

Состояние и тенденции совершенствования разработки автоматизированных систем управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения

© С.М. Осико, В.В. Чугунков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

Представлен комплексный анализ современных подходов к разработке автоматизированных систем управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения (АСУПП РКН). На основании статистических данных о выполненных пусках ракет-носителей проведена оценка эффективности применяемых технологических решений и программно-аппаратных комплексов. Выявлены ключевые проблемные аспекты, связанные с обеспечением надежности, безопасности и оперативности функционирования АСУПП РКН. Систематизированы актуальные тенденции развития данных систем, включая внедрение методов искусственного интеллекта, цифровых двойников и когнитивных технологий, направленных на оптимизацию процессов предпусковой подготовки, минимизацию временных затрат и повышение общей эффективности космических запусков.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, ракета космического назначения, предпусковая подготовка, автоматизация, автоматизированная система управления

Введение. Современная космическая отрасль переживает этап активного развития, сопровождающийся увеличением числа запусков ракет-носителей и усложнением задач, стоящих перед конструкторами, технологами и разработчиками программного обеспечения. В таких условиях автоматизированные системы управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения (АСУПП РКН) становятся неотъемлемым элементом обеспечения успешности миссий. Эти системы призваны минимизировать риски, связанные с человеческим фактором, сократить время подготовки ракет к запуску и повысить точность выполнения операций, что особенно важно в условиях высокой конкуренции и растущих требований к надежности и безопасности [1].

Несмотря на значительные успехи в области автоматизации, автоматизированные системы управления (АСУ) зачастую оказываются недостаточно гибкими для быстрого реагирования на изменяющиеся условия, а их надежность и безопасность не всегда соответствуют современным требованиям. Случаи сбоев и аварий при пусках свидетельствуют о наличии проблем, которые требуется незамедлительно решать. В условиях растущей конкуренции и увеличения числа космических миссий дальнейшее промедление в совершенствовании АСУПП РКН может привести к значительным финансовым и репутационным потерям, а также к угрозе безопасности персонала и оборудования.

Разработчики АСУПП РКН продолжают сталкиваться с рядом сложностей. К ним относятся необходимость обеспечения устойчивости систем к экстремальным условиям, интеграция передовых технологий, таких как искусственный интеллект и цифровые двойники, а также адаптация к постоянно меняющимся стандартам и требованиям. Для всего этого требуется поиск новых, более эффективных решений. Таким образом, необходимость внедрения инновационных подходов и технологий при разработке АСУПП РКН становится очевидной.

Цель данной статьи — проанализировать текущее состояние разработки АСУПП РКН, выявить ключевые проблемы и определить перспективные направления их совершенствования. В работе представлены статистические данные, отражающие динамику пусков ракет-носителей, проведен анализ используемых технологий и программного обеспечения, а также систематизированы тенденции, способствующие оптимизации процессов подготовки и повышению эффективности космических запусков.

Обзор современных автоматизированных систем управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения. АСУПП РКН представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, предназначенные для обеспечения контроля, управления и координации всех этапов подготовки ракет-носителей к запуску [2]. Эти системы играют ключевую роль в современной космической отрасли, так как позволяют минимизировать участие человека в критически важных процессах, снизить вероятность ошибок и повысить общую эффективность пусков.

Основными функциями АСУПП РКН являются [3, 4]:

- контроль состояния систем ракет космического назначения на всех этапах предпусковой подготовки, включая проверку топливных систем, двигателей, навигационного оборудования и других критически важных компонентов;
- автоматизация процессов тестирования и диагностики, что позволяет оперативно выявлять и устранять неисправности;
- управление временными параметрами подготовки, включая синхронизацию работы всех подсистем и соблюдение графика подготовки и пуска;
- обеспечение безопасности за счет непрерывного мониторинга параметров и автоматического прекращения подготовки в случае обнаружения критических отклонений;
- документирование и анализ данных для последующего использования с целью улучшения процессов и при расследовании инцидентов.

Современные АСУПП РКН можно классифицировать по следующим критериям.

1. По уровню автоматизации различают:

- полностью автоматизированные системы, где участие человека сведено к минимуму;
- полуавтоматические системы, в которых требуется участие оператора на ключевых этапах.

2. По масштабу применения выделяют:

- локальные системы, используемые для управления отдельными компонентами;
- интегрированные комплексы, охватывающие все этапы подготовки и пуска.

