

УДК 629.786.2

## **ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ КОНФИГУРАЦИИ ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА ЭКИПАЖ ШУМА, ВИБРАЦИЙ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА**

С.Е. Пугаченко, В.К. Успенский

Канд. техн. наук, доц. С.Е. Пугаченко (ФГАОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)»), АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)

В.К. Успенский (АО «ЦНИИмаш»)

Данная работа относится к пилотируемым орбитальным станциям (ОС). Цель исследования: разработка конфигурации ОС, позволяющей снизить воздействие на экипаж источников шума и вибраций, вредных микропримесей атмосферы и неприятных запахов. В ходе исследования использован метод системного анализа с разработкой математической модели ОС. Получена оценка потребного объема герметичного отсека и количества модулей ОС для заданных удельных значений объема зоны обитания экипажа и выбранных ракет-носителей (РН) для выведения модулей на орбиту. При определении размеров зон оборудования бортовых систем использованы данные об ОС «Мир» и МКС.

**Ключевые слова:** орбитальная станция, модуль, герметичный отсек, бортовые системы, экипаж, жизнеобеспечение, зона обитания

### **Approach to Development of Configuration of Space Station Taking into Account the Influence of Noise, Vibration and Other Space Flight Factors on Crew. S.E. Pugachenko, V.K. Uspensky**

This article is about manned space stations (SS). The research is aimed on configuration of SS, which allows decreasing crew exposure to noise, vibration, air contaminants and unpleasant smell. The method of SS mathematical model system analysis is used in the research. The required volume of pressurized compartment and the amount of station modules were estimated for specified value of crew living zone and given launch vehicles (LV) to deliver the modules on orbit. The dimensions of onboard systems were calculated based on the statistical data from the Mir station and the ISS.

**Keywords:** space station, module, pressurized compartment, onboard systems, crew, life support, habitat zone

Российские ОС имеют более чем пятидесятилетнюю историю. Первая экспедиция экипажа на борту одномодульной ОС серии «Салют» началась 7 июня 1971 г. [1]. Станция состояла из одного блока массой около 20 т, в котором размещалось все оборудование и расходные запасы для управления работой станции и жизнеобеспечения экипажа. Объем герметичного отсека станции «Салют» составлял около 90 м<sup>3</sup>, объем зоны обитания экипажа – около 30 м<sup>3</sup>. Было достигнуто существенное увеличение размеров

«орбитального дома» космонавтов по сравнению с кораблем «Союз», объем герметичных отсеков которого составлял около  $10 \text{ м}^3$ . Продолжительность космических экспедиций экипажа увеличилась с 3–5 сут в кораблях типа «Союз» до нескольких недель. Улучшились условия обитания экипажа, которые предусматривали достаточно комфортные места работы и отдыха, возможность использования специальных тренажеров для поддержания физического состояния.

Дальнейшее развитие ОС в нашей стране привело к созданию орбитального комплекса «Мир» из 6 крупных модулей с объемом герметичных отсеков около  $400 \text{ м}^3$  и пространством для космонавтов более  $100 \text{ м}^3$  [2]. Основная часть оборудования управления полетом станции «Мир» и жизнеобеспечения экипажа была сосредоточена в базовом блоке, аналоге ОС «Салют». В нем располагались каюты экипажа, средства приема пищи и снабжения питьевой водой, тренажеры для поддержания физического состояния космонавтов и туалет. Дополнительное оборудование жизнеобеспечения экипажа было размещено в модуле дооснащения «Квант-2»: кабина для санитарно-гигиенических процедур (душ) и туалет; оборудование кондиционирования воздуха и средства регенерации расходуемых запасов воды и кислорода. Остальные модули: «Квант», «Кристалл», «Спектр» и «Природа», в основном, послужили для размещения оборудования различных направлений целевой деятельности.

Следующий этап развития отечественной пилотируемой космонавтики – создание и эксплуатация российского сегмента (РС) МКС. Основные решения по конструкции и компоновке служебного модуля (СМ) «Звезда» МКС были заимствованы от базового блока ОС «Мир» [3]. В СМ «Звезда» размещены две каюты экипажа, средства приема пищи и снабжения питьевой водой, тренажеры для поддержания физического состояния космонавтов и туалет (рис. 1).

