



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ КОРПОРАЦИЯ
«ЭНЕРГИЯ» ИМЕНИ С.П. КОРОЛЁВА»
(ПАО «РКК «ЭНЕРГИЯ»)

Ленина ул., д. 4А, г. Королёв, МО, 141070
Тел. +7 (495) 513-86-55, факс +7 (495) 513-86-20
e-mail: post@rsce.ru; http://www.energia.ru
ОКПО 07530238; ОГРН 1025002032538
ИНН/КПП 5018033937/997450001

06.11.2025 № 072-3/1819

На № 600-29-052 от 31.10.2025

Учёному секретарю
диссертационного совета
Д 24.2.327.03
при ФГБОУ ВО МАИ (НИУ)
д.т.н., доценту А. В. Старкову
125993, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4

отзыв официального оппонента

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента доктора технических наук, Пичугина Сергея Борисовича, ведущего научного сотрудника ПАО «РКК «Энергия», на диссертацию Чуба Николая Александровича на тему «Методика формирования программ подготовки экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)».

Приложение: Отзыв... в двух экземплярах, на 27 листах каждый экземпляр.

Ученый секретарь ПАО «РКК «Энергия»

О. Н. Хатунцева

Исполнитель: Пичугин С.Б. тел. 8 (495) 513-66-19

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«26» 11 2025 г.

ОТЗЫВ
официального оппонента доктора технических наук
Пичугина Сергея Борисовича
на диссертацию
Чуба Николая Александровича
«Методика формирования программ подготовки экипажей
перспективных пилотируемых космических комплексов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук в Диссертационном совете 24.2.327.03 на базе
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Московский авиационный
институт (национальный исследовательский университет)»
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка
информации, статистика (технические науки)

Тема рецензируемой диссертации, как обосновано диссертантом, актуальна. Актуальность темы диссертации Чуба Н. А. обусловлена необходимостью повышения эффективности процесса подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов (ПКК) в связи с задачей формирования в интересах социально-экономического развития России развитой космической инфраструктуры из долговременных орбитальных комплексов на околоземной и окололунной орбитах.

Это позволит существенно расширить потенциал фундаментальных научных исследований и практического использования космического пространства. Необходимость повышения процесса подготовки обусловлена также рядом тенденций текущего этапа, в том числе:

- постоянного увеличения объемов и задач подготовки космонавтов для существующих и перспективных пилотируемых космических комплексов;
- разработки новых космических программ (околоземные, лунные и дальние миссии);
- и расширения возможностей цифровых технологий для обработки и хранения данных подготовки, для обеспечения эффективной подготовки космонавтов к космическому полету.

При этом, как показал опыт космических полётов, эффективность процесса подготовки в первую очередь зависит от состава занятий (тренировок) с космонавтами.

Таким образом, становится актуальной разработка методики формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК в

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«26» 11 2025 г.

условиях усложнения информационных связей и увеличения объема решаемых задач космонавтами в полете.

Во введении, при обосновании актуальности диссертации, отмечено, что в свете планируемого завершения программы МКС, в ближайшей перспективе предполагается переход к эксплуатации Российской орбитальной станции (РОС) с модульной архитектурой, где выделенный научно-исследовательский модуль обеспечит расширение функциональных возможностей станции. При этом, используемое на практике методическое обеспечение планирования и отсутствие автоматизированных систем планирования подготовки космонавтов не позволяет в полной мере учесть все факторы, влияющие на процесс подготовки экипажей и не позволяет сформировать соответствующую программу подготовки. Уже сегодня программа полета МКС предусматривает одновременную подготовку 12 экипажей МКС, программа подготовки каждого из которых включает около 100 дисциплин по различным видам подготовки и представляет собой комплексную многоуровневую структуру, которая характеризуется взаимодействием множества технических, методических и организационных компонентов, вовлечением в подготовку космонавтов десятков предприятий отрасли, научных институтов и медицинских центров и требует учета значительного количества влияющих на данный процесс факторов. Требования к экипажам пилотируемого транспортного корабля нового поколения (ПТК) и экипажам РОС потребуют дополнительного расширения программы подготовки.

Сформулированные диссертантом во введении объект, предмет, цель и задачи диссертации [с. 7-8] вполне корректны, отражают логику исследования, а выбранные методы исследования адекватны цели и задачам исследования, в том числе:

- объект – программа подготовки космонавтов для выполнения космического полета;
- предмет – процесс формирования программ подготовки космонавтов для выполнения космического полета;
- цель – разработка методики формирования программ подготовки экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов на основе системного подхода с учетом опыта эксплуатации существующих ПТК для повышения эффективности подготовки космонавтов;

Для достижения поставленной цели работы в диссертации поставлена и решена следующая совокупность из 5 задач:

- системный анализ существующего процесса подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов и разработка предложений по его совершенствованию;
- формирование моделей управления подготовкой космонавтов ПКК на основе двухуровневой системы управления процессами;
- разработка методики формирования программ подготовки экипажей подготовки экипажей перспективных ПКК с использованием современных информационных технологий;
- статистический анализ длительности подготовки экипажей ПКК по результатам подготовки экипажей МКС;
- разработка структуры и порядка использования автоматизированной информационной системы с целью формирования программ подготовки экипажей

Методы исследования, использованные при решении поставленной в работе научной задачи:

- системный анализ подготовки экипажей ПКК,
- методы математической статистики,
- методы дискретной математики,
- методы теории четких множеств,
- методы математического моделирования,
- методы многокритериальной оптимизации,
- методы теории принятия решений.

Научная новизна проведенного исследования заключается в разработке модели управления подготовкой космонавтов, а также составляющих математического и программно-алгоритмического обеспечения формирования программ подготовки космонавтов, в том числе:

- разработана модель двухуровневой системы управления подготовкой космонавтов, которая отличается от существующих использованием теории иерархических многоуровневых систем;
- разработана модель управления подготовкой экипажа ПКК, позволяющая определить основные управляющие параметры данного процесса;
- разработана математическая модель процесса формирования программы подготовки экипажа ПКК, которая отличается от

существующих использованием аппарата дискретной математики с учетом разработанных критериев и ограничений;

- разработана методика формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК на основе автоматизированного алгоритма с использованием соответствующей информационной системы поддержки принятия решений, который включает в себя главные технологические элементы (формирование программ подготовки при существующих ограничениях, перепланирование и корректировка планов);

- определены статистические показатели длительности подготовки экипажей МКС на основе результатов выполнения космических полетов.