3. По типу ракет-носителей АСУ подразделяют на системы для сверхлегких, легких, средних, тяжелых и сверхтяжелых ракет.

Анализ используемых технологий. Современные АСУПП РКН базируются на передовых технологиях, включая программное и аппаратное обеспечение, а также алгоритмы управления.

К программному обеспечению относятся специализированные платформы для моделирования, тестирования и управления, такие как MATLAB/Simulink, LabVIEW и др. Аппаратное обеспечение включает высоконадежные промышленные компьютеры, датчики и системы связи, с помощью которых поддерживается бесперебойная работа в экстремальных условиях.

Алгоритмы управления — это адаптивные и самообучающиеся алгоритмы, позволяющие системе оперативно реагировать на изменения внешних условий и состояния ракеты.

Проблемы и ограничения. Несмотря на значительные успехи в создании АСУПП РКН, существует ряд проблем и ограничений, с которыми приходится сталкиваться при разработке и эксплуатации данных систем. К ним относятся:

- сложность интеграции новых технологий в существующие системы, для чего требуются значительные временные и финансовые затраты;
- недостаточная гибкость систем, которая затрудняет их адаптацию к новым типам ракет и изменяющимся требованиям;
- зависимость от человеческого фактора на этапах настройки и обслуживания, что может приводить к ошибкам.

Так, современные АСУПП РКН представляют собой высокотехнологичные комплексы, способные значительно повысить эффективность и безопасность космических запусков. Однако при их дальнейшем развитии потребуются решить ряд технических и организационных задач, что делает эту область одной из наиболее перспективных для исследований и инноваций.

Примеры применения. В мировой практике АСУПП РКН активно используются ведущими космическими агентствами и компаниями. Например:

- NASA применяет автоматизированные системы для управления пусками ракет серии Falcon и Atlas, что позволяет сократить время подготовки и повысить точность выполнения операций;
- Роскосмос использует АСУПП РКН на космодромах Байконур, Плесецк, Восточный, где системы обеспечивают контроль подготовки ракет «Союз», «Протон», «Ангара», «Рокот»;
- компания SpaceX внедрила передовые решения на основе искусственного интеллекта для управления пусками ракет Falcon 9 и Starship, что позволило значительно снизить затраты и увеличить частоту запусков.

Согласно данным, опубликованным ведущими космическими агентствами и аналитическими организациями, в последние годы наблюдается устойчивый рост числа пусков ракет-носителей. Например, в 2024 г. было осуществлено около 260 запусков, из которых более 250 запусков были успешными, что на 19 % больше, чем в 2023 г. [5]. При этом значительная доля от общего числа пусков принадлежит коммерческим компаниям, таким как SpaceX, демонстрирующим высокую эффективность и частоту запусков. Однако, несмотря на общий рост, показатель успешности пусков остается на уровне 90...95 %, что свидетельствует о наличии проблем, связанных с надежностью и безопасностью.

Эффективность пусков ракет-носителей оценивается не только по количеству успешных миссий, но и по таким параметрам, как точность выведения полезной нагрузки на орбиту, время подготовки к запуску и стоимость выполнения миссии. Например, внедрение автоматизированных систем управления позволило сократить время подготовки ракет Falcon 9 с нескольких недель до нескольких дней, что значительно повысило их конкурентоспособность на рынке [6].

Тем не менее даже у лидеров отрасли, таких как SpaceX и Роскосмос, случаются неудачи, которые свидетельствуют о необходимости дальнейшего совершенствования технологий. Одним из ярких примеров является авария ракеты-носителя «Протон-М» в 2013 г., когда из-за ошибки в системе управления ракета отклонилась от заданной траектории и была уничтожена. По данным расследования, причиной аварии стало неправильное подключение датчиков угловой скорости, что привело к некорректной работе системы управления [7]. Этот инцидент показывает, как важна тщательная проверка всех компонентов системы перед запуском.

Другим примером является неудачный запуск ракеты Falcon 9 в 2016 г., когда произошел взрыв на стартовой площадке. Причиной

аварии стало возгорание в системе подачи гелия в бак с жидким кислородом [8]. Этот случай выявил недостатки в проектировании системы и необходимость улучшения методов контроля за критически важными процессами.