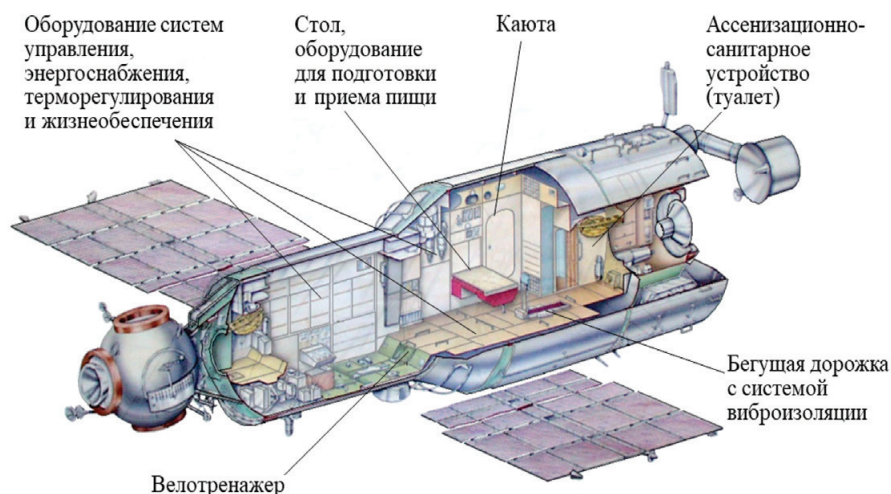


Рис. 1. Общий вид СМ «Звезда» МКС

В СМ находятся основная часть средств управления, электроснабжения, терморегулирования и жизнеобеспечения РС МКС. В функционально-грузовом блоке «Заря» выделена зона принятия санитарно-гигиенических процедур (мытья) экипажа. В многоцелевом лабораторном модуле «Наука», присоединенном к РС МКС в 2021 г., размещены каюта для третьего члена экипажа, туалет, системы регенерации кислорода и воды, рабочие места целевого оборудования, управления дистанционно управляемым манипулятором ERA (European Robotic Arm) и др.

Китайская ОС Tiangong, первый модуль (Tianhe) которой был выведен на околоземную орбиту в 2021 г., во многом заимствует технические решения российских ОС [4]. Tianhe имеет массу 24 т, его длина – 17 м, диаметр – 4,2 м, герметичный объем – около 50 м<sup>3</sup>. Модуль обеспечивает жилые помещения для трех членов экипажа, а также навигацию, контроль ориентации и жизнеобеспечение экипажа станции. Жилые помещения включают в себя кухню, туалет, противопожарное оборудование, компьютеры, научную аппаратуру и оборудование для связи с Землей. В состав ОС входят также исследовательские модули Wentian и Mengtian.

Длительному пребыванию экипажа на борту ОС сопутствуют неблагоприятные факторы космического полета [5]: шумы, вибрация, вредные и неприятные примеси в атмосфере. Наземная подготовка экипажей пилотируемых космических аппаратов (КА) направлена, в том числе на адаптацию к неблагоприятным факторам космического полета [6]. В то же время проводится работа по совершенствованию системы жизнеобеспечения (СЖО) экипажа и конструкции станции, о чем свидетельствует разработка международных стандартов по каждому аспекту обеспечения жизнедеятельности человека в космическом полете [7].

По результатам проводимых замеров [8, 9] источниками шума и вибраций на американском сегменте МКС являются постоянно работающие вентиляторы в лабораторном модуле и модуле Node3, вентилятор туалета, насосы и сепараторы регенерационных систем, перерабатывающие углекислый газ, урину и водяные сливы, а также периодически используемые бегущая дорожка и силовой тренажер.

Уровень шума в модулях РС МКС заметно выше средних уровней, наблюдаемых на МКС. Источниками шума в них являются система кондиционирования воздуха, установка для удаления углекислого газа «Воздух», вентиляторы (в СМ «Звезда» около 40 вентиляторов) и насосы гидравлических контуров системы обеспечения тепловых режимов (СОТР). Отмечается, что снижению шума способствуют такие меры, как применение малозумных вентиляторов и введение в конструкцию модулей ОС специальных экранов-глушителей шума.

В штатном полете токсичные (вредные) микропримеси в атмосферу станции выделяют как сам человек, так и неметаллические материалы конструкции, оборудование ОС, предметы личной гигиены экипажа, вещества,

используемые в медицинском оборудовании штатного медицинского контроля [10]. В статье [11] отмечается выделение пыли из цеолитов в системе очистки атмосферы от углекислого газа, а также неприятный запах в зоне системы регенерации воды из урины (СРВУ).

Значительное количество вредных веществ попадает в атмосферу ОС в результате нештатных ситуаций (НшС): утечек вредных веществ в результате разгерметизации пневмогидравлических систем, а также пожаров [12]. Источниками загрязнений являлись как служебные системы (СОТР и СЖО), так и целевое оборудование. На основе анализа НшС, имевших место на эксплуатировавшихся российских и американских ОС, а также пилотируемых кораблях, приводится оценка степени загрязнения атмосферы, эффективности мероприятий и средств удаления вредных примесей из атмосферы.

