

УДК 629.786.2

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ УДАЛЕННОГО ОБУЧЕНИЯ КОСМОНАВТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОГРАНИЧЕННЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

А.А. Курицын, Е.В. Попова, И.В. Кутник, О.В. Блинов

Докт. техн. наук, доц. А.А. Курицын; канд. пед. наук Е.В. Попова;
И.В. Кутник; космонавт-испытатель О.В. Блинов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

При выполнении перспективных космических полетов к Луне и в дальний космос особое значение будет иметь возможность удаленного обучения космонавтов в космическом полете. Автономный космический полет без возможности оперативной доставки дополнительного оборудования или смены экипажа может потребовать от членов экипажа пилотируемого космического аппарата (ПКА) выполнения полетных операций, к которым он либо не готовился перед космическим полетом, либо подготовка проводилась достаточно давно. Таким образом, уже сейчас актуальным становится вопрос отработки технологий удаленного обучения космонавтов в условиях ограниченных средств связи.

Ключевые слова: МКС, перспективная пилотируемая космическая программа, подготовка космонавтов, дистанционное обучение, космические эксперименты

Maturing the Remote Cosmonaut Training Technology Using Limited Communication Facilities When Carrying out Space Experiments. A.A. Kuritsyn, E.V. Popova, I.V. Kutnik, O.V. Blinov

For performing the future lunar missions and missions into deep space, remote in-flight cosmonaut training will be of particular significance. During an autonomous space flight it is impossible to deliver additional equipment or to perform crew rotation, so it may require the expedition members to perform flight operations for which they were not trained or the training took place a long time ago. Thus, the problem of maturing the remote cosmonaut training technology using limited communication facilities is seen topical.

Keywords: ISS, advanced manned space program, cosmonaut training, remote training, space experiments

Постановка задачи исследований

На базе Института медико-биологических проблем РАН (ИМБП) с 04.11.2021 по 02.07.2022 проводились экспериментальные исследования SIRIUS-21 «Комплексное изучение адаптационных процессов, происходящих в организме человека при моделировании отдельных факторов космического полета

в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания» [1] с целью:

- изучения механизмов адаптации человека в условиях изоляции в гермообъекте с искусственной средой обитания;
- проведения научных исследований при моделировании отдельных факторов космического полета в условиях изоляции.

Задачами специалистов ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» (ЦПК) в экспериментальных исследованиях с участием человека SIRIUS-21 в соответствии с утвержденной программой являлись: отработка технологии удаленного обучения космонавтов с использованием ограниченных средств связи с имитацией работы в длительном межпланетном перелете и оценка качества выполняемых работ.

Для проведения исследований были выбраны типовые направления деятельности космонавтов, которые характерны для длительного космического полета [2], одним из которых является выполнение научной программы.

Выполнение научной программы на борту ПКА при полетах в дальний космос будет являться наиболее важным направлением деятельности членов экипажа [2]. Длительность космического полета, возникновение новых задач в космическом полете для научной программы может потребовать обучения космонавтов к выполнению космических экспериментов (КЭ) непосредственно в космическом полете [3, 4].

Таким образом, в рамках экспериментальных исследований SIRIUS-21 поставлена и решена задача оценки качества деятельности операторов при выполнении КЭ с использованием технологии удаленного обучения в условиях длительной изоляции и ограниченных средств связи (моделируется ограничение длительности сеансов связи и вводится временная задержка связи). Для решения данной задачи в программу исследований SIRIUS-21 были включены два смоделированных эксперимента по направлению биология и биотехнология (БИО и БТХ) с условными названиями: «Антисептик» и «Микромир» с привлечением целевого оборудования «Главбокс-С» (ЦО ГБ) и термостата «ТБУ-В», а также вспомогательного оборудования в виде фото- и видеоаппаратуры.

Для оценки качества деятельности операторов при выполнении КЭ «Антисептик» и «Микромир» были использованы три показателя качества: правильность выполнения процедур, полнота выполнения процедур, время, затраченное на выполнение процедур операторами, в сравнении с временем, затраченным на выполнение процедур полностью подготовленного профессионального космонавта.