Еще одним примером может служить авария ракеты Vega в 2020 г., когда через несколько минут после старта произошел сбой в работе двигателя второй ступени. Причиной данной аварии явилась ошибка, допущенная при производстве ракеты — были перепутаны кабели, ведущие к двум приводам системы управления вектором тяги двигателя [9]. Это происшествие свидетельствует о важности строгого контроля качества на всех этапах производства и сборки ракет.

Анализ подобных неудач показывает, что большинство аварий связано с человеческим фактором и недостатками систем контроля и диагностики. Это подтверждает необходимость дальнейшего совершенствования АСУПП РКН, включая внедрение более надежных методов тестирования, улучшение алгоритмов диагностики, мониторинга и повышение уровня автоматизации процессов. Только комплексный подход к решению этих проблем позволит снизить количество аварий и повысить общую эффективность космических запусков.

Тенденции совершенствования АСУПП РКН. Одна из ключевых задач современной космической отрасли — совершенствование АСУПП РКН. В этой связи одной из наиболее перспективных тенденций является, во-первых, использование искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процессов управления и диагностики. Искусственный интеллект позволяет анализировать большие объемы данных в реальном времени, выявлять скрытые закономерности и прогнозировать возможные сбои до их возникновения [10]. Например, алгоритмы машинного обучения могут использоваться для анализа данных, полученных с датчиков, что позволяет оперативно выявлять аномалии в работе систем ракеты-носителя. Кроме того, искусственный интеллект может быть применен для автоматизации принятия решений в критических ситуациях, что значительно повышает безопасность пусков.

Во-вторых, перспективной тенденцией в данной области является использование цифровых двойников — виртуальных копий физических объектов, позволяющих моделировать поведение этих объектов в разных условиях. В контексте АСУПП РКН цифровые двойники используются для тестирования и оптимизации процессов предпусковой подготовки [11]. Например, с их помощью можно смоделировать различные сценарии пуска, включая аварийные ситуации, и оценить, как система управления справится с ними. Благодаря этому можно выявить слабые места в проектировании и внести необходимые корректировки до реального запуска, что снижает риски и повышает надежность системы.

В-третьих, развитие когнитивных технологий и адаптивных систем управления также является перспективной тенденцией в области совершенствования АСУПП РКН [12]. Когнитивные технологии, такие как нейронные сети и системы глубокого обучения, открывают новые возможности для создания адаптивных систем управления. Эти системы способны самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям, что особенно важно при возникновении нештатных ситуаций. Например, адаптивная система управления может оперативно перестроить алгоритмы работы в случае выхода из строя одного из компонентов ракеты, что позволяет сохранить контроль над ситуацией и минимизировать последствия.

В-четвертых, это интеграция облачных технологий и больших данных. Облачные технологии и большие данные становятся неотъемлемой частью современных АСУПП РКН. С использованием облачных платформ можно централизованно хранить и обрабатывать огромные объемы данных, что значительно упрощает анализ и принятие решений. Например, данные о разных пусках могут быть собраны в единой облачной системе, что позволяет выявлять общие тенденции и улучшать процессы подготовки. Кроме того, облачные технологии обеспечивают возможность удаленного доступа к данным, что особенно важно для международных проектов и для пусков ракет-носителей одного типа с разных космодромов Российской Федерации.

В-пятых, важная тенденция — улучшение человеко-машинного интерфейса (Human-Machine Interface, HMI). Это среда для взаимодействия и обмена информацией между системой и пользователем [13]. Современные АСУПП РКН становятся все более сложными, в связи с этим требуется разрабатывать интуитивно понятные и удобные интерфейсы для операторов. Улучшение интерфейсов человек — машина обеспечит снижение нагрузки на операторов, минимизацию вероятности ошибок и повышение общей эффективности работы системы. Например, использование виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) позволяет операторам визуализировать процессы подготовки и пуска, что упрощает понимание сложных данных и принятие решений.

В-шестых, одной из ключевых тенденций является повышение уровня автономности АСУПП РКН, что включает в себя разработку систем, способных самостоятельно выполнять большинство операций без участия человека. Например, автономные системы могут самостоятельно проводить диагностику, принимать решения о продолжении или прекращении подготовки, а также управлять процессом пуска. Это не только снижает зависимость работы системы от человеческого фактора, но и позволяет значительно сократить время подготовки к запуску [14].