На повышение автономности СЖО и улучшение качества среды обитания экипажей долговременных пилотируемых КА нацелены предложения как по модернизации существующих СЖО, в первую очередь СРВУ и связанных с ней систем, так и отработка целого ряда новых перспективных систем, таких как система концентрирования и переработки углекислого газа, фотокаталитический блок удаления вредных примесей, оранжерея, средства приема водных процедур и стирки, система регенерации санитарно-гигиенической воды, а также газоаналитическая аппаратура контроля качества воздуха и воды (токсических примесей) и др. [13]. В качестве недостатков существующих систем отмечаются наличие утечек воды, выделение вредных примесей и мелкой пыли в атмосферу станции.

Работе экипажей с СЖО посвящена статья [14]. Обслуживанию многочисленного оборудования этой системы уделяется значительная часть рабочего времени экипажа. Деятельность на борту требует тщательной наземной подготовки, поскольку связана с риском попадания в атмосферу станции аммиака, водорода, триола, ртути, щелочного электролита, серной кислоты со всеми вытекающими последствиями.

Цель настоящего исследования заключается в следующем: определение путей и возможностей уменьшения воздействия неблагоприятных факторов КП на экипаж во время космических экспедиций за счет рационального распределения оборудования между модулями ОС. Выбор неблагоприятных факторов, таких как шум, вибрации, неприятные запахи и вредные примеси в атмосфере объясняется их существенным влиянием на распределение оборудования именно на эти факторы.

В качестве примера рационального распределения групп оборудования и зон экипажа рассмотрена перспективная многофункциональная ОС в окрестностях Луны (ЛОС – лунная ОС). Проекты лунной ОС разрабатываются как в нашей стране, так и за рубежом [15–18]. В число задач, рассматриваемых ЛОС, включены известные к настоящему времени задачи для обитаемых КА такого типа:

- выполнение программы целевых исследований и экспериментов, в том числе с участием экипажа;
- переход экипажа и перенос грузов между транспортными кораблями (ТК) на трассе перелета Земля–Луна;
- предоставление безопасного убежища для членов экипажей в случае аварийной ситуации;
- предоставление услуг гостиницы для космических туристов;
- проведение технического обслуживания и ремонта (ТОР) и монтажно-сборочных работ (МСР) с оборудованием ЛОС и присоединенными к станции КА различного назначения.

Характеристики ЛОС получены в результате математического моделирования. При этом в качестве исходных приняты следующие данные:

- среднее рабочее время экипажа для работы с целевой нагрузкой составляет до 600 ч в год;
- пять стыковочных портов для транспортных кораблей и обслуживаемых КА;
- объем внутри герметичных отсеков для размещения грузов – 40 м<sup>3</sup>;
- удельный объем зоны обитания экипажа – 30 м<sup>3</sup>/чел.;
- длительность существования ЛОС – 30 лет.

Доставка модулей ЛОС на орбиту искусственного спутника Луны (ОИСЛ) предусмотрена по «двухпусковой» схеме. Модуль и межорбитальный буксир (МОБ) выводятся на орбиту искусственного спутника Земли (ОИСЗ) с космодрома Восточный с помощью перспективных РН «Ангара-А5В» и «Ангара-А7В» соответственно. Характеристики указанных РН приведены в [19]. Образовавшаяся связка «Модуль-МОБ» переводится на отлетную траекторию к Луне, а затем с подлетной траектории – на ОИСЛ средствами МОБ.

Расчет основных характеристик ЛОС проведен с использованием программного обеспечения [20], позволяющего создавать математические модели пилотируемых космических комплексов [21, 22]. Структура модели представлена на рис. 2.

В ходе расчета использовано около 300 статистических параметров, отражающих взаимосвязь характеристик ЛОС. В расчете приняты следующие ограничения:

- транспортировка экипажа на трассе «Земля–Луна» производится по четырехпусковой схеме [16];
- в составе СЖО ЛОС используются перспективные средства регенерации атмосферы и воды;
- численность экипажа ЛОС в аварийной ситуации 4 человека при длительности пребывания 60 сут с соответствующим объемом аварийных запасов.



Рис. 2. Структура расчетной математической модели ЛОС

Моделирование дало следующие результаты: максимальная расчетная численность экипажа ЛОС – 9 чел.; объем герметичных отсеков ЛОС – 460 м<sup>3</sup>, что соответствует 6 модулям, выводимым на ОИСЗ с помощью РН «Ангара-А5В». Такое число модулей большой размерности аналогично ОС «Мир».