Способы обучения, которые были применены в технологии удаленного обучения космонавтов, к выполнению КЭ на борту ПКА:

1. Удаленное предварительное обучение перед проведением КЭ в рамках SIRIUS-21, для чего использовались электронные, бумажные, аудио- и видеоносители. Здесь применялись аудио- и видеофильмы, учебно-методические

пособия, радиограммы. Проводились аудиоконсультации и использовались ответы на вопросы по электронной почте.

2. Удаленное обучение посредством аудио- и видеосвязи с особенностью задержки связи в полете на 5 минут и наличия перерывов в связи непосредственно при проведении КЭ. Предварительного обучения в ЦПК по данным КЭ с операторами не проводилось.

Специалистами ЦПК по основе стандартных процедур проведения полетных КЭ разработаны методики выполнения работ для смоделированных экспериментов «Антисептик» и «Микромир», проводимых операторами в изолированных средах наземного экспериментального комплекса ИМБП, что позволило получить результаты, соответствующие результатам выполнения реального КЭ на борту ПКА.

Согласно разработанной методике выполнения работ по БИО и БТХ КЭ в изоляционном эксперименте участвовали два российских члена экипажа: оператор 1 и оператор 2. Принципиальным отличием оператора 1 от оператора 2 является то, что оператор 1 имел опыт начальной космической подготовки в ЦПК в течение нескольких лет, а оператор 2 не имел опыта подготовки, что сказалось на результатах выполненных работ. Существующая практика подготовки космонавтов к выполнению КЭ в ЦПК предполагает обучение в течение нескольких лет на трех этапах подготовки космонавтов [5].

КЭ «Антисептик» заключается в экспериментальной проверке контроля стерильности аппаратуры ГБ для создания асептических условий проведения БТХ КЭ в условиях космического полета, для чего необходимо собрать ГБ и проверить его стерильность с помощью укладки «Поверхность». В КЭ «Микромир» исследуются факторы космического полета на скорость литического действия бактериофагов на бактерии, работы проводятся в ГБ и затем пробы размещаются в термостате. Используемая научная аппаратура (НА) представлена на рис. 1.

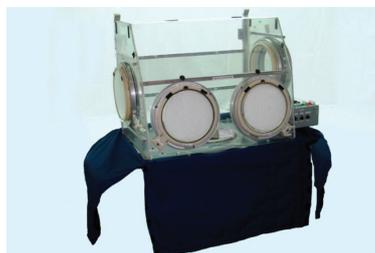
Для достоверности статистических данных КЭ «Антисептик» и «Микромир» каждый космонавт (оператор) выполнял по две сессии с перерывом в два месяца.

Работа операторами проводилась согласно разработанным радиограммам (р/г) проведения КЭ. Р/г данных работ соответствуют формам р/г космонавтов для РС МКС, но адаптированы под условия проекта SIRIUS-21.

Циклограмма обоих экспериментов состоит из трех блоков с последовательными операциями их выполнения:

- подготовительные работы;
- выполнение КЭ;
- заключительные операции.

При выполнении научной программы по БИО и БТХ КЭ в условиях изоляции необходимо было соблюдение следующих требований:



ЦО «Главбокс-С»

НА «Антисептик»
(укладка «Поверхность»)

ЦО «ТБУ-В»



НА «Микромир»

Рис. 1. Состав научного оборудования КЭ «Антисептик» и КЭ «Микромир»

1. Члены экипажа выполняют работы на образцах тренажерной аппаратуры аналогичной той, которая используется космонавтами при выполнении похожих экспериментов на борту РС МКС.

2. Научная аппаратура заправляется живыми биообъектами, что влечет за собой соблюдение температурных режимов по ее хранению.

3. Точное соблюдение последовательности циклограммы работ (без отклонений).

4. Точное соблюдение временных интервалов экспонирования биообъектов.

5. Все работы по ЦО ГБ, КЭ «Микромир», КЭ «Антисептик» в рамках одной серии выполняются в один день оператором 1 и оператором 2.

6. Аппаратура с заправленными биообъектами должна доставляться экипажу грузовыми кораблями под каждую сессию выполнения эксперимента.

7. Выгрузка аппаратуры производится в тот же день после выполнения данных КЭ для последующей их заправки для проведения второй сессии экспериментов.