Таким образом, внедрение передовых технологий, таких как искусственный интеллект, цифровые двойники и облачные платформы, открывает новые возможности для оптимизации процессов и снижения затрат. Однако для применения этих технологий требуется комплексный подход, включающий не только технические, но и организационные изменения. Только в этом случае можно будет достичь значительного прогресса в разработке АСУПП РКН и обеспечить успешное выполнение будущих космических миссий.

Перспективы развития АСУПП РКН. Развитие АСУПП РКН находится на этапе активной трансформации, обусловленной как технологическим прогрессом, так и изменяющимися требованиями космической отрасли. В ближайшие годы можно ожидать значительного улучшения функциональности, надежности и эффективности этих систем благодаря внедрению новых технологий и подходов. Рассмотрим перспективы развития АСУПП РКН, которые в случае воплощения в жизнь могут определить будущее космических запусков.

Одной из важнейших перспектив является использование новых материалов и компонентов, которые позволят повысить надежность и долговечность систем. Например, применение композитных материалов и нанотехнологий может значительно снизить массу оборудования, повысить его устойчивость к экстремальным температурам и механическим нагрузкам. Кроме того, развитие микроэлектроники и создание более компактных и энергоэффективных процессоров позволит улучшить производительность систем управления, снизив при этом их стоимость и энергопотребление.

Будущее АСУПП РКН связано также с увеличением их автономности. Полностью автономные системы, способные самостоятельно выполнять диагностику, принимать решения и управлять процессом подготовки и пуска, должны стать стандартом. Этот стандарт будет включать использование роботизированных платформ для выполнения таких сложных операций, как заправка топливом, установка полезной нагрузки и проверка систем. Автономность снизит зависимость АСУ от человеческого фактора и позволит сократить время подготовки к запуску, что особенно важно для коммерческих миссий.

Крайне перспективна также интеграция квантовых вычислений, которые хотя и находятся на ранних этапах развития, уже сегодня рассматриваются как перспективное направление для АСУПП РКН. Квантовые компьютеры способны решать сложные задачи оптимизации и моделирования, которые недоступны для классических вычислительных систем. Например, они могут быть использованы для оптимизации траекторий полета, моделирования сложных физических процессов и анализа больших объемов данных в реальном времени. Это открывает новые возможности для повышения точности и эффективности космических запусков.

Кроме того, ожидается, что искусственный интеллект станет основным инструментом прогнозирования и предотвращения аварий, оптимизации процессов и управления сложными сценариями, а когнитивные системы смогут анализировать данные, поступающие от тысяч датчиков, выявлять скрытые закономерности и предлагать оптимальные решения в режиме реального времени [15, 16]. Это позволит не только повысить безопасность пусков, но и значительно снизить затраты на их подготовку и проведение.

Одной из ключевых задач будущего является снижение стоимости и времени подготовки пусков. Данная задача может быть решена при внедрении более эффективных процессов, использовании много-разовых компонентов и автоматизации рутинных операций. Например, разработка многоразовых ракет-носителей, таких как Falcon 9 от SpaceX, уже показала, что повторное использование компонентов может значительно снизить затраты на пуск ракеты [17]. В будущем можно ожидать появления новых технологий, которые позволят еще больше сократить время и стоимость подготовки пуска, что сделает космические запуски более доступными.

Для дальнейшего совершенствования АСУПП РКН целесообразно:

- 1) ускорить внедрение таких передовых технологий, как искусственный интеллект, квантовые вычисления, создание и применение новых материалов, что позволит повысить производительность и надежность систем;
- 2) развивать международное сотрудничество в области стандартизации и интеграции систем управления, что особенно важно для реализации крупных космических проектов;
- 3) уделять больше внимания обучению и подготовке специалистов, так как с успешным внедрением новых технологий потребуются высококвалифицированные кадры;
- 4) проводить регулярный анализ аварий и сбоев, чтобы выявлять слабые места в системах и оперативно устранять их;
- 5) инвестировать в исследования и разработки, направленные на создание более гибких и адаптивных систем, способных быстро реагировать на изменяющиеся условия.

Развитие АСУПП РКН является важным шагом на пути к освоению космоса и реализации амбициозных проектов, таких как колонизация Луны и Марса. Успешное внедрение новых технологий и подходов позволит не только повысить эффективность и безопасность космических запусков, но и сделать их более доступными для коммерческих и научных миссий. Однако для достижения этих целей необходимо объединить усилия ученых, инженеров и разработчиков. Только совместная работа и инновационный подход создадут предпосылки для преодоления существующих трудностей и открытия новых горизонтов освоения космоса.