На основании полученных данных о массе и объемах бортового оборудования ЛОС проведено распределение оборудования по модулям. Группы оборудования и зоны экипажа распределены между модулями ЛОС, в числе которых служебно-лабораторный модуль (СЛМ), модуль жизнеобеспечения (МЖО), жилой модуль (ЖМ), складской модуль (СкМ), спортивно-рекреационный (СРМ). В составе ЛОС предусмотрен энергодвигательный модуль (ЭДМ), выполняющий функции электроснабжения и выдачи импульсов тяги для управления движением станции.

Основными источниками шума и вибраций ЛОС являются служебные системы, средства жизнеобеспечения и целевое оборудование. Источниками вредных примесей в атмосфере станции являются служебные системы, целевое оборудование, предметы личной гигиены экипажа, оборудование медицинского контроля. В НшС токсичные микропримеси попадают в атмосферу герметичных модулей ЛОС прежде всего при пожаре, а также при утечках в результате разгерметизации служебных систем, оборудования жизнеобеспечения и научного оборудования. Источниками неприятных запахов являются санитарно-гигиеническое оборудование и оборудование СРВУ.

Цель настоящего исследования достигается в результате размещения основных источников неблагоприятных для экипажа факторов в СЛМ и МЖО, в то время как ЖМ с каютами экипажа и местами приема пищи, СРМ и СкМ в максимальной степени освобождены от этих источников. Общий вид станции приведен на рис. 3.

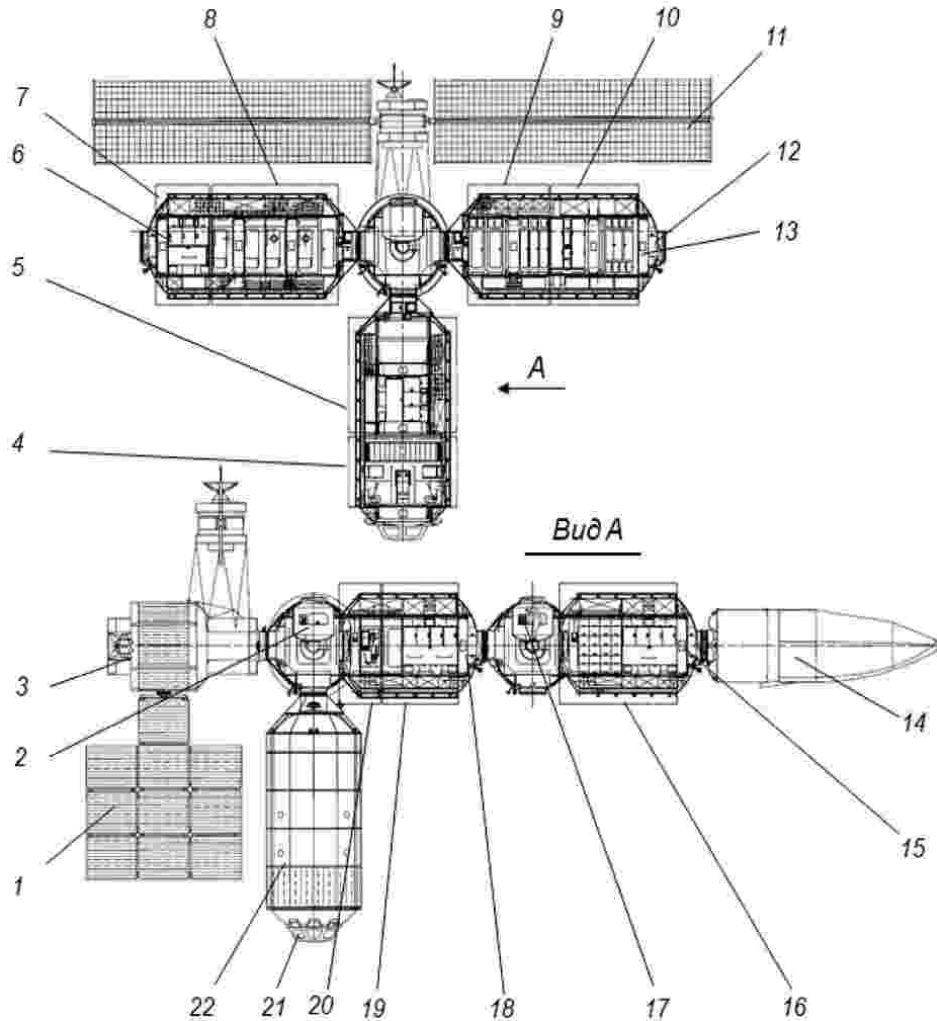


Рис. 3. Общий вид станции:

1 – радиационный теплообменник; 2, 17 – шлюзовой отсек; 3 – ЭДМ; 4 – зона физических упражнений на тренажерах; 5 – зона спортивно-развлекательных мероприятий для туристов; 6 – ЖМ; 7 – зона приема пищи; 8 – зона сна; 9 – зона санитарно-гигиенических процедур; 10 – зона рабочих мест обслуживания средств жизнеобеспечения; 11 – солнечная батарея; 12 – стыковочный порт; 13 – МЖО; 14 – транспортный корабль; 15 – СкМ; 16 – хранилище грузов; 18 – СЛМ; 19 – зона рабочих мест целевой деятельности; 20 – зона рабочих мест управления работой ЛОС; 21 – обзорный иллюминатор; 22 – СРМ

Первым на ОИСЛ выводится СЛМ 18, оснащенный блоком буксировки с ДУ и солнечными батареями. Он обеспечивает управление движением и электроснабжение ЛОС до прибытия ЭДМ. СЛМ оснащен целевым оборудованием и служебными системами, которые являются источниками шума и вибраций. В нем располагаются рабочие места экипажа по работе со служебными системами и целевым оборудованием.

Затем прибывают МЖО 13-й и 6-й (жилой). В результате этого станция становится укомплектованной средствами кислородообеспечения, водоснабжения, санитарно-гигиеническими устройствами и средствами медицинского обслуживания (МЖО), а также каютами и средствами приема пищи (ЖМ). Перечисленных средств достаточно для приема длительных экспедиций экипажа. Оборудование МЖО является источником шума и вибраций, вредных микропримесей атмосферы и неприятных запахов. В МЖО располагаются туалеты и кабины для выполнения санитарно-гигиенических процедур, а также рабочие места обслуживания средств жизнеобеспечения и медицинского контроля. ЖМ – основное место отдыха экипажа.

Следующим этапом к станции присоединяется ЭДМ 3, принимающий на себя функции управления движением и энергоснабжения. Он оснащен средствами обеспечения тепловых режимов, в состав которых входят источники вибраций – насосы СОТР.

Окончательную конфигурацию станция приобретает после присоединения СкМ и СРМ.

Вариант распределения групп оборудования и зон экипажа приведен в таблице. В соответствии с этим распределением зоны отдыха и приема пищи экипажа расположены в ЖМ. Основная часть источников неблагоприятных факторов расположена в СЛМ и МЖО. Зона физических упражнений на тренажерах выделена в СРМ.

#### Распределение групп оборудования и зон экипажа по модулям

Группы оборудования и зоны экипажа	Модули орбитальной станции					
	СЛМ	МЖО	СкМ	ЖМ	СРМ	ЭДМ
Оборудование – источники шума и вибраций						
Насосы и вентиляторы целевого оборудования	•					
Насосы СОТР		•				•
Циркуляционные вентиляторы СОТР		•				
Вентиляторы регенерации и кондиционирования атмосферы СЖО		•				
Насосы средств регенерации воды СЖО		•				
Компрессоры откачки газа наддува топливных баков двигательной установки						•
Оборудование – источники вредных микропримесей атмосферы станции						
Неметаллические материалы конструкции	•	•	•	•	•	

Окончание табл.

Группы оборудования и зоны экипажа	Модули орбитальной станции					
	СЛМ	МЖО	СкМ	ЖМ	СРМ	ЭДМ
Предметы личной гигиены экипажа		•				
Вещества, используемые при штатном медицинском контроле		•				
Оборудование – источники неприятных запахов						
санитарно-гигиеническое		•				
для регенерации воды из урины		•				
Зоны работы и отдыха экипажа						
Рабочие места						
– целевой деятельности и управления ОС	•					
– ТОР бортовых систем станции	•	•	•	•	•	
Зона:						
– физических упражнений на тренажерах					•	
– проведения медицинских обследований и процедур экипажа		•				
– приема пищи и сна				•		
– санитарно-гигиенических процедур		•				
– подготовки выходов в космос	•		•			
– работ по учету и хранению грузов			•			
– спортивно-развлекательных мероприятий для туристов					•	
– проведения коллективных мероприятий и видеоконференций					•	

Приведенное распределение оборудования по модулям способствует созданию улучшенной среды обитания экипажа с точки зрения воздействия шума и вибраций, обеспечения чистоты атмосферы для дыхания. Уменьшение воздействия неблагоприятных факторов на экипаж также связано с принятием специальных мер по последовательности развертывания и конструкции станции:

1. К станции не должны предъявляться требования об обеспечении долговременных экспедиций экипажа до развертывания первых трех модулей: СЛМ, МЖО и ЖМ. При необходимости, возможны экспедиции кратковременного посещения станции для выполнения монтажных работ, доставки грузов и оборудования дооснащения с частичным использованием экипажем средств жизнеобеспечения из состава транспортного корабля [23]. В режиме постоянного обитания станция может находиться после развертывания первых трех модулей.