Автором в *теоретическом* плане лично получены пять новых результатов, в том числе:

- предложения по совершенствованию процесса подготовки экипажей ПКК, формализация постановки задачи определения наиболее эффективных программ подготовки экипажей ПКК;

- модель двухуровневой системы управления подготовкой космонавтов;

- модель управления подготовкой экипажей на технических средствах подготовки космонавтов (ТСПК);

- математическая модель и методика формирования программы подготовки экипажей ПКК;

- сформулированы предложения по совершенствованию процесса выполнения космонавтами программ целевых работ на борту современных и перспективных ПКК;

В *прикладном* плане автором разработаны лично:

- автоматизированный алгоритм формирования программы подготовки экипажей ПКК;

- структура автоматизированной информационной системы планирования программ подготовки.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в разработке методических основ и программно-алгоритмического обеспечения для автоматизированного формирования оптимальных программ подготовки космонавтов различных ПКК, что позволяет:

- повысить эффективность учебного процесса за счет внедрения математических моделей планирования и многокритериальной оптимизации;

- сократить временные затраты на разработку и корректировку программ подготовки;
- обеспечить точное соответствие подготовки требованиям программы полета;
- унифицировать методики для разных типов ПКК.

Полученные результаты создают научно-техническую базу для подготовки экипажей перспективных ПКК, включая Российскую орбитальную станцию и лунную программу, при строгом соблюдении требований безопасности и учете уровня подготовленности космонавтов.

Работа *апробирована* в ходе выступлений автора на трёх национальных и четырёх международных научных мероприятиях (конференциях, конгрессах, встречах).

Результаты диссертационного исследования, также, *опубликованы* в 12 научных работах, включая:

- 5 статей в рецензируемых журналах из Перечня ВАК, среди которых 3 публикации соответствуют специальности 2.3.1 "Системный анализ, управление и обработка информации, статистика" (технические науки);
- 2 работы в сборниках, индексируемых в международной базе данных Scopus;
- 5 иных публикаций в научных изданиях.

Данные публикаций отражают основные научные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна, практическая значимость работы и положения, выносимые диссертантом на защиту [с. 13-17], несомненно, представляют собой результат большой исследовательской работы.

Диссертант выносит *на защиту следующие пять положений*:

- модель двухуровневой системы управления подготовкой космонавтов на основе теории иерархических многоуровневых систем;
- математическая модель процесса формирования программы подготовки экипажа ПКК для решения задачи планирования с использованием математического аппарата дискретной математики, разработанных критериев эффективности;
- методика формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК, базирующаяся на использовании методических принципов обучения и разработанного автоматизированного алгоритма планирования;

- статистические показатели длительности подготовки экипажей МКС на основе результатов выполнения космических полетов;
- структура и порядок использования автоматизированной информационной системы планирования подготовки, позволяющая минимизировать операции обработки данных.

В соответствии с поставленными задачами работа структурно состоит из 4-х разделов и 3-х приложений.

Первый раздел «Системный анализ существующего процесса подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов и разработка предложений по его совершенствованию», как следует из названия раздела, включает анализ процесса подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов и формирование на основе проведенного анализа предложений по совершенствованию процесса подготовки, знакомит с базовыми понятиями, методами и задачами диссертационного исследования.

В первом пункте данного раздела «Анализ процесса подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» диссертант провёл ретроспективный обзор процесса формирования отечественной системы подготовки космонавтов (РСПК), её структуры, этапности, особенностей проведения подготовки на различных этапах, а также современное состояние РСПК.

Структуру РСПК можно представить в виде взаимодействия элементов, входящих в её РСПК, в том числе Отряд космонавтов Российской Федерации, как центральное звено, а также персонал, обеспечивающий проведение подготовки космонавтов и средства подготовки космонавтов.

Подготовка космонавтов к космическому полету осуществляется в четыре этапа, при этом, первый этап является однократным, а остальные этапы могут проводиться многократно:

- первый этап продолжительностью 1,5 – 2 года включает общекосмическую подготовку (ОКП) кандидатов в космонавты;
- второй этап продолжительностью 1,5 – 3 года включает подготовку космонавтов в составе групп специализации и совершенствования по типам пилотируемых космических аппаратов (ПКА) или направлениям деятельности;

– третий этап продолжительностью от 6 до 18 месяцев, определяемой задачами полёта, включает подготовку космонавтов в составе утвержденных экипажей;

– четвертый этап подготовка на борту ПКА в космическом полёте, осуществляется в ходе космического полёта.

Диссертантом отмечено, на основе более чем 60-летнего опыта подготовки как российских космонавтов, так и представителей космических агентств стран партнёров, в рамках РСПК разработаны 13 видов подготовки и соответствующие им программы и характерные формы (типы) подготовки. Каждый вид подготовки может содержать одну или более учебных дисциплин, которые, в свою очередь включают в себя учебные темы подготовки.

Общий объём подготовки кандидата от момента зачисления в Отряд и до момента первого космического старта является величиной вероятностной, так как по запросу космонавта или инструктора объём подготовки может быть скорректирован в большую или меньшую сторону. В среднем данная величина составляет 8230 часов. Это значение принято диссертантом в качестве базового при проектировании системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов.

Во втором пункте первого раздела «Анализ процесса планирования подготовки космонавтов на всех этапах» диссертантом конкретизированы задачи планирования космонавтов на всех этапах подготовки, приведён перечень основных документов для планирования подготовки космонавтов:

Диссертантом отмечено, что при разработке системой автоматизированного управления подготовкой космонавтов типовой программы этапа подготовки космонавтов, необходимо учитывать предложения в программу подготовки космонавтов от проводящих подготовку подразделений ЦПК, а также загрузку специалистов по подготовке, загрузку учебных аудиторий и ТСПК, самостоятельную подготовку космонавтов, задействование космонавтов по другим видам деятельности и, наконец, отпуска, праздничные дни и прочее.

