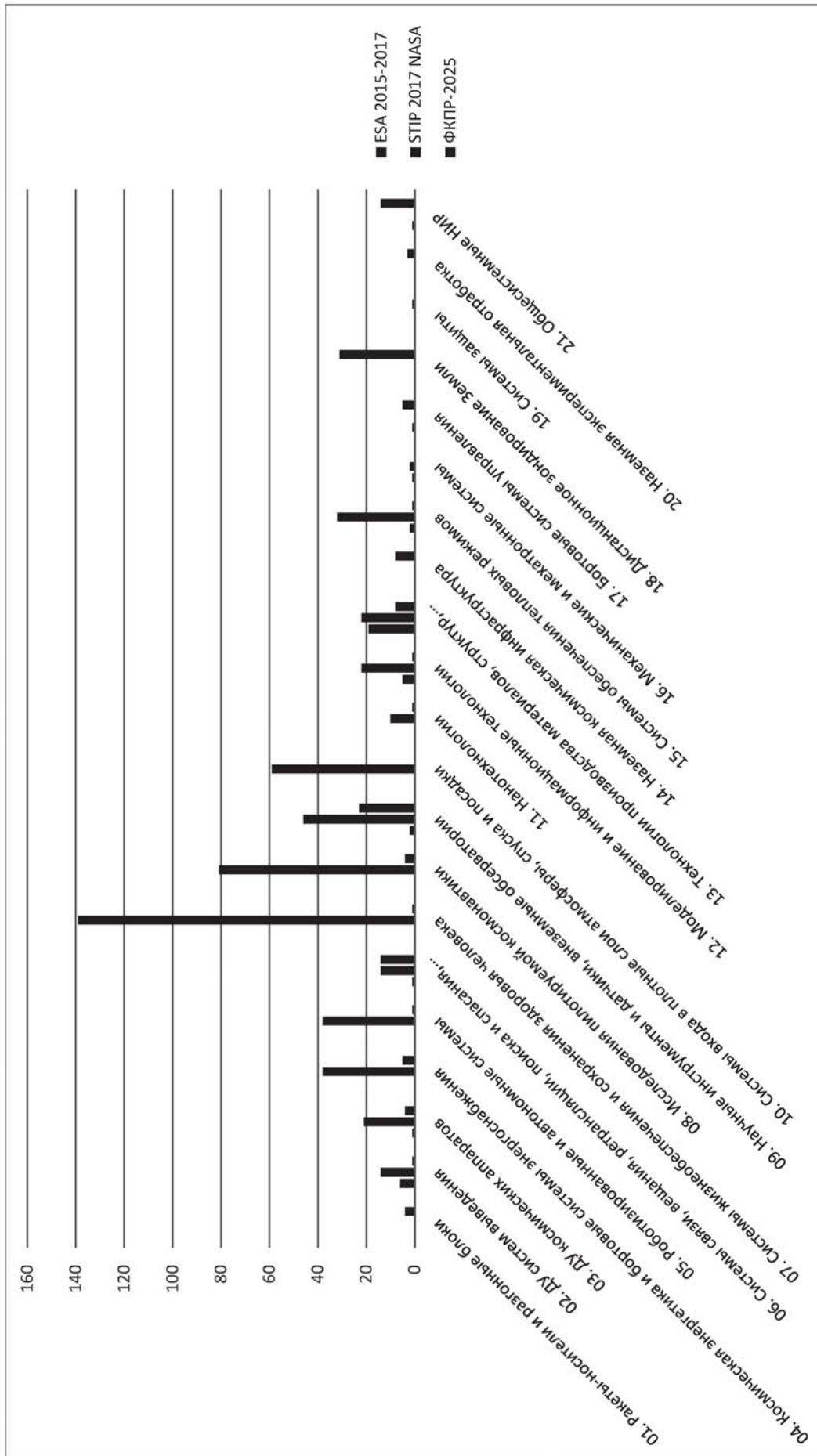


Рис. 2. Количество НИОКР в программах НАСА, ЕКА и ФКПР России по технологическим направлениям