Проведение работ операторами по выполнению научной программы по направлениям БИО и БТХ началось в декабре 2021 г. Доставка оборудования была произведена с «грузовым кораблем». Вторая сессия экспериментов была привязана ко второй доставке «грузовым кораблем» в феврале 2022 г. Обе сессии экспериментов выполнялись через 2–4 дня после прибытия «корабля». Таким образом, удалось смоделировать наиболее приближенно

условия хранения и эксплуатации аппаратуры, заправленной реальными живыми объектами исследования (микроорганизмами). По итогам проведенных экспериментов на Землю были переданы фото- и видеоматериалы, что являлось полученным результатом при выполнении экспериментов (рис. 2).



Рис. 2. Работа оператора 1 (слева) и оператора 2 (справа) с НА «Главбокс-С»

Методы исследований

При выполнении исследований и обработке результатов были применены методы исследования: наблюдение и статистическая обработка информации.

Метод наблюдения – описательно-исследовательский метод, заключающийся в целенаправленном, организованном восприятии и регистрации выполнения операторской деятельности и поведения участников эксперимента (оператора 1, 2). Задача инструктора состояла в наблюдении за деятельностью космонавтов и регистрации отклонений от циклограммы экспериментов.

Правильность выполнения КЭ оператором контролировалась с использованием средств видеорегистрации и по докладам операторов при выполнении операций.

Для анализа данных, полученных по результатам проведения экспериментальных исследований, операторской деятельности по выполнению БИО и БТХ КЭ использовались методы математической статистики. Результаты обработки данных приведены в табл. 1–3.

При использовании методов статистической обработки информации использовались следующие математические зависимости:

– относительное изменение времени выполнения i -й операции КЭ оператором по сравнению с фоновым значением:

$$X_{\text{отн}i} = \frac{X_{1i} + X_{2i}}{2} - X_{\text{фон}i} \cdot 100 \%,$$

где X_{1i} – длительность выполнения i -й операции в 1-м сеансе;

X_{2i} – длительность выполнения i -й операции во 2-м сеансе;
 $X_{\text{фон}i}$ – длительность выполнения i -й операции подготовленным профессиональным космонавтом;
 – относительное изменение времени выполнения оператором j -го эксперимента:

$$X_{\text{отн}j} = \frac{\frac{X_{1j} + X_{2j}}{2} - X_{\text{фон}j}}{X_{\text{фон}j}} 100 \%,$$

где X_{1j} – длительность выполнения j -го эксперимента в 1-м сеансе;
 X_{2j} – длительность выполнения j -го эксперимента во 2-м сеансе;
 $X_{\text{фон}j}$ – длительность выполнения j -го эксперимента подготовленным профессиональным космонавтом;
 – среднее арифметическое значение:

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^M X_i}{M},$$

где M – количество выборок с учетом фоновых значений;

- дисперсия: $D = \frac{\sum_{i=1}^M (X_i - X_{\text{ср}})^2}{M - 1}$;
- стандартное отклонение: $\sigma = \sqrt{D}$;
- доверительный интервал: $X = X_{\text{ср}} \pm \alpha \sigma_{\text{ср}}$,

где α – t -критерий Стьюдента.

Определены границы доверительного интервала с использованием t -критерия Стьюдента для представленной в исследованиях выборки при уровне достоверности равном 0,95.

Расчеты и построение диаграмм статистической выборки экспериментальных данных проводились с использованием аппарата обработки статистических данных программы Microsoft Excel.

Результаты проведенного исследования

1. Показано, что без предварительной подготовки до начала эксперимента операторы с использованием технологии удаленного обучения смогли выполнить КЭ «Антисептик» и «Микромир» в полном объеме и без отклонений от циклограммы. При этом отмечается, что для выполнения КЭ обоими операторами было потрачено больше времени по сравнению с подготовленным профессиональным космонавтом. Увеличение времени на выполнение КЭ связано с необходимостью подготовки к нему в условиях изоляционного эксперимента и ограниченных средств связи.