К программе подготовки требуется разрабатываться план-график подготовки космонавтов на текущем этапе. Текущий план-график является основой составления планов подготовки на неделю и, хотя число документов для планирования подготовки остаётся прежним, увеличение количества бортовых систем на борту ПКК, увеличение количества

пилотируемых программ, необходимость учета большого количества ограничений и условий, влияющих на процесс планирования подготовки космонавтов приводят к дальнейшему усложнению процесса подготовки, поэтому в планировании подготовки космонавтов требуется оптимизация с использованием вычислительных средств. Всё это, как отмечает диссертант, должно быть учтено при разработке системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов.

Третий пункт первого раздела «Анализ методических ограничений, влияющих на процесс планирования подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» посвящен ограничениям ресурсов, в том числе человеческим, техническим и материальным.

В целом, перечень *ограничений* планирования можно обобщить в виде следующего списка из 32 наименований.

Указанные ограничения приняты диссертантом в качестве исходных данных при разработке системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов.

В четвертом пункте первого раздела «Факторы неопределенности при реализации плана подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» диссертант определяет факторы неопределенности как факторы, которые невозможно учесть заранее при планировании подготовки и составлении расписания и перечисляет их примеры.

Кроме того, диссертант отмечает, что планирование подготовки представляет из себя двухуровневый процесс:

- долгосрочное планирование, также называемое стратегическим, которое обеспечивает подготовку планов с горизонтом планирования в несколько лет;

- краткосрочное планирование, которое можно охарактеризовать как детальное, к этому виду планирования относится создание расписания на ближайшие недели и внесение изменений в расписание в результате воздействия факторов неопределенности.

Диссертант подытоживает, что перечисленные выше факторы и число уровней процесса подготовки приняты им во внимание в качестве исходных данных при разработке системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов.

В пятом пункте первого раздела «Формализация и постановка задачи исследований» диссертант, обращаясь к материалам пп. 1 – 4 первого раздела заключает, что процесс подготовки космонавтов к

выполнению космического полета на борту ПКК представляет собой последовательность выполнения *набора занятий* (тренировок) $\{U_i\}$. Соответственно, *программа* подготовки космонавтов (экипажа ПКК) с использованием технических средств подготовки космонавтов представляет собой упорядоченный определенным образом набор элементов (занятий) $D_i = \{U_i, U_j\}$.

Программа подготовки экипажа ПКК к выполнению космического полета содержит определенной количество учебных занятий U_i в рамках программ D_i по видам подготовки Q_i , которые должны проводиться в определенной последовательности.

Для оценки влияния *параметров управления* подготовкой экипажей ПКК с использованием ТСПК на результативность выполнения программы полета введён показатель *эффективности подготовки экипажа* $W_{\text{подг}}$, который зависит от эффективности подготовки экипажа к космическому полету непосредственно влияет на вероятность (эффективность) выполнения программы полета экипажем ПКК и вероятность обеспечения безопасности экипажа.

Проектными требованиями определено, что при выполнении космического полета *вероятность выполнения в целом программы полета* $P_{\text{п.п.}}$ должна составлять не менее 0,95, при этом, *вероятность обеспечения безопасности экипажа* $P_{\text{б.п.}}$ должна составлять не менее 0,99.

Опыт подготовки экипажей к космическому полету показывает, что показатель *эффективности подготовки экипажей* непосредственно зависит от *вектора параметров управления* подготовкой

$$W_{\text{подг}} = f[X, U, F, I, K], \quad (1.1)$$

где

X – множество текущих *показателей космонавта* как объекта управления в процессе занятий;

U – множество *управляющих воздействий* процессом подготовки экипажей ПКК;

F – множество *внешних возмущающих воздействий* среды (например, изменение количества и качества тренажных средств обучения, условий проведения тренировок, подготовленности инструкторского состава, эмоциональные воздействия на космонавта);

I – множество *показателей подготовленности* (обученности) космонавта;

K – множество *корректирующих воздействий*.

Исходя из этого, решение научной задачи сведено к определению оптимального вектора параметров управления, представляющего собой упорядоченный набор занятий и удовлетворяющего набору определенных условий и ограничений, при котором достигается максимум показателя эффективности подготовки космонавтов к выполнению программы полета и, соответственно, максимум вероятности выполнения программы полета, и обеспечивающего требуемый уровень безопасности полетов, независимо от того, кто является членами экипажа ПКК, профессиональные космонавты или участники космического полета (космические туристы) без опыта операторской деятельности.

Диссертантом представлена методическая схема решения научной задачи *разработки методики формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК* на основе системного адаптивного подхода с учетом возрастающей сложности задач на борту перспективных космических комплексов, обеспечивая при этом соблюдение всех нормативных требований, информационных взаимосвязей и операционных ограничений.

Методическая схема включает ряд шагов и гарантирует необходимый уровень безопасности пилотируемых космических полетов и вероятности выполнения программы полета в целом.

В заключении пункта и раздела в целом, автор подытоживает, что

- процесс подготовки космонавтов к полету имеет сложную структуру, включает в себя 13 видов подготовки и около 100 различных дисциплин подготовки на 3 этапах подготовки и зависит в первую очередь от задач пилотируемой космонавтики на текущем этапе;

- эффективность подготовки космонавтов зависит от множества факторов, в том числе от качества планирования подготовки космонавтов на всех этапах;

- на процесс планирования и реализации процесса подготовки космонавтов оказывают влияние ряд ограничений и ряд факторов неопределенности, при этом выявлено, что на планирование реализацию плана подготовки экипажей ПКК влияют 32 ограничения и 5 факторов неопределенности;

- при возрастающих объемах обрабатываемой информации и расширении спектра решаемых задач на борту перспективных ПКК внедрение в практику обучения методов автоматизированного управления

на базе специализированной информационной системы позволит соответственно совершенствовать процесс подготовки космонавтов;

- формализация решаемой научной задачи позволяет свести её к определению оптимального вектора параметров управления, представляющего собой упорядоченный набор занятий, удовлетворяющего набору определенных условий и ограничений и определяющего максимум показателя эффективности подготовки космонавтов;

- разработка методической схемы для решения научной задачи позволяет учесть операционные ограничения, усложняющиеся информационные взаимосвязи и возрастающий объем полетных задач, обеспечивая при этом оптимальное использование ресурсов и автоматизированную поддержку принятия управленческих решений.