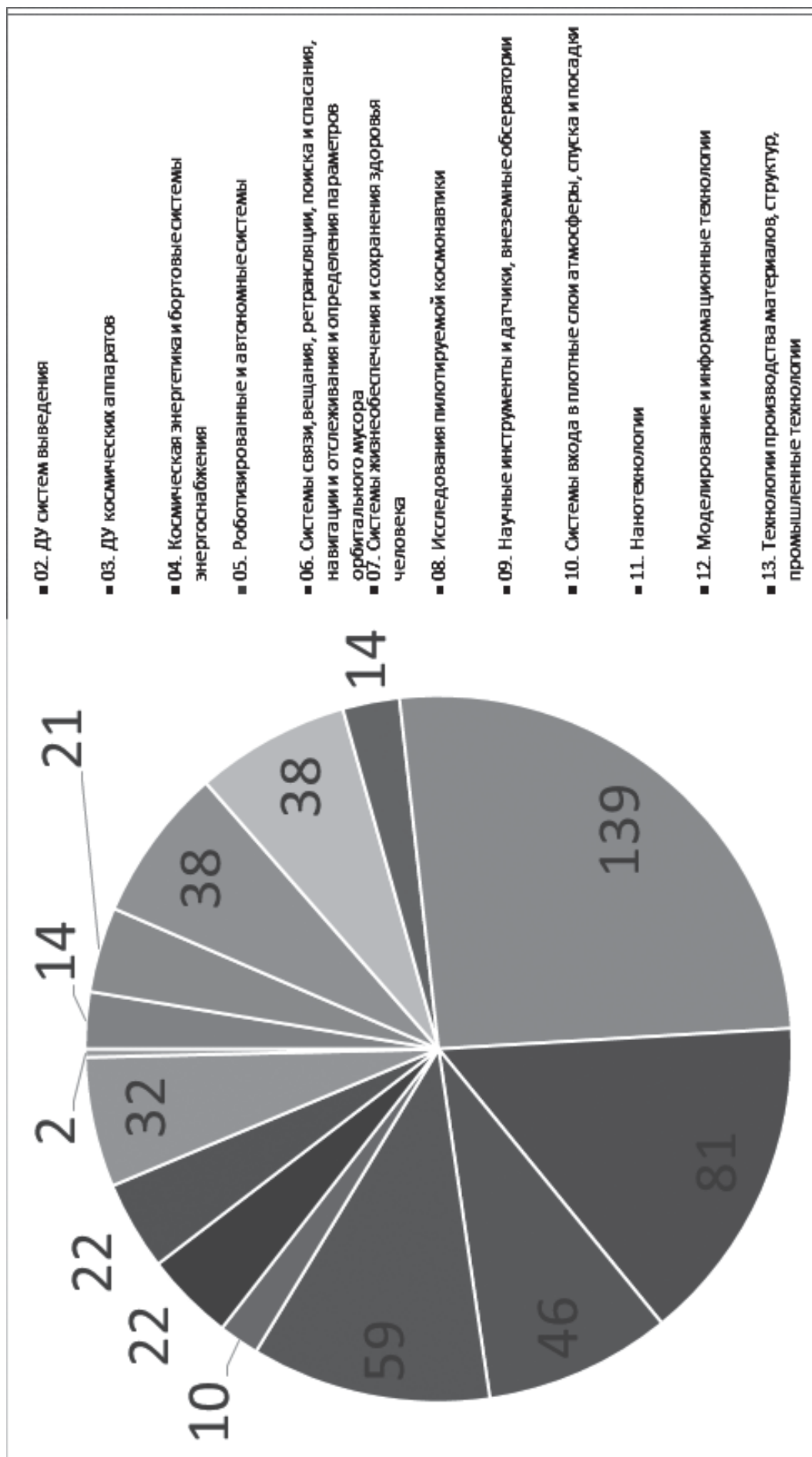


Рис. 3. Количество НИОКР в программе NASA по технологическим направлениям

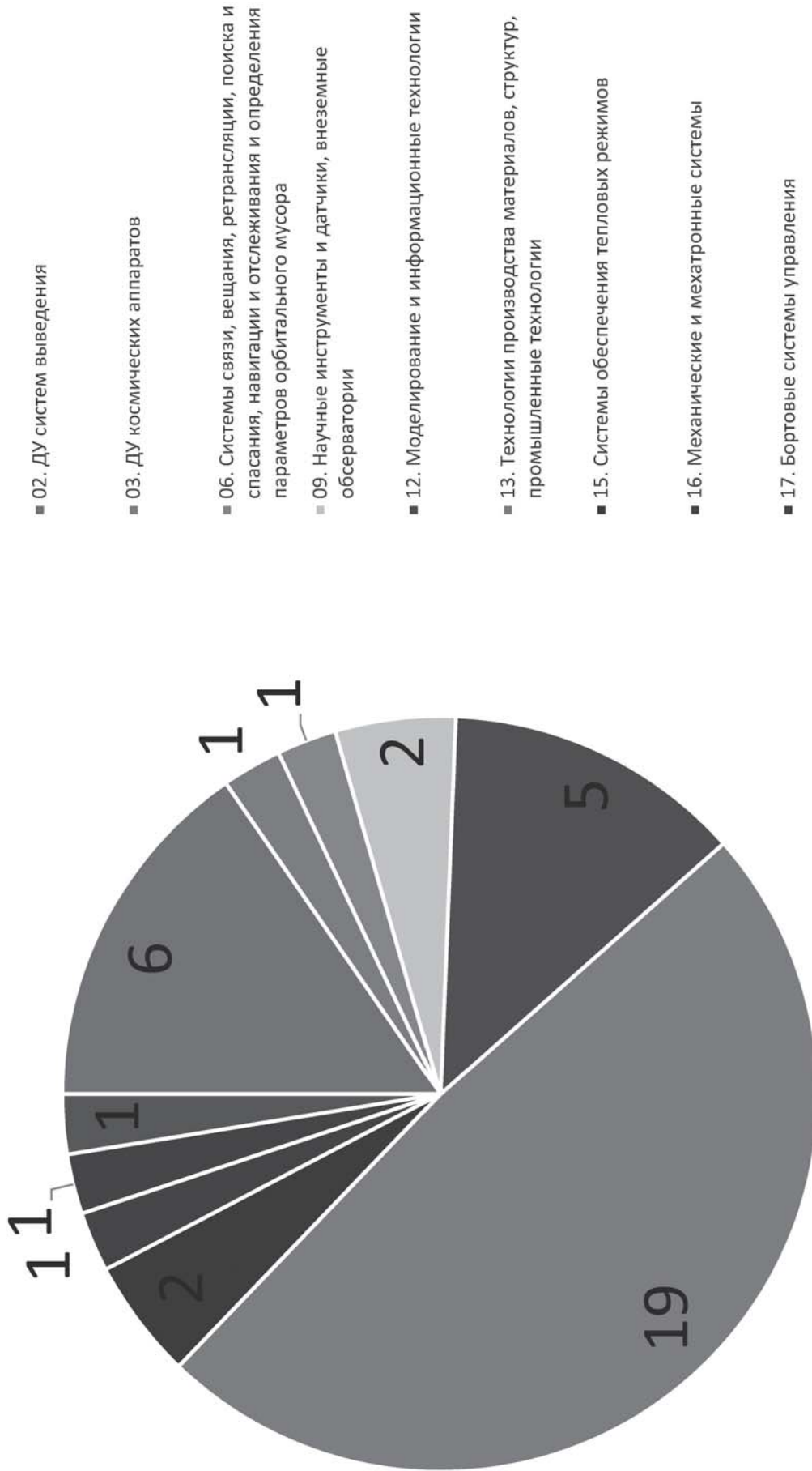


Рис. 4. Количество НИОКР в программе Евросоюза по технологическим направлениям

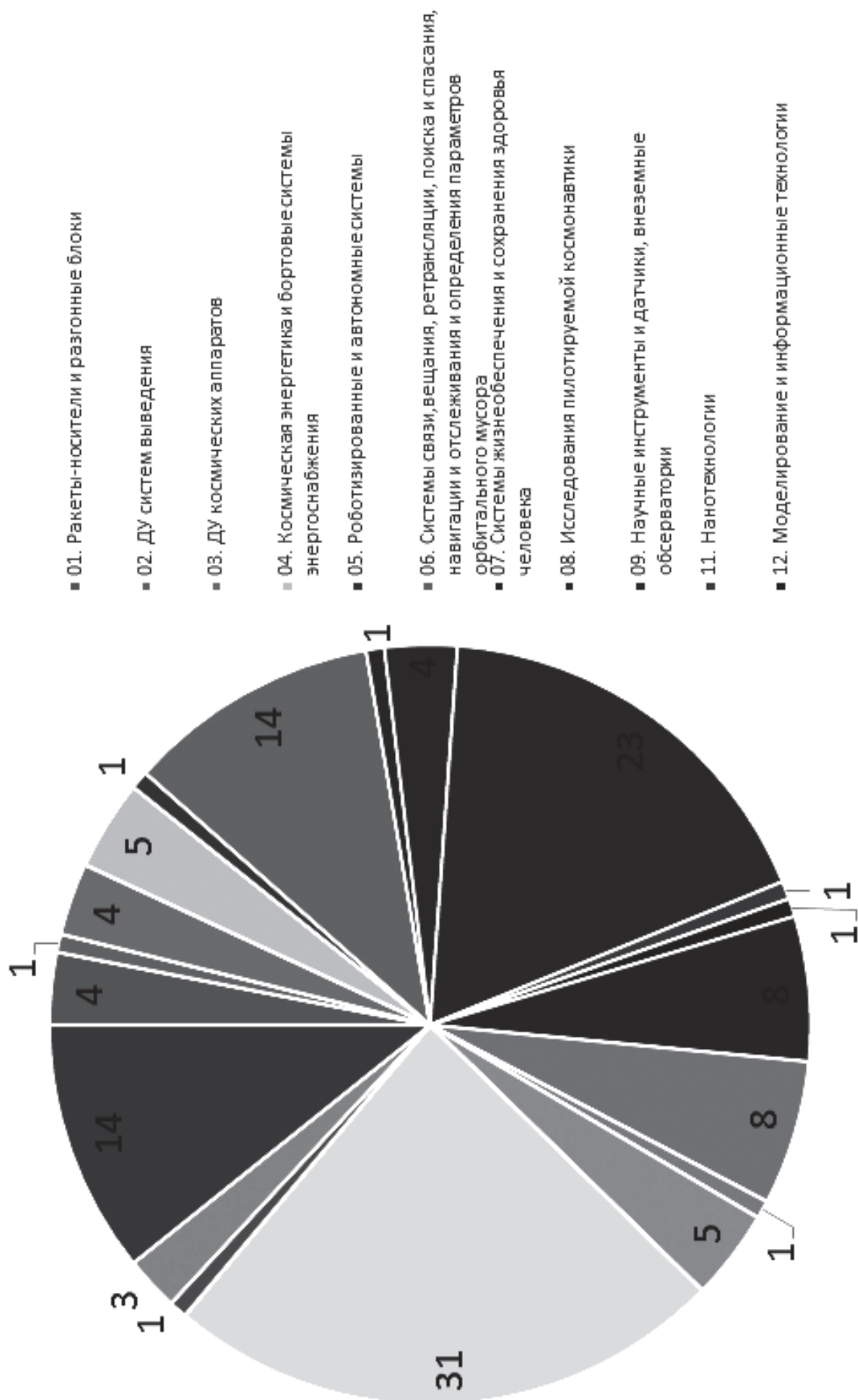


Рис. 5. Количество НИОКР в ФКП России по технологическим направлениям

Таблица 2

Количество НИОКР по направлению «Системы жизнеобеспечения и сохранения здоровья человека» плана NASA на втором уровне

Наименование технологии	Количество НИОКР
7.1 Системы жизнеобеспечения и контроля среды обитания космического корабля (КК*)	27
7.2 Обеспечение деятельности вне корабля	26
7.3 Обеспечение здоровья и активной деятельности человека на борту КК	38
7.4 Мониторинг среды, безопасность и реакция на чрезвычайные ситуации	16