2. Система вентиляции станции должна быть устроена так, чтобы минимизировать попадание вредных примесей атмосферы и избыточной влаги в модули с размещенными в них зонами сна, приема пищи, зоны физических упражнений на тренажерах и спортивно-развлекательных мероприятий для

туристов. Зоны-источники примесей и повышенной влажности атмосферы должны быть изолированы, а на выходе воздуха из этих зон должны быть предусмотрены специальные фильтры для удаления микропримесей и избыточной влаги. Ограничение переноса примесей и избыточной влаги межмодульной вентиляцией может быть достигнуто в результате регулирования соотношения расходов перемешиваемого воздуха внутри модуля и межмодульной вентиляции [24].

3. С целью уменьшения уровня шума в зонах обитания экипажа целесообразно рассмотреть возможность централизации системы вентиляции с размещением циркуляционных вентиляторов в зоне служебного оборудования. При этом система воздуховодов и расположение выходных патрубков должны обеспечивать перемешивание воздуха и отсутствие застойных зон в отдельных модулях.

## Выводы

Предложен подход к распределению оборудования между модулями ОС, направленный на улучшение условий обитания экипажа с точки зрения воздействия шума и вибраций, обеспечения чистоты атмосферы для дыхания. Уменьшение воздействия негативных факторов на экипаж также связано с принятием специальных мер по устройству средств вентиляции, очистки атмосферы и последовательности развертывания станции. Разработан вариант конфигурации многофункциональной ОС с учетом влияния указанных факторов на экипаж.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Одномодульные орбитальные станции «Салют». Долговременные орбитальные станции третьего поколения. История развития отечественной пилотируемой космонавтики / Коллектив авторов: Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. – Москва: Столичная энциклопедия, 2025. – С. 188–192, 320–322.  
The Salyut Single-Module Orbital Stations. The Long-term Orbital Stations of the Third Generation. The History of Development of the Russian Manned Cosmonautics / The Group of Authors: From S.P. Korolev Rocket and Space Corporation Energia. – Moscow: the Metropolitan Encyclopedia, 2025. – P. 188–192, 320–322 (in Russian).
2. Радченко, Э.Т. Орбитальный пилотируемый комплекс «Мир». Базовый блок. Транспортные корабли модульные. История развития отечественной пилотируемой космонавтики. – Москва: Столичная энциклопедия, 2025. – С. 337–359.  
Radchenko, E.T. The Mir Orbital Manned Complex. Core Module. Modular Vehicles. The History of Development of the Russian Manned Cosmonautics. – Moscow: the Metropolitan Encyclopedia, 2025. – P. 337–359 (in Russian).
3. Беглов, Р.И. Проектная история создания Международной космической станции // Космическая техника и технологии. – 2024. – № 1(44). – С. 19–34.  
Beglov, R.I. The International Space Station Project History // Space Engineering and Technology. – 2024. – No 1(44). – P. 19–34 (in Russian).