2. Статистические данные по итогам проведения экспериментальных исследований по оценке выполнения КЭ «Антисептик» для обоих операторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Статистические данные по оценке выполнения КЭ «Антисептик»

Операция	Проф. космонавт	Оператор 1 с опытом подготовки			Оператор 2 без опыта подготовки		
	Фоновые значения $X_{фон}$, мин	Значения 1 сессии X_1 , мин	Значения 2 сессии X_2 , мин	Относит. изменение времени $X_{отн}$, %	Значения 1 сессии X_1 , мин	Значения 2 сессии X_2 , мин	Относит. изменение времени, $X_{отн}$, %
1. Снятие защитного экрана с ГБ	1	1,5	1	25	2	2	100
2. Снятие крышек перчаточных портов	1	2	1	50	2	2	100
3. Установка шлюзового устройства	2	4,5	4	113	7	6	225
4. Установка осветителей	4	7	6	62,5	11	10	165
5. Установка перчаточных узлов	2	6	4	150	9	6	275
6. Сборка электрической цепи	6	9	10	58	14	14	133
7. Настройка фотоаппаратуры	3	6	4	67	11	10	250
8. Фотографирование	2	4	4	100	8	8	300
9. Размещение пробоотборника в ГБ	3	7	7	133	11	10	250
10. Стерилизация внутри ГБ	4	9	6	88	12	11	188
11. Отбор проб с внутренней поверхности ГБ	9	13	11	33	17	15	78
12. Извлечение пробоотборника и размещение в ТБУ	2	5	4	125	6	6	200
13. Приведение аппаратуры в исходное состояние	2	4	3	75	6	6	200
14. Передача фотоснимков на Землю	6	12	9	75	19	17	200
Весь эксперимент	47	90	74	74	125	123	163

В качестве фоновых значений использовались значения длительности выполнения операций КЭ профессиональным космонавтом, прошедшим подготовку к космическому полету по аналогичному КЭ. Показано, что затраченное время выполнения полетных операций у оператора 1 с опытом подготовки по сравнению с профессиональным космонавтом больше на 74 %, у оператора 2 без опыта подготовки больше, соответственно, на 163 %.

3. Статистические данные по итогам проведения экспериментальных исследований по оценке выполнения КЭ «Микромир» для обоих операторов, которые приведены в табл. 2.

Показано, что затраченное время выполнения полетных операций по КЭ «Микромир» у оператора 1 с опытом подготовки по сравнению с профессиональным космонавтом больше на 40 %, у оператора 2 без опыта подготовки больше, соответственно, на 98 %.

Таблица 2

Статистические данные по оценке выполнения КЭ «Микромир»

Операция	Проф. космонавт	Оператор 1 с опытом подготовки			Оператор 2 без опыта подготовки		
	Фоновые значения $X_{фон}$, мин	Значения 1 сессии X_1 , мин	Значения 2 сессии X_2 , мин	Относит. изменение времени $X_{отн}$, %	Значения 1 сессии X_1 , мин	Значения 2 сессии X_2 , мин	Относит. изменение времени $X_{отн}$, %
1. Настройка фотоаппаратуры, работы с термостатом, подготовка ГБ к работе	12	16	14	25	21	18	63
2. Предварительные работы по активации кассеты 1 и 2	7	13	9	57	19	14	136
3. Фотофиксация состояния кассет 1 и 2	14	19	16	25	21	22	54
4. Размещение кассет в ГБ	2	4	3	75	9	6	275
5. Активация процесса в кассетах 1 и 2	3	5	4	50	11	7	200
6. Выгрузка кассет из ГБ	2	3	3	50	5	4	125
7. Фотофиксация процесса в кассетах на рабочем месте	18	26	23	36	35	33	88
8. Заключительные работы с кассетами	6	8	7	25	12	9	75
9. Передача фотоснимков на Землю	8	15	13	75	21	19	150
10. Демонтаж ГБ	11	17	14	73	24	19	95
Весь эксперимент	83	126	106	40	178	151	98

4. Диаграммы статистической выборки данных по экспериментам «Антисептик» и «Микромир», которые представлены на рис. 3–5.