7.5 Воздействие радиации	32
Общий итог	139

* Здесь и далее под КК понимается обитаемый объект вне пределов атмосферы Земли (пилотируемый космический корабль, модуль орбитальной станции, жилой модуль напланетной станции и т.п.)

Таблица 3

Количество НИОКР по направлению «Системы жизнеобеспечения и сохранения здоровья человека» плана NASA на третьем уровне

Наименование технологии	Количество НИОКР
7.1 Системы жизнеобеспечения и контроля среды обитания КК	27
7.1.1 Системы восстановления воздуха	7
7.1.2 Очистка воды и управление водообменом	4
7.1.3 Управление отходами	4
7.1.4 Среда обитания космонавтов	12
7.2 Обеспечение деятельности вне корабля	26
7.2.1 Скафандры	10
7.2.2 Портативные системы жизнедеятельности	11
7.2.3 Энергетика, авионика, программное обеспечение внекорабельной деятельности	5
7.3 Обеспечение здоровья и активной деятельности человека на борту КК	38
7.3.1 Медицинская диагностика и прогнозирование	8
7.3.2 Поддержание здоровья в длительных полетах	10
7.3.3 Психическое здоровье	13
7.3.4 Человеко-машинные интерфейсы и автономные системы для поддержания здоровья экипажа	7
7.4 Мониторинг среды, безопасность и реакция на чрезвычайные ситуации	16
7.4.1 Датчики контроля воды, воздуха, микробиологической и акустической среды	10
7.4.2 Обнаружение пожара и пожаротушение	3
7.4.3 Восстановление среды обитания после чрезвычайных ситуаций	3
7.5 Воздействие радиации	32
7.5.1 Моделирование оценки рисков радиационного воздействия	7
7.5.2 Снижение радиационного воздействия биологическими контрмерами	6
7.5.3 Защита от радиации	9
7.5.4 Предсказание космической погоды	5
7.5.5 Технологии мониторинга	5
Общий итог	139