4. Харланов, А.С. Становление Китайской Народной Республики мировой космической державой: опыт и взгляд в будущее / А.С. Харланов, Р.В. Белый // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 2(43). – С. 41–54.  
Kharlanov, A.S. Chine's Rise to One of the World Space Power: Experience and Look to the Future / A.S. Kharlanov, R.V. Belyi // Manned Spaceflight. – 2022. – No 2(43). – P. 41–54 (in Russian).
5. Шибанов, Г.П. Обитаемость космоса и безопасность пребывания в нем человека. – Москва: Машиностроение, 2007. – 544 с.  
Shibanov, G.P. Habitability in Space and Safety of Humans Being in It. – Moscow: Mashinostroenie, 2007. – 544 p. (in Russian).
6. Бударин, Н.М. Подготовка космонавтов к воздействию неблагоприятных факторов космического полета / Н.М. Бударин, А.Н. Егоров, Э.В. Шабляускас // Авиакосмическая техника и технология. – 2000. – № 3. – С. 21–32.  
Budarin, N.M. Training of Cosmonauts to the Adverse Factors Effect of Space Flight / N.M. Budarin, A.N. Egorov, E.V. Shablyauskas // Aerospace Technology. – 2000. – No 3. – P. 21–32 (in Russian).
7. Разработка международного стандарта по системам обеспечения жизнедеятельности в космическом полете / А.С. Гузенберг, С.Ю. Романов, А.А. Телегин, А.В. Юргин // Космическая техника и технологии. – 2013. – № 1. – С. 68–80.  
Development of the International Standard on Life Support Systems for Spacecraft / A.S. Guzenberg, S.Yu. Romanov, A.A. Telegin, A.V. Yurgin // Space Engineering and Technology. – 2013. – No 1. – P. 68–80 (in Russian).
8. Christopher, S. Allen International Space Station Acoustics – A Status Report. 45th International Conference on Environmental Systems ICES-2015-286 12–16 July 2015, Bellevue, Washington.
9. Limardo, José G. Danielson International Space Station (ISS) Crewmember's Noise Exposures from 2015 to Present / José G. Limardo, Christopher S. Allen, W. Richard // 47th International Conference on Environmental Systems ICES-2017-191 16–20 July 2017, Charleston, South Carolina.
10. Перспективы развития систем удаления токсичных микропримесей из атмосферы обитаемых космических станций / А.С. Гузенберг, А.Л. Потемкин, А.В. Юргин, А.Г. Железняков [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2024. – № 1(44). – С. 78–93.  
Further Development of Toxic Trace Contaminant Removal Systems for Atmosphere of Manned Space Stations / A.S. Guzenberg, A.L. Potemkin, A.V. Yurgin, A.G. Zheleznyakov [et al.] // Space Engineering and Technology. – 2024. – No 1(44). – P. 78–93 (in Russian).
11. Средства обеспечения газового состава и водообеспечения комплексов систем жизнеобеспечения российского и американского сегментов Международной космической станции / А.С. Гузенберг, А.Г. Железняков, С.Ю. Романов, В.А. Бутрин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 3(44). – С. 43–68.  
Atmospheric Revitalization and Water Supply Equipment of the Life Support Complexes on the International Space Station RS and USOS / A.S. Guzenberg, A.G. Zheleznyakov, S.Yu. Romanov, V.A. Butrin [et al.] // Manned Space Flights. – 2022. – No 3(44). – P. 43–68 (in Russian).

12. Попадание токсичных веществ в атмосферу пилотируемых космических объектов в нештатных ситуациях / А.С. Гузенберг, А.Г. Железняков, С.Ю. Романов, А.В. Юргин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 2(43). – С. 83–104.  
Toxic Substances in the Atmosphere of Manned Space Objects in Emergency Situations / A.S. Guzenberg, A.G. Zheleznyakov, S.Yu. Romanov, A.V. Yurgin [et al.] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 2(43). – P. 83–104 (in Russian).
13. Отработка средств обеспечения газового состава и водообеспечения комплексов систем жизнеобеспечения межпланетных экспедиций на основе систем жизнеобеспечения российского и американского сегментов Международной космической станции / А.С. Гузенберг, А.Г. Железняков, С.Ю. Романов, В.А. Бутрин [и др.] // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 4(45). – С. 36–53.  
Development of Atmospheric Revitalization and Water Supply Equipment for Interplanetary Expeditions Based on Life Support Systems for the Russian and American Segments of the International Space Station / A.S. Guzenberg, A.G. Zheleznyakov, S.Yu. Romanov, V.A. Butrin [et al.] // Manned Spaceflight. – 2022. – No 4(45). – P. 36–53 (in Russian).
14. Некоторые подходы к созданию и модернизации системы жизнеобеспечения отечественных орбитальных станций и особенности подготовки космонавтов к их эксплуатации / Д.К. Дедков, А.П. Коровкин, Т.Ю. Маликова, А.А. Тощева // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – № 1(42). – С. 70–84.  
Some Approaches to the Development and Modernization of Life Support Systems of the Russian Orbital Stations and the Features of Training Cosmonauts for their Use / D.K. Dedkov, A.P. Korovkin, T.Yu. Malikova, A.A. Toshcheva // Manned Spaceflight. – 2022. – No 1(42). – P. 70–85 (in Russian).
15. Разработка предложений по техническому облику лунной орбитальной станции и лунной базы / Ю.О. Бахвалов, С.А. Петроковский, С.Е. Пугаченко, В.Н. Каменщиков [и др.] // Полет. – 2008. – № 6. – С. 3–7.  
Development of Proposals on Technical Appearance of the Lunar Orbital Station and the Lunar Base / Yu.O. Bakhvalov, S.A. Petrokovsky, S.E. Pugachenko, V.N. Kamenshchikov [et al.] // Poljot. – 2008. – No 6 – P. 3–7. (in Russian).
16. Whitley, R. Options for staging orbits in cis-Lunar space / R. Whitley, R. Martinez // Aerospace Conference IEEE, Big Sky, MT, USA. – 2016. – 9 p. – URL: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20150019648/downloads/20150019648.pdf> (accessed on 12.09.2023).
17. Муртазин, Р.Ф. Эффективная транспортная система для доставки экипажа на лунную базу / Р.Ф. Муртазин, Е.К. Беляева, Р.И. Беглов // Космическая техника и технологии. – 2024. – № 2(45). – С. 131–143.  
Murtazin, R.F. Efficient Transportation System for Crew Delivery to a Lunar Base / R.F. Murtazin, E.K. Belyaeva, R.I. Beglov // Space Engineering and Technology. – 2024. – No 2(45). – P. 131–143 (in Russian).
18. Gateway Memorandum for the Record. NASA, May 2018. – URL: [https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/gateway\\_domestic\\_and\\_international\\_benefits-memo.pdf](https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/gateway_domestic_and_international_benefits-memo.pdf). (accessed on 03.05.2018).
19. Нестеров, В.Е. Космический ракетный комплекс «Ангара»: история создания: [в 2 томах] / В.Е. Нестеров. – Москва: Ремарко, 2018. – Текст: непосредственный.