Второй раздел диссертации *«Разработка методики формирования программ подготовки экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов к выполнению космического полета»* представляет собой ключевую теоретическую часть диссертационного исследования, в которой рассмотрены следующие положения, выносимые на защиту:

- модель двухуровневой системы управления подготовкой космонавтов на основе теории иерархических многоуровневых систем;

- математическая модель процесса формирования программы подготовки экипажа ПКК для решения задачи планирования с использованием математического аппарата дискретной математики, разработанных критериев эффективности;

- методика формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК, базирующаяся на использовании методических принципов обучения и разработанного автоматизированного алгоритма планирования;

- статистические показатели длительности подготовки экипажей МКС на основе результатов выполнения космических полетов;

- структура и порядок использования автоматизированной информационной системы планирования подготовки, позволяющая минимизировать операции обработки данных.

Первый пункт второго раздела *«Выявление составляющих единого технологического процесса подготовки космонавтов к полету на борту пилотируемого космического аппарата»* посвящен выявлению составляющих Единого технологического процесса подготовки космонавтов к осуществлению космического полета сформированного на

основе опыта подготовки и выполнения космических полетов космонавтами на борту отечественных и зарубежных ПКА.

Автор отмечает, что рамках технологического процесса непосредственно подготовке космонавтов на каждом этапе предшествует ряд подготовительных работ, которые включают в себя определение необходимого количества космонавтов для выполнения программы полетов, подготовку необходимого количества инструкторско-преподавательского состава для подготовки космонавтов, разработку организационных и учебно-методических пособий и создание необходимых технических средств подготовки космонавтов, а сам алгоритм соответствует трем этапам подготовки космонавтов к космическому полету:

- первый этап – общекосмическая подготовка (ОКП) кандидатов в космонавты;
- второй этап – подготовка космонавтов в составе групп специализации и совершенствования по типам ПКА или направлениям специализации;
- третий этап – подготовка космонавтов в составе утвержденных экипажей к конкретному космическому полету на ПКА.

Далее, рассматривая каждый этап в отдельности, автор акцентирует внимание на том, что разрабатываемая им автоматизированная система управления подготовкой космонавтов помогает встроить подготовку космонавтов в Единый технологический процесс подготовки космонавтов к космическому полету на конкретном ПКА.

Второй пункт второго раздела «Общая модель управления подготовкой космонавтов» автор начинает с того, что, общим подходом при разработке модели управления подготовкой космонавтов выбран подход, предложенный Месаровичем и Такахарой в теории иерархических многоуровневых систем. В рамках данной теории система управления подготовкой космонавтов может быть отнесена к двухуровневым системам управления с общим управлением подготовкой космонавтов (координацией подготовки) и управлением по видам подготовки космонавтов.

Автором предложена модель управления подготовкой космонавтов, включающая

- вышестоящую управляющую (координирующую) систему Q_0 ,
- и нижестоящих управляющих систем $Q_1, \dots, Q_n$ (управление по видам подготовки космонавтов) и

– управляемый процесс подготовки космонавтов с использованием технических средств подготовки P .

В такой модели программа подготовки космонавтов D для определенного этапа подготовки представляет собой упорядоченную определенным образом последовательность занятий U_i , где занятие U_i представляет собой оперативную единицу планирования.

На процесс подготовки оказывают влияние:

- множество управляющих сигналов M , и
- множество воздействий Ω , представляющих собой внешние возмущения, влияющие на подготовку космонавтов.

Символом Y обозначается множество выходов процесса P .

В модели также реализуется отображение множества информационных сигналов (сигналов обратной связи) Z_i и множества координирующих сигналов G для управления по видам подготовки на множество локальных управляющих решений M_i .

Таким образом, как отмечает автор, каждый *локальный процесс подготовки* космонавтов P_i декомпозируется на n взаимосвязанных *подпроцессов*, которые управляются специализированной подсистемой с определенными функциями.

При этом, подчёркивает автор, математические методы оптимизации к описанному процессу по ряду условий, в том числе по ограниченным временным и ресурсным возможностям, не применимы, поэтому оптимизация программ подготовки им осуществляется следующими отдельными взятыми методами:

- оптимизация с выбором наилучшего решения по выбранным критериям;
- адаптивная оптимизация (устранение выявленных недостатков);
- вмешательство в критических ситуациях.

Для оценки качества программы подготовки космонавтов автор использует вектор, элементами которого являются показатели

- объем проведенной подготовки;
- степень выполнения программы подготовки;
- уровень подготовленности космонавтов к полету;
- распределение тренировок в процессе всей подготовки;
- последовательность проведения тренировок;
- готовность космонавтов к полету по состоянию здоровья.

Таким образом, как отмечает автор, модель двухуровневой системы управления подготовкой космонавтов является векторной, в основу которой положена теория иерархических многоуровневых систем. Данная модель позволяет адекватно описать процесс подготовки космонавтов и применить её в ходе разработки системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов.

Третий пункт второго раздела «Методика формирования программ подготовки экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов» посвящён

- построению перечня факторов, влияющих на формирование программы подготовки космонавтов к выполнению космического полета,
- определению перечня методических принципов формирования программы подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов,
- созданию перечня управляющих параметров подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов на технических средствах подготовки космонавтов,
- построению математической модели процесса формирования программы подготовки и разработке алгоритма процесса формирования программы подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов,
- разработке алгоритма процесса формирования программы подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов.