Таблица 4

Количество НИОКР по направлению «Системы жизнеобеспечения и сохранения здоровья человека» плана NASA на четвертом уровне (фрагмент)

Наименование технологии	Количество НИОКР
7.1 Системы жизнеобеспечения и контроля среды обитания КК	27
7.1.1 Системы восстановления воздуха	7
7.1.1.1 Удаление углекислого газа из систем замкнутого цикла	1
7.1.1.2 Выделение кислорода из углекислого газа	1
7.1.1.3 Системы контроля загрязнения воздуха	1
7.1.1.4 Системы микробиологического контроля воздуха	1
7.1.1.5 Контроль температуры и влажности	1
7.1.1.6 Системы снабжения кислородом	2
7.1.2 Очистка воды и управление водообменом	4
7.1.2.1 Сбор сточных вод	1
7.1.2.2 Очистка сточных вод	1
7.1.2.3 Получение воды из побочных продуктов («рассолов»)	1
7.1.2.4 Микробиологический контроль воды	1
7.1.3 Управление отходами	4
7.1.3.1 Система сбора, хранения и переработки твердых метаболических отходов	1
7.1.3.2 Система сбора и хранения мочи	1
7.1.3.3 Безопасное хранение / удаление мусора	1
7.1.3.4 Переработка мусора в метан	1

мическая энергетика» в STIP NASA 2017 и ФКП России 2025.

Разработанный классификатор позволяет анализировать по технологическим направлениям, помимо количества работ, их финансирование, сроки начала/окончания, начальный/конечный уровень технологической готовности.

С помощью классификатора можно выявить направления технологического развития, которым в государствах-участниках космической деятельности уделяется наибольшее внимание и, наоборот, которые относятся к несущественным, и исследования в них в стратегических программах не финансируются. Можно также проанализировать структурные особенности каждой из рассмотренных программ технологического развития [20].

Сравнительный анализ планов технологического развития космических технологий США, Евросоюза и России выявил ряд особенностей.

Стратегические планы технологических инвестиций NASA (STIP 2017) и ESA качественно отличаются от ФКП России на 2016–2025 годы по ряду системных параметров:

1) в STIP включены только исследовательские проекты с измеримой практической значимостью. Работы по фактической эксплуатации существующих систем под видом опытно-конструкторских работ или многолетние исследования абстрактных категорий без изменения уровня готовности технологии отсутствуют;

2) в STIP одна НИОКР – одна технология, определяется стартовый и ожидаемый финальный уровень готовности технологии. Широкие комплексные системные исследования практически отсутствуют (возможно, это недостаток);

3) в STIP нет деления на функциональные и промышленные технологии;

4) STIP составляют преимущественно краткосрочные и среднесрочные исследования. Средняя длительность работы в STIP 2017 – 4,46 года, средняя длительность НИОКР в ФКП в настоящее время – 16 лет, к 2025 году сократится до 11,8 лет. Для STIP характерно гибкое управление временными ресурсами: сроки начала работ (и финансирования) обоснованы и привязаны к конкретной миссии;

Таблица 5

Количество НИОКР по направлению «Космическая энергетика» STIP NASA и ФКПР

Наименование технологии	Количество НИОКР	ФКПР-2025
4.1 Генерация энергии	18	5
4.1.3 Солнечные батареи	12	
4.1.5 Ядерные генераторы	6	4
4.1.5.1 Термоэлектрические ядерные генераторы $W = 1-4$ кВт	1	
4.1.5.2 Ядерные генераторы на технологии Стирлинга $W = 1-10$ кВт	1	
4.1.5.3 Ядерные генераторы на технологии Стирлинга $W = 10-100$ кВт	1	
4.1.5.4 Ядерные генераторы с полупроводниковыми преобразователями $W = 10-100$ кВт	2	4
4.2 Хранение энергии	10	
4.2.1 Аккумуляторные батареи	8	
4.2.3 Регенерирующие топливные элементы	2	
4.3 Управление распределением энергии	10	
4.3.3 Распределение и передача энергии	10	
4.3.3.1 Высокопроводящие провода с карбоновыми нанотрубками	1	
4.3.3.2 Облегченные алюминиевые провода	1	
4.3.3.3 Высоковольтные полупроводники и пассивные элементы	5	
4.3.3.4 Высокотемпературные полупроводники и пассивные элементы	2	
4.3.3.5 Радиационные системы распределения энергии	1	
Общий итог	38	5