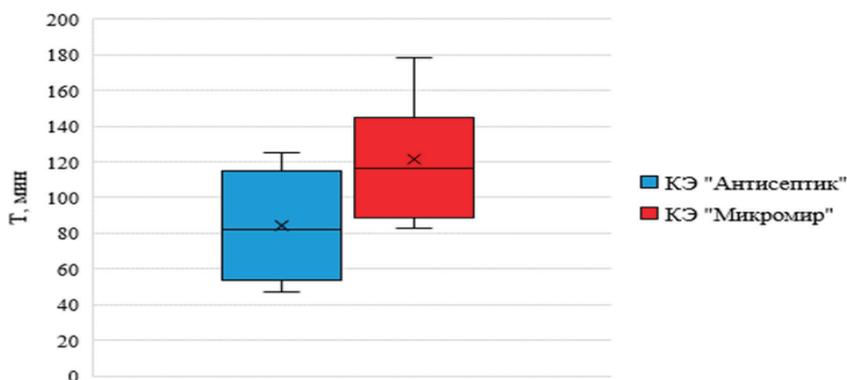


Рис. 3. Диаграмма статистической выборки данных по длительности выполнения КЭ в рамках экспериментальных исследований

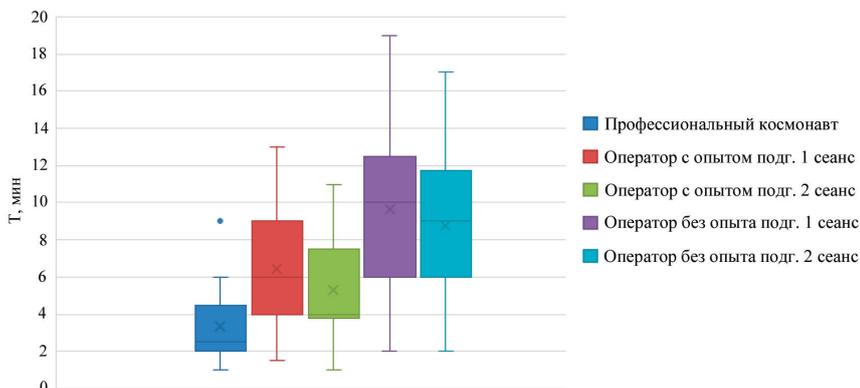


Рис. 4. Диаграмма статистической выборки данных по выполнению отдельных операций в эксперименте «Антисептик»

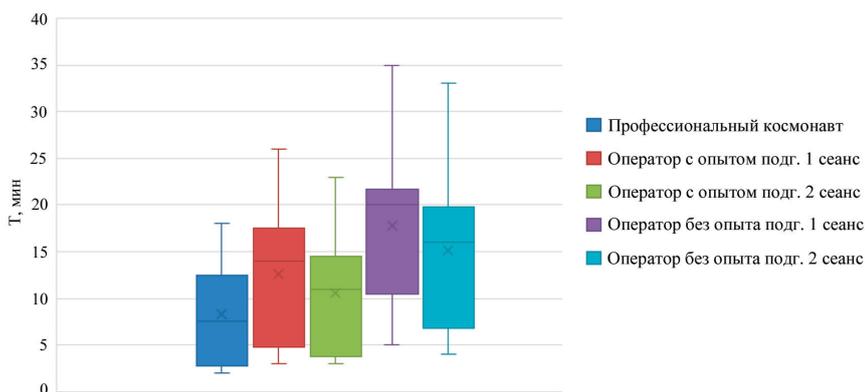


Рис. 5. Диаграмма статистической выборки данных по выполнению отдельных операций в эксперименте «Микромир»

В табл. 3 представлены результаты статистической обработки данных для определения доверительных интервалов с использованием t -критерия Стьюдента для полученной выборки данных при уровне достоверности равном 0,95.

Таблица 3

Определение доверительных интервалов выполнения КЭ
с использованием t -критерия Стьюдента

Параметры	Эксперимент	
	«Антисептик»	«Микромир»
Среднее арифметическое значение, X_{cp} , мин	84,3	121,2
Дисперсия, σ^2	1215,1	1457,4
Стандартное отклонение, σ , мин	34,9	38,17
Достоверность, P	0,95	
Доверительный интервал для произведенной выборки, используя распределение Стьюдента ($P = 0,95, n = 6$)	36,6	40,1
Нижняя граница доверительного интервала, X_H , мин	46,7	81,1
Верхняя граница доверительного интервала, X_B , мин	120,9	161,3
Диапазон доверительного интервала для полученных значений, X , мин	46,7–120,9	81,1–161,3

Выводы

1. В процессе проведения исследований опробована технология удаленного обучения операторов, не прошедших предварительную подготовку к выполнению КЭ с имитацией работы на борту ПКА в условиях ограниченных средств связи, для чего выполнена серия КЭ, в которых участвовали два оператора условного экипажа.