В пункте 2.3.1 «Факторы, влияющие на формирование программы подготовки космонавтов к выполнению космического полета» автор указывает, что программа подготовки космонавтов D к выполнению космического полета представляет собой упорядоченную последовательность занятий $\{U_i, Y_j\}$ на каждом из этапов подготовки. При этом набор и последовательность занятий U_i для экипажа ПКК или конкретного космонавта подбираются с учетом различных факторов и условий. Автором отмечено, что в настоящее время для экипажа Международной космической станции принята длительность подготовки одного экипажа 24 месяца

В пункте 2.3.2 «Методические принципы формирования программы подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» автор отмечает, что *методические принципы* планирования подготовки экипажей ПКК интегрируют *общедидактические* подходы и *специализированные* требования космической подготовки, при этом, перечень методических принципов включает определение требований к числу занятий

(тренировок) экипажей ПКК, что порождает объективное противоречие между нормативными требованиями и ограничениями реальной обстановки. В связи с этим возникает необходимость специализированных требований космической подготовки, таких как:

- предварительная классификация полетных операций, нештатных ситуаций и целевых работ по уровню сложности и определение порядка их отработки при подготовке;

- упорядочение занятий (тренировок) по уровню суммарной сложности входящих в них полетных операций, нештатных ситуаций и целевых работ.

Перечисленные выше методические принципы и общедидактические подходы заложены диссертантом в разрабатываемую автоматизированную систему управления подготовкой космонавтов.

В пункте 2.3.3 *«Управляющие параметры подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов на технических средствах подготовки космонавтов»* диссертант рассматривает модель управления подготовкой экипажей на ТСПК представляющую собой взаимодействие главных дидактических отношений космонавта, координатора подготовки, инструктора и содержания обучения, отмечая, что основными агрегированными параметрами модели управления подготовкой экипажей на тренажерах являются:

- управляющие воздействия – U ;
- текущие показатели космонавта в процессе данной тренировки – X ;
- воздействие среды – F ;
- показатели подготовленности (обученности) космонавта – I ;
- корректирующие воздействия – K .

Им отмечено, что указанные параметры, как и сама модель положены в основу создания программного обеспечения для автоматизированной системы управления подготовкой космонавтов авторской разработки.

В пункте 2.3.4 *«Математическая модель процесса формирования программы подготовки экипажей пилотируемого космического комплекса»* автор подчёркивает, что разработка программы подготовки экипажей ПКК представляет собой сложную многокритериальную задачу, связанную с обработкой значительных объемов исходных данных, гарантирующую достижение экипажем необходимого уровня профессиональной компетенции к моменту старта.

Поскольку оценка вариантов должна осуществляться до начала тренировочного процесса и не может быть основана на анализе результатов подготовки, автором предложено оценку качества проектов программ подготовки экипажей ПКК проводить прогностическими методами, сравнивая в автоматизированной системе планирования показатели эффективности с заданными значениями. Автор предлагает следующий перечень из шести показателей:

- число занятий с высокой важностью, включенных в программу подготовки экипажа f_1 , как часть интегрального критерия оценки плана подготовки космонавтов к полету;
- число занятий, включенных в программу подготовки экипажа f_2 , как часть интегрального критерия оценки плана подготовки космонавтов к полету;
- аддитивный квадратичный критерий степени несоблюдения рациональной частоты тренировок χ ;
- степень соблюдения реальной длительности j -ой тренировки Θ ;
- степень отработки необходимых медицинских мероприятий и занятий по физической подготовке η ;
- функционал ε последовательности возрастания сложности подготовки, требующий минимизации.

Автором отмечено также, что при планировании подготовки экипажей ПКК окончательный выбор решений из множества возможных вариантов осуществляется руководителем на основе заданных критериев эффективности с учетом детализированных сведений о количестве, видах, составе и продолжительности теоретических занятий и тренировок и требует от автоматизированной системы наличия диалогового режима для согласования множества разнородных факторов.

В пункте 2.3.5 *«Разработка алгоритма процесса формирования программы подготовки экипажей пилотируемых космических аппаратов»* автор отмечает, что планирование подготовки экипажей ПКК, в ходе которой задействуется Международная рабочая группа по подготовке экипажей (ITIWG), осуществляется в пять этапов, от разработки первой версии Таблицы распределения квалификаций и ответственностей членов экипажа (CQRM) до составления еженедельного плана подготовки экипажа. Автор перечисляет 5 основных документов планирования подготовки экипажей и отмечает, что, для ускорения и облегчения их

формирования им разработаны соответствующие алгоритмы для автоматизированной информационной системы.

В выводах по разделу 2 автором отмечено, что им разработана модель в виде двухуровневой системы управления с *n* нижестоящими управляющими системами и единственной вышестоящей управляющей системой, что позволяет разработать модели и алгоритмы для автоматизированного управления этим процессом.

Автор, отмечая сложность оптимизации процесса подготовки космонавтов, сделал вывод, что для оптимизации этого процесса предпочтительными являются методы многокритериальной оптимизации, адаптивной оптимизации, и вмешательство в критических ситуациях.

Диссертант выявил ряд факторов и управляющих параметров подготовки, влияющих на формирование программы подготовки космонавтов и сформулировал 12 методических принципов на используемых при планировании подготовки экипажей ПКС.

Автором предложен многомерный, включающий 6 составляющих, показатель оценки эффективности программы подготовки экипажей ПКС к космическому полету и разработана авторская методика, позволяющая автоматизировать её формирование.