5) результаты большинства (86,2%) технологических разработок STIP будут использованы более чем в одной миссии;

6) из инвестиционного плана STIP исключены второстепенные работы, не имеющие стратегического значения.

Выводы

Внедрение в практику формирования и научно-методического сопровождения стратегических программ развития отечественной РКП методических приемов, связанных с классификацией программных мероприятий (в том числе и с помощью предложенного авторами классификатора) и последующего анализа полученных классов, будет способствовать эффективности управленческих решений в обеспечение технологического развития российской РКП и в конечном итоге рациональному использованию государственных бюджетных средств, выделяемых на эту цель.

Библиографический список

1. Бурцева Е.В., Рак И.П., Селезнев А.В., Терехов А.В., Чернышов В.Н. Информационные системы: Учебное пособие. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 128 с.
2. Николаев В.Д., Лукьянчик В.В., Кондратенко А.Н., Гапоненко О.В., Кузин А.И., Олексенко И.А. Инвентаризация НИОКР и инвестиционных проектов, реализуемых в рамках ФЦП, как инструмент приоритизации программных мероприятий // Вестник «НПО «Техномаш». 2017. № 3. С. 61-65.
3. Гапоненко О.В., Кондратенко А.Н., Лукьянчик В.В. Основные аспекты инновационной деятельности на предприятиях двигателестроения в условиях структурной перестройки ракетно-космической промышленности // Двойные технологии. 2015. № 2(71). С. 52-57.
4. Гапоненко О.В. Приоритетные направления технологических НИОКР космонавтики и ракетно-космической промышленности России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2017. Т. 4. № 5-2. С. 17-22.

5. Глушко В.П. (гл. редактор). Космонавтика. Энциклопедия. — М.: Советская энциклопедия, 1985. — 528 с.
6. Гордеев В.А., Партола И.С., Фирсов В.П. Расчетно-экспериментальная отработка двигательной установки третьей ступени ракеты космического назначения «Ангара» // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. № 3. С. 128-134.
7. Блинов В.Н., Шалай В.В., Зубарев С.И., Косицын В.В., Рубан В.И., Ходорева Е.В. Исследования электротермических микродвигателей корректирующих двигательных установок маневрирующих малых космических аппаратов: Монография. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. — 263 с.
8. Аникеев Е.А., Черкасов О.Н., Струков И.И. Алгоритмы регулирования в мехатронных системах управления движением // Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем: Сб. трудов I научно-практической международной конференции (Тамбов, 25-26 октября 2017). — Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 2017. С. 68-75.
9. Бровкин А.Г., Бурдыгов Б.Г., Гордийко С.В. и др. Бортовые системы управления космическими аппаратами: Учебное пособие / Под ред. А.С. Сырова. — М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. — 304 с.
10. Куренков В.И. Конструкция и проектирование изделий ракетно-космической техники. Часть 2. Основы проектирования ракет-носителей: Электронное учебное пособие. — Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т), 2012. — URL: https://ssau.ru/files/education/uch_posob/Konstrukcia_i_proektirovanie.Ч2-Куренков_ВИ.pdf
11. Матвеев Ю.А., Ламзин В.В. Метод выбора проектных параметров модификаций космических аппаратов дистанционного зондирования Земли при наличии ограничений // Вестник Московского авиационного института. 2008. Т. 15. № 1. С. 44-55.
12. ГОСТ Р 55416-2013. Нанотехнологии. Часть 1. Основные термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2014. — 11 с.
13. Галкин Н.А., Пожидаев С.С., Фомин Е.Ю. Разработка концепции информационно-аналитической системы моделирования производственных возможностей на предприятиях ракетно-технического профиля // Технология машиностроения. 2016. № 8. С. 55-58.
14. Ларман Крэг. Применение UML и шаблонов проектирования. — 2-е изд. / Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 624 с.
15. Билл Джелен, Майкл Александр. Сводные таблицы в Microsoft Excel 2013 / Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2014. — 448 с.
16. NASA Strategic Technology Investment Plan, 2017. URL: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2017-8-1_stip_final-508ed.pdf
17. 2015 NASA Technology Roadmaps. URL: <https://www.nasa.gov/offices/oct/home/roadmaps/index.html>
18. Critical Space Technologies for European Strategic Non-Dependence Actions for 2015/2017. V1.16. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12502/attachments/1/translations/en/renditions/native>
19. Основные положения федеральной космической программы России на 2016-2025 годы, <https://www.roscosmos.ru/22347/>
20. Гапоненко О.В. Методический подход к формированию долгосрочных стратегических планов технологического развития национального аэрокосмического агентства США на примере технологий двигателестроения // Вестник «НПО «Техномаш». 2018. № 7. С. 20-37.