- Nesterov, V.E. The Angara Space Rocket Complex: A History of Creation: [in 2 Volumes]. – Moscow: Remarco, 2018. – Text: direct (in Russian).
20. Программное средство «Учебно-исследовательский компьютерный стенд для моделирования ракетно-космических систем» (УИКС) / Ю.О. Бахвалов, С.Е. Пугаченко, А.А. Лангуев [и др.] // Свидетельство о государственной регистрации № 2011616220 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 2010.
- Software Tool “Educational and Research Computer Stand for Modelling of Rocket-Space Systems (ERCS) / Yu.O. Bakhvalov, S.E. Pugachenko, A.A. Languev [et al.] // Certificate of State Registration No 2011616220 by Federal Service for Intellectual Property, Patents and Trademarks. – 2010 (in Russian).
21. Математическое моделирование пилотируемых космических комплексов / С.Е. Пугаченко, А.А. Лангуев, И.А. Соболев, А.В. Перфильев // В сб. «Научно-технические разработки КБ «Салют». 2006–2008 гг.» / Ю.О. Бахвалов, А.В. Альбрехт, Е.А. Абрамова [и др.]; под ред. Ю.О. Бахвалова. – Москва: Машиностроение, 2010. – С. 25–32.
- Mathematical Modeling of Manned Space Complexes / S.E. Pugachenko, A.A. Languev, I.A. Sobolev, A.V. Perfiliev // In the Collection “Scientific and Technic Developments of Design Bureau “Salyut”. 2006–2008” / Yu.O. Bakhvalov, A.V. Albreht, E.A. Abramova [et al.]; ed. by Yu.O. Bakhvalov. – Moscow: Mashinostroenie. – 2010. – P. 25–32 (in Russian).
22. Пугаченко, С.Е. Моделирование пилотируемых ракетно-космических систем // Идеи и новации. – 2020. – Т. 8, № 3–4. – С. 33–41. – DOI: 10.48023/2411-7943\_2020\_8\_3\_4\_33.
- Pugachenko, S.E. The Modelling of Manned Rocket-Space Systems // Ideas and Novations. – 2020. – Vol. 8, No 3–4. – P. 33–41. – DOI: 10.48023/2411-7943\_2020\_8\_3\_4\_33 (in Russian).
23. Пугаченко, С.Е. Исследование режимов обслуживания экипажем окололунной орбитальной станции-космопорта / С.Е. Пугаченко, Д.А. Козедуб // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2019. – № 4. – С. 31–44. – DOI: 10.18698/0236-3941-2019-4-31-44.
- Pugachenko, S.E. The Research of the Modes of the Near-Moon Orbital Station-Cosmoport Maintenance by Crew / S.E. Pugachenko, D.A. KozeDub // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Series of Mashinostroenie. – 2019. – No 4. – P. 31–44. – DOI: 10.18698/0236-3941-2019-4-31-44 (in Russian).
24. Результаты исследования процессов очистки и вентиляции атмосферы обитаемых гермомодулей космической станции от газовых примесей / А.П. Елчин, А.С. Гузенберг, С.Ю. Романов, А.Г. Железняков [и др.] // Космическая техника и технологии. – 2021. – № 1(32). – С. 98–107.
- Results of Studies of the Gaseous Contaminants Purification and Atmosphere Ventilation of a Space Station Habitable Pressurized Modules / A.P. Elchin, A.S. Guzenberg, S.Yu. Romanov, A.G. Zheleznyakov [et al.] // Space Engineering and Technology. – 2021. – No 1(32). – P. 98–107 (in Russian).