Третий раздел диссертации *«Статистический анализ длительности подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов по результатам подготовки экипажей Международной космической станции»* включает четыре пункта, посвящённые анализу

- процесса формирования экипажей Международной космической станции,
- длительности подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов по результатам подготовки экипажей Международной космической станции,
- процесса формирования экипажей пилотируемого транспортного корабля нового поколения
- процесса формирования экипажей Российской орбитальной станции

В первом пункте третьего раздела «Анализ процесса формирования экипажей Международной космической станции» автор, основываясь на утвержденных типовых программах подготовки Международной рабочей группы по подготовке экипажей (ITIWG) от всех стран-участников программы МКС по всем модулям МКС, транспортным

пилотируемым кораблям, и учитывая предварительную программу полета МКС, анализирует условия формирования экипажей МКС, на основе которых, рассчитывают стартовую дату подготовки к полету того или иного экипажа, включая, отмечая, что при реализации программы МКС возможно использование двух вариантов подготовки экипажей.

а) базовый вариант подготовки экипажей, когда на каждый полет экипажа МКС назначается два экипажа: основной и дублирующий. Эти экипажи готовятся к полету, после подготовки дублирующий экипаж расформируется

б) процесс подготовки по двухмодульной системе, когда модуль Д (подготовка в дублирующем экипаже) обеспечивает универсальную подготовку с акцентом на нештатные ситуации и готовность к замене, а модуль О (подготовка в основном экипаже) специализируется на задачах конкретной экспедиции, при этом оба модуля синхронизированы, каждый из модулей обучения Д и О имеет свои цели и задачи и характеризуется определенной завершенностью.

Автор, характеризуя каждый вариант процесса подготовки экипажей, указал, каким образом каждый вариант должен быть реализован в разрабатываемой автоматизированной информационной системе формирования программ подготовки экипажей ПКК к космическому полету.

Во втором пункте третьего раздела «Прогнозный анализ длительности подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов по результатам подготовки экипажей Международной космической станции» автор проводит статистический анализ длительности подготовки T_n экипажей МКС для прогнозирования подготовки экипажей перспективных ПКК с учетом количественного состава экипажа.

В ходе исследования автор использует статистическую и структурированную по числу членов экипажа выборку величин длительности подготовки к космическому полету российских космонавтов: от 2-3 до 7 человек, Выборка создана на базе данных по 72 экспедициям МКС и пяти полётам кораблей Crew-5 – Crew-10.

Расчеты статистических показателей и построение диаграммы длительности подготовки экипажей проводились автором с использованием аппарата обработки статистических данных в среде Microsoft Excel. Результатами статистических расчётов являлись среднее

арифметическое значение (математическое ожидание), дисперсия и стандартное отклонение длительности подготовки экипажей МКС. На базе полученных величин определен доверительный интервал, позволяющий с заданной точностью прогнозировать длительность подготовки экипажей перспективных ПТК.

Оценку достоверности полученных статистических результатов проводили на основе проверки соответствия формы огибающей гистограммы интервального ряда экспериментальных данных форме нормального закона распределения. Автором отмечено, что огибающая полигона гистограммы интервального вариационного ряда длительности подготовки экипажей МКС соответствует по форме нормальному распределению, на основе чего делает обоснованный вывод о том, что прогноз длительности подготовки экипажей к полету на перспективных ПТК и РОС будет находиться в рассчитанных границах.

В целом, анализ, проведенный автором показывает, что средняя длительность подготовки экипажа МКС составила около 95 недель, то есть, почти 2 года, что совпадает с нормативными требованиями по подготовке космонавтов о назначении экипажа за 2-2,5 года до старта.

В третьем пункте третьего раздела *«Анализ процесса формирования экипажей пилотируемого транспортного корабля нового поколения»*, автором, на основе статистической оценки и анализа условий работы экипажей существующих ПТК и МКС представлены варианты состава экипажа ПТК из 4 человек:

- командир корабля – пилот (космонавт-испытатель);
- второй пилот корабля – пилот (космонавт-испытатель);
- член экипажа – участник космического полета (космонавт-исследователь, космонавт-испытатель, зарубежный астронавт, турист);
- член экипажа – участник космического полета (космонавт-исследователь, космонавт-испытатель, зарубежный астронавт, турист).

Автор акцентирует внимание на том, что в настоящее время планируется разработка корабля ПТК РОС, который будет использоваться только для полетов к перспективной отечественной станции РОС, при этом, зарубежные астронавты и туристы на этапе летных испытаний ПТК не должны включаться в состав экипажей ПТК.

В четвертом пункте третьего раздела *«Анализ процесса формирования экипажей Российской орбитальной станции»*, автор указывает, что эксплуатация РОС предполагается в пилотируемом или

частично пилотируемом режиме, а количество членов экипажа станции на данный момент планируется: на этапе развертывания станции – 2 космонавта, на этапе эксплуатации станции – 4 человека при планируемых сроки начала развертывания станции – 2028-2030 годы. Перечисляя основные задачи создания РОС, автор делает вывод, что данная прогнозируемая численность экипажа в целом соответствует прогнозируемому объёму работ на ПТК и РОС.

В выводах автор отмечает, что в главе 3:

- проведен анализ процесса формирования экипажей МКС в соответствии с правилами, принятыми международными партнерами по программе МКС и с учетом 65-летнего опыта подготовки экипажей отечественных ПКК.

- по результатам проведенного анализа процесса формирования экипажей МКС представлены варианты структуры процесса подготовки экипажей (базовый вариант и вариант единого потока подготовки), выявлены базовая длительность подготовки экипажей и сформулированы основные правила формирования экипажа МКС в настоящее время.

- проведен прогнозный статистический анализ длительности подготовки экипажей для перспективных пилотируемых космических комплексов по результатам фактической длительности подготовки российских космонавтов-членов экипажей МКС, стартовавших на российских кораблях «Союз», американских кораблях «Space Shuttle» и «Dragon V2», результаты которого представлены в работе.

- при рассмотрении плотности распределения продолжительности подготовки экипажей МКС были построены графики плотности и функции распределения элементов множества результатов статистической выборки по длительности подготовки космонавтов к полету на МКС. на основании полученного вариационного ряда сформирована гистограмма распределения длительности подготовки для 74 основных экипажей МКС и получена соответствующая статистическая функция плотности распределения по разрядам длительности подготовки экипажей МКС к полету и подтверждена принадлежность полученной функции к нормальному распределению, что показывает возможность использования данных статистических результатов для оценивания проектов перспективных ПКК.