2. Впервые получены экспериментальные данные, которые позволили определить возможность удаленного обучения операторов к выполнению типовых КЭ по направлению БИО и БТХ с использованием ограниченных средств связи с имитацией длительного межпланетного перелета и провести оценку качества проводимых ими работ.

3. Экспериментально подтверждено, что операторы, не прошедшие подготовку к выполнению КЭ до полета, с использованием способов удаленного обучения могут выполнять КЭ на борту ПКА, но со снижением качества деятельности, связанного с увеличением времени на выполнение операций КЭ. Затрачиваемое время на выполнение КЭ увеличивалось: для оператора, имеющего начальный уровень подготовки в ЦПК, в среднем на 57 %; для оператора, не прошедшего начальную подготовку в ЦПК, в среднем на 130 % по сравнению с профессиональным космонавтом.

4. По результатам статистической обработки полученных данных по длительности выполнения КЭ операторами определены: среднее арифметическое значение, дисперсия, среднее квадратичное отклонение, довери-

тельные интервалы с использованием t -критерия Стьюдента для полученной выборки данных при уровне достоверности равном 0,95.

5. Результаты исследования могут быть использованы при оценивании технологии подготовки операторов как при подготовке космонавтов, так и при дальнейших экспериментах типа SIRIUS-21 и должны быть расширены объемом выборки и спектром экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Информационный буклет SIRIUS-21. – URL: <http://sirius.imbp.ru/download> (дата обращения 18.07.2023).
- [2] Кононенко, О.Д. Совершенствование профессиональной деятельности космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. – 2022. – 2(43) – С. 6–18.
- [3] Impact of the International Space Station Research Results / O.N. Diallo, T.M. Ruttley, K. Costello [et al.] // In the Collection: Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. 70, Space: The Power of the Past, the Promise of the Future. – 2019. – 11 p.
- [4] Курицын, А.А. Особенности деятельности космонавтов при выполнении программ научно-прикладных исследований на борту орбитальных пилотируемых комплексов / А.А. Курицын, Е.В. Попова, И.В. Кутник, Н.А. Чуб // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов: в 4 т. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 65–66.
- [5] Курицын, А.А. Система подготовки космонавтов: монография / А.А. Курицын, М.М. Харламов, В.П. Хрипунов. – Звездный городок: НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, 2020. – 318 с. – ISBN 978-5-9908008-3-0. – Текст: непосредственный.

REFERENCES

- [1] Information Booklet Sirius-21. – URL: <http://sirius.imbp.ru/download> (accessed 18.07.2023).
- [2] Kononenko, O.D. Improvement of Cosmonauts' Professional Activity // Manned Spaceflight. – 2(43). – 2022. – P. 6–18.
- [3] Impact of the International Space Station Research Results / O.N. Diallo, T.M. Ruttley, K. Costello [et al.] // In the Collection: Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC. 70, Space: The Power of the Past, the Promise of the Future. – 2019. – 11 p.
- [4] Kuritsyn, A.A. Features of Cosmonauts' Activity When Performing Programs of Scientific-Applied Studies Onboard Orbital Manned Complexes / A.A. Kuritsyn, E.V. Popova, I.V. Kutnik, N.A. Chub // XLV Academic Readings on Cosmonautics Dedicated to the Memory of Academician S.P. Korolev and other Outstanding Domestic Scientists-Pioneers of Space exploration: Collection of Abstracts in 4 vol. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2021. – P. 65–66.
- [5] Kuritsyn, A.A. Cosmonaut Training System: Monograph / A.A. Kuritsyn, M.M. Kharlamov, V.P. Khripunov. – Star City: Yu.A. Gagarin R&T CTC, 2020. – 318 p., – ISBN 978-5-9908008-3-0. – Text: direct.