STRUCTURE ANALYSIS OF THE STRATEGIC PLANS OF THE SPACE-ROCKET INDUSTRY DEVELOPMENT BY METHOD OF SPACE FUNCTIONAL AND INDUSTRIAL TECHNOLOGIES R&D CLASSIFICATION

Gaponenko O.V. *, Gavrin D.S. **, Sviridova E.S. ***

*NPO "Technomash",
40, 3rd proezd Mar'inoi Roshchi, Moscow, 127018, Russia*

* e-mail: gaponenko@tmnp.ru

** e-mail: gds@tmnp.ru

*** e-mail: e.sviridova@tm.fsa

Abstract

The task of a subject for study classification arises while information analysis support of strategic programs for space-rocket industry technological development and managerial decision making on a

sectorial level. In this case, it is an aggregate of scheduled measures, namely research and development work (R&D) on the cosmonautics and aerospace industry technological development.

The existing R&D classification in Federal target and Government programs (FTP) “Military-industrial complex development of the Russian Federation” does not fully reflect the structure of program activities, i.e. an aggregate R&D technological development R&D, and is applicable only to industrial technologies. In the Federal Space Program (FSP) the R&D is classified according to the target purpose of finished products. The R&D classification employing is not applicable in other FTP and vice versa. In the authors’ opinion, classification according to technological trends is the most efficient.

In domestic practice of analytical studies associated with the space activities technological R&D are subdivided into the intrinsic cosmonautics technologies (the space functional technologies), and industrial technologies for the space engineering development (the space industrial technologies).

There are also the third system-wide studies in the programs of cosmonautics and rocket building development, besides the functional and industrial technologies. These include complex system analytical research.

The forecasting of the space technology development without accounting for the capabilities of aerospace industry risks turning into vain dreams and fiction, and vice versa, the development of industrial production with no strategic targets in the form of promising space technologies may lead (and already leads) to creation of inefficient and economically unviable production structures.

The same technology, depending on the stage of the product life cycle of aerospace technology, can be attributed both to the target technology and to the of industrial production technology.

The unified R&D classification system of aerospace functional and aerospace manufacturing technologies and system-wide research effort is advisable. There is a necessity of a unified classifier for the cosmonautics development strategic programs (FSP, state programs “Development of the MIC”, strategic programs and plans of other governments) in parts of R&D sections.

The article proposes a unified classifier of space-rocket and manufacturing technologies. It is based on the classification features of technologies used by NASA in the technological road maps of 2015.

The classifier was realized by the authors in the form of an object-relational database on PostgreSQL. The database is switched as an external data source to Excel, and further the analytical capabilities of the free Excel table mechanisms are used.

A comparative analysis of R&D technologies performed by NASA, the European Space Agency and State Space Corporation “Roscosmos” within the framework of long-term strategic programs of space activity was performed using the developed classifier. The classifier allows also compare the same technological trend in different programs.

Besides the number of works the developed classifier allows analyzing their financing, starting/ending dates and starting/ending level of technological readiness by technological trends.

The classifier allows reveal the technological development trends, to which most attention is paid in the states participants of the space activities, and vice versa which are related to unessential, and their studies are not financed by strategic programs. The structural specifics of each of the considered programs of technological development can be analyzed.

Practical implementation of techniques, associated with program events classification forming and scientific-methodological support of the strategic programs of national space-rocket industry development (including application of the classifier suggested by the authors) with subsequent analysis of the obtained classes will contribute to the managerial decisions effectiveness in Russian space-rocket industry, and eventually in rational implementation of the State budgetary funds allotted for this purpose.