– рассмотрен планируемый порядок формирования состава экипажей пилотируемого транспортного корабля нового поколения и Российской орбитальной станции.

Заключительный, 4-й раздел диссертации «Разработка структуры и порядка использования автоматизированной информационной системы планирования подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» включает:

– разработку генератора тестовых наборов данных для обеспечения формирования программ подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов;

– создание единой автоматизированной информационной системы планирования подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов;

– внедрение результатов исследований.

В первом пункте четвертого раздела «Разработка генератора тестовых наборов данных для обеспечения формирования программ подготовки экипажей пилотируемых космических комплексов» автор указывает, что для экспериментальной проверки алгоритмов планирования им разработан генератор тестовых наборов данных, соответствующих набору дисциплин, включаемых в программу подготовки экипажей ПКК.

Генератор осуществляет пересортировку несвязного графа тестовых наборов данных для получения единого связного направленного цепного графа по модели данных DiGraph и выполнен на языке Python версии 3.12 в среде Spyder. В нём используются библиотеки с открытым исходным кодом NetworkX и Matplotlib, а также генератор псевдослучайных чисел Random. На выходе программа формирует единый граф из набора графов, каждый из которых соответствует дисциплине с определенной длительностью проведения.

По сравнению с программами-предшественниками («Stepik», СЭО МАИ и «iSpring learn») разработка показывает улучшенный визуальный ряд, предоставляет пользователю расширенный и структурно организованный объём информации, избавлена от ряда недостатков и показывает более высокую надёжность работы.

Разработанное программное обеспечение представлено в приложении В работы.

Во втором пункте четвертого раздела «Создание единой автоматизированной информационной системы планирования подготовки

экипажей пилотируемых космических комплексов» автор останавливается на создании единой автоматизированной информационной системы планирования подготовки космонавтов как цифровой образовательной среды включающей набор дисциплин, перечень проводимых занятий, и необходимую учебно-справочную информацию.

Существующие отечественные интернет-платформы для обучения «Stepik» и СЭО МАИ и «iSpring learn» по цели похожи – обучение пользователей, но по структуре и характеристикам оформления они значительно отличаются, при этом, у каждой платформы есть свои особенности по загрузке, хранению и доступу, свои достоинства и недостатки.

На базе проведенного анализа и исследований существующих образовательных платформ, автором разработана структура единой автоматизированной системы (онлайн-платформы) информационной поддержки, ориентированной для доступности обучения и простоты получения знаний космонавтами, необходимой во время самоподготовки и повторения материала. Им в настоящее время ведутся работы по созданию в ЦПК единой автоматизированной системы (онлайн-платформы) информационной поддержки космонавтов в рамках существующей в ЦПК автоматизированной системы информационного обеспечения подготовки космонавтов.

В третьем пункте четвертого раздела «Внедрение результатов исследований» автором впервые предложены направления автоматизации процесса планирования подготовкой экипажей МКС с применением АИС и оценкой эффективности программы подготовки к космическому полету, по следующим шести показателям:

- число занятий с высокой важностью, включенных в программу подготовки экипажа f_1 , как часть интегрального критерия оценки плана подготовки космонавтов к полету;

- число занятий, включенных в программу подготовки экипажа f_2 , как часть интегрального критерия оценки плана подготовки космонавтов к полету;

- аддитивный квадратичный критерий степени несоблюдения рациональной частоты тренировок χ ;

- степень соблюдения реальной длительности j -ой тренировки Θ ;

- степень отработки необходимых медицинских мероприятий и занятий по физической подготовке η ;

– функционал в последовательности возрастания сложности подготовки.

Результаты проведенных исследований использованы в ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина» и ГК «Роскосмос» при формировании программ подготовки экипажей экспедиций на Международную космическую станцию МКС-70/71, МКС-72, МКС-73 за счет введения количественных и качественных показателей эффективности программ подготовки космонавтов. Автор работы являясь членом экипажа годовой космической экспедиции МКС-70/71, непосредственно применил результаты исследований в процессы планирования и управления подготовкой космонавтов, участвуя в разработке инновационных подходов к подготовке космонавтов с учётом личного опыта эксплуатации ТПК «Союз МС» и российского сегмента МКС, создании перспективных технологий отбора, подготовки и реабилитации для отечественной пилотируемой программы до 2030 года и далее.

В выводах к главе 4 автор подытоживает:

– для обеспечения необходимыми наборами данных в части программ подготовки экипажей ЦПК определены требования и разработан генератор тестовых наборов данных, в котором на основании полученного распределения генерируется набор графов, каждый из которых представляет собой модель учебной дисциплины.

– по результатам проведенных в работе исследований определены необходимые функциональные компоненты и используемые библиотеки, также разработан программный код программы для формирования программ подготовки экипажей, отлажена её работоспособность.

– с целью определения возможности использования современных информационных технологий для обеспечения процесса подготовки космонавтов проведен анализ существующих образовательных информационных интернет-платформ, выявлены их преимущества и недостатки.

– исходя из проведенных в работе исследований и с учетом проведенного анализа существующих образовательных платформ разработана структура единой автоматизированной системы (онлайн-платформы) информационной поддержки космонавтов, необходимой для обеспечения процессов планирования и поддержки обучения космонавтов.

– показано, что результаты исследований успешно внедрены в процесс подготовки экипажей МКС, позволив автоматизировать и

оптимизировать программы подготовки космонавтов, разработать новые подходы к подготовке космонавтов с учетом опыта эксплуатации ТПК «Союз» и РС МКС, сформулировать предложения по развитию перспективных технологий отбора и подготовки космонавтов для отечественных пилотируемых программ до 2030 года и далее.

– для сравнительной оценки эффективности программ подготовки экипажей экспедиций МКС-56/57, МКС-64, МКС-70/71 автором предложены показатели эффективности, в числовом виде указывающие, какая программа подготовки по заданным критериям является оптимальной.

В Заключении диссертантом обобщены **основные результаты проведенного исследования**, сформулированы выводы:

– В работе проведены системные исследования, формирующие концептуальное представление процесса планирования подготовки экипажей перспективных ПКК с использованием современных информационных технологий, с целью решения новой научной задачи по разработке методики формирования программ подготовки экипажей перспективных ПКК;

– в практическом плане работа позволяет повысить эффективность подготовки экипажей перспективных ПКК с учетом предъявляемых ограничений на ресурсы планирования и опыта эксплуатации существовавших орбитальных ПКК в условиях усложнения информационных связей и увеличения объема решаемых задач космонавтами в полете.

– результаты исследований внедрены при подготовке экипажей МКС-70/71 и создания технических средств подготовки космонавтов, и при выполнении НИОКР на базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина» в рамках работ Госкорпорации «Роскосмос» по разработке инновационных подходов к подготовке космонавтов.

Внедрение результатов исследований подтверждается соответствующими актами внедрения.

Полученные результаты соответствуют пунктам 3, 4 паспорта научной специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки), в ней рассматривается решение задачи системного анализа по выбору наиболее оптимального состава целевых работ и научной аппаратуры перспективных

пилотируемых космических комплексов с использованием компьютерных методов обработки информации.

Библиографический список состоит из 109 источников.

Рецензируемую работу отличает выверенность формулировок, последовательное и обстоятельное изложение автором собственной аргументации. Обширная база используемых автором теоретических источников позволяет судить о высоком уровне библиографической эрудиции Н. А. Чуба.

Таким образом, цель работы достигнута, поставленные в работе задачи исследований решены полностью. Достоверность полученных результатов подтверждается опытом выполнения космических полетов космонавтов на борту пилотируемых космических комплексов, реальными данными научно-прикладных исследований целевых работ на борту МКС, результатами проведенных экспериментальных исследований, актами внедрения.

Однако, как любая значительная исследовательская работа, диссертация Н. А. Чуба не лишена недостатков. К их числу представляется возможным отнести следующие:

- в ходе анализа процесса подготовки до первого космического старта отмечено, что общий объём подготовки составляет 8230 часов. Указанная величина принята в качестве базовой при проектировании системы автоматизированного управления подготовкой космонавтов, но достаточного обоснования данного выбора не приведено;
- в п. 1 на с. 28, по мнению оппонента, недостаточно раскрыто содержание термина «множество текущих показателей космонавта как объекта управления в процессе занятий»;
- в п. 2.1 на с. 34 автор впервые вводит термин общекосмическая подготовка, но не даёт его сокращения «ОКП», которое приводит позже и использует от случая к случаю, а не постоянно;
- во введении на с. 7 в сформулированной цели исследования в п. фраза «на основе системного подхода с учетом опыта эксплуатации существующих ПКК для повышения эффективности подготовки космонавтов» является, по мнению рецензента, излишней;
- в названии второго пункта первого раздела на с. 18 имеется грамматическая ошибка «Анализ процесса планирование подготовки космонавтов...», надо «Анализ процесса планирования подготовки космонавтов...»;

- в п. 1.5 на с. 28, после слова «где» фраза «параметры управления подготовкой экипажей на тренажерах [32]:» является излишней;
- в п. 1.5 на с. 28, по мнению оппонента, недостаточно раскрыто содержание термина «множество текущих показателей космонавта как объекта управления в процессе занятий»;
- в п. 2.1 на с. 34 автор впервые вводит термин общекосмическая подготовка, но не даёт его сокращения «ОКП», которое приводит позже и использует от случая к случаю, а не постоянно;
- в п. 2.3.2 на с. 56 грамматическая ошибка «с приоритезацией», должно быть «с приоритизацией»;
- в п. 4.2 на с. 104 грамматическая ошибка «подымается», надо «поднимается»;
- упомянутый в п. 3.4 на с. 64 «п. 2.7» отсутствует, должно быть «п. 2.3.5»;
- термин в п. 3.4 на с. 96 «напланетные базы» предпочтительно заменить на более ходовой термин «инопланетные базы»;
- указанные показатели в п. 4.3 на с. 109 показатели $f_1, f_2, \chi, \Theta, \eta, \varepsilon$, не соответствуют числу формул (2.17, 2.18, 2.22, 2.26, 2.28), т. к. нет 2.29 и их номерам, должно быть (2.18, 2.19, 2.23, 2.27, 2.28, 2.29).

Приведенные замечания не снижают теоретической и практической значимости проведенного исследования.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях (5 статей в журналах, включенных в Перечень ВАК РФ). Общее количество публикаций автора по теме диссертации составляет 12 и демонстрирует достаточно высокую степень апробации материалов исследования. Также полученные результаты были апробированы на различных международных и всероссийских конференциях.

Достоверность и обоснованность представленных в диссертации положений и выводов обеспечиваются широким спектром критически проанализированных диссертантом источников и применением адекватных предмету методов исследования. Научные положения и выводы, сформулированные, обладают новизной, имеют практическую и теоретическую значимость.

Автореферат и опубликованные работы диссертанта в достаточной степени отражают содержание диссертационной работы.

Диссертация Н. А. Чуба «Методика формирования программ подготовки экипажей перспективных пилотируемых космических комплексов» является завершенной научно-квалификационной работой, в полной мере отвечающей требованиям, установленным п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Николай Александрович Чуб заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Информация о лице, составившем отзыв:

Ведущий научный сотрудник Научно-технического центра полезной нагрузки Публичного акционерного общества «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королёва»

адрес: 141070 Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А

телефон: +7(495) 513-64-92, эл. почта: sergey.pichugin@rsce.ru

сайт организации: www.rsce.ru

доктор технических наук, специальность 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)»

Я, Пичугин Сергей Борисович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела соискателя степени кандидата технических наук Чуба Н. А.

06.11.2025 

Пичугин Сергей Борисович

Подпись Сергея Борисовича Пичугина удостоверяю

Ученый секретарь ПАО РКК «Энергия»
Доктор физико-математических наук



О.Н. Хатунцева

С отзывом ознакомлен

26.11.2025

 /Н.А. Чуб