Keywords: cosmonautics and rocket-space industry technological trends, space functional and industrial technologies classifier, PostgreSQL.

References

1. Burtseva E.V., Rak I.P., Seleznev A.V., Terekhov A.V., Chernyshov V.N. *Informatsionnye sistemy* (Information systems), Tambov, Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2009, 128 p.
2. Nikolaev V.D., Luk'yanchik V.V., Kondratenko A.N., Gaponenko O.V., Kuzin A.I., Oleksenko I.A. *Vestnik "NPO "Tekhnomash"*, 2017, no. 3, pp. 61-65.
3. Gaponenko O.V., Kondratenko A.N., Luk'yanchik V.V. *Dvoinye tekhnologii*, 2015, no. 2(71), pp. 52-57.
4. Gaponenko O.V. *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*, 2017, vol. 4, no. 5-2, pp. 17-22.
5. Glushko V.P. (editor). *Kosmonavtika. Entsiklopediya* (Cosmonautics. Encyclopedia), Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1985, 528 p.
6. Gordeev V. A., Partola I. S., Firsov V. P. The estimate & test development of space launch vehicle Angara power plant. *Aerospace MAI Journal*, 2011, vol. 18, no. 3, pp. 128-134.
7. Blinov V.N., Shalai V.V., Zubarev S.I., Kositsyn V.V., Ruban V.I., Khodoreva E.V. *Issledovaniya elektrotermicheskikh mikrodvigatelei korrektruyushchikh dvigatel'nykh ustanovok manevriruyushchikh malykh*

- kosmicheskikh apparatov* (Studies of electrothermal micromotors of corrective propulsors of maneuvering small satellites), Omsk, OmGTU, 2014, 263 p.
8. Anikeev E.A., Cherkasov O.N., Strukov I.I. *Materialy I nauchno-prakticheskoi mezhdunarodnoi konferentsii "Informatsionnye tekhnologii v upravlenii i modelirovanii mekhatronnykh sistem" (Tambov, 25-26 October 2017)*. Sbornik statei. Tambov, Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2017, pp. 68-75.
 9. Brovkin A.G., Burdygov B.G., Gordiiko S.V. *Bortovye sistemy upravleniya kosmicheskimi apparatami* (The spacecraft onboard control systems), Moscow, MAI-PRINT, 2010, 304 p.
 10. Kurenkov V.I. *Konstruktsiya i proektirovanie izdelii raketno-kosmicheskoi tekhniki. Chast' 2. Osnovy proektirovaniya raket-nositelei* (Design and development of space-rocket technology products. Part 2. Principles of design of launch vehicles), Samara, Samarskii gosudarstvennyi aerokosmicheskii universitet, 2012. URL: https://ssau.ru/files/education/uch_posob/Konstruktsiya_i_proektirovanie.Ch.2-Kurenkov_VI.pdf
 11. Matveev Yu.A., Lamzin V.V. A constraint-based technique to choose design parameters of spacecraft versions meant for earth remote sensing. *Aerospace MAI Journal*, 2008, vol. 15, no. 1, pp. 44-55.
 12. *Nanotekhnologii. Chast' 1. Osnovnye terminy i opredeleniya. GOST R 55416-2013* (Nanotechnologies. Part 1. Basic terms and definitions. State Standard R 55416-2013), Moscow, Standartinform, 2014, 11 p.
 13. Galkin N.A., Pozhidaev S.S., Fomin E.Yu. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2016, no. 8, pp. 55-58.
 14. Larman C. *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development*. 3rd Edition. Prentice Hall, 736 p.
 15. Jelen B., Alexander M. *Pivot Table Data Crunching: Microsoft Excel 2010 (MrExcel Library)*. 1st Edition, Que Publishing, 384 p.
 16. *NASA Strategic Technology Investment Plan, 2017*, https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2017-8-1_stip_final-508ed.pdf
 17. *2015 NASA Technology Roadmaps*, <https://www.nasa.gov/offices/oct/home/roadmaps/index.html>
 18. *Critical Space Technologies for European Strategic Non-Dependence Actions for 2015/2017. VI.16*, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12502/attachments/1/translations/en/renditions/native>
 19. *Osnovnye polozheniya federal'noi kosmicheskoi programmy Rossii na 2016-2025 gody*, <https://www.roscosmos.ru/22347/>
 20. Gaponenko O.V. *Vestnik "NPO "Tekhnomash"*, 2018, no. 7, pp. 20-37.