Заключение. Автоматизированные системы управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения играют ключевую роль в обеспечении успешности космических миссий. Их развитие напрямую влияет на надежность, безопасность и экономическую эффективность запусков, что особенно важно в условиях растущей конкуренции и повышения сложности задач, стоящих перед космической отраслью.

Проведенный анализ показал, что современные АСУПП РКН имеют высокий уровень развития, однако их потенциал не достиг своего максимума. Несмотря на постепенное внедрение передовых технологий, системы продолжают сталкиваться с рядом трудностей. К ним относятся недостаточная гибкость, зависимость работы системы от человеческого фактора и сложность интеграции новых решений в существующие инфраструктуры. Кроме того, анализ статистики пусков и аварий показал, что даже небольшие ошибки в проектировании или эксплуатации могут приводить к серьезным последствиям. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего повышения надежности и безопасности систем.

Ключевыми тенденциями, которые определяют развитие АСУПП РКН в ближайшие годы, являются:

- внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения для оптимизации процессов управления и диагностики;
- использование цифровых двойников для моделирования и тестирования систем;
- развитие когнитивных технологий и адаптивных систем управления;
- интеграция облачных технологий и больших данных для повышения эффективности анализа и принятия решений;
- повышение уровня автономности систем для снижения зависимости работы системы от человеческого фактора и сокращения времени подготовки ракеты к запуску.

Эти тенденции открывают новые возможности для повышения эффективности и безопасности космических запусков, а также для снижения их стоимости. Однако для их успешной реализации требуется комплексный подход, включающий не только технические, но и организационные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Минаков Е.П., Тарасов А.Г., Боровской Е.П. Развитие структуры автоматизированной системы управления подготовкой и пуском ракет космического назначения с целью автоматизации процессов устранения нештатных ситуаций. *Научные технологии в космических исследованиях Земли*, 2015, № 6, с. 16–20.
- [2] Везенов В.И., Королев А.В., Светников О.Г., Тимашев А.В., Шилов С.В. Способ управления подготовкой и пуском ракеты-носителя и система для

- его реализации. Патент RU2583733C2 Российская Федерация, МПК G05B 23/02 (2006.01), B64G 1/24 (2006.01). № 2014137225/08; заявл. 15.09.2014; опубл. 10.05.2016. Патентообладатель: Акционерное общество «Ракетно-космический центр «Прогресс» (АО «РКЦ «Прогресс»). *Yandex.ru : патенты*. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2583733C2_20160510 (дата обращения: 05.03.2025).
- [3] Каргин В.А., Майданович О.В., Россиев А.Ю. Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракет космического назначения как корпоративная информационная система. *Информационно-измерительные и управляющие системы*, 2010, № 7, с. 78–83.
- [4] Макаров М.И., Медведев А.А., Савельев Ю.М., Макаров В.М. Автоматизированная система обеспечения эксплуатации ракетно-космической техники космодрома. Решаемые задачи и перспективы развития. *Российский технологический журнал. Секция «Информационные системы. Информатика. Проблемы информационной безопасности»*, 2016, т. 4, № 5, с. 46–54.
- [5] Список космических запусков в 2024 году. *Википедия* [2025]. Дата обновления: 01.03.2025. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=10469818&oldid=143747189> (дата обращения: 05.03.2025).
- [6] Американская ракета-носитель Falcon 9. Досье. *Информационное агентство ТАСС*. URL: <https://tass.ru/info/3262897> (дата обращения: 05.03.2025).
- [7] Завершены следственные действия по уголовным делам об аварии ракеты-носителя «Протон-М» со спутниками «Глонасс». *Следственный комитет Российской Федерации*. URL: <https://sledcom.ru/news/item/931022/?pdf=1> (дата обращения: 05.03.2025).
- [8] Ракета-носитель Falcon 9 взорвалась из-за пробоины в системе подачи гелия. *Викиновости* [2020-2020]. Дата обновления: 24.09.2020. URL: https://ru.wikinews.org/wiki/Ракета-носитель_Falcon_9_взорвалась_из-за_пробоины_в_системе_подачи_гелия (дата обращения: 05.03.2025).
- [9] Vega (ракета-носитель). *Википедия* [2025]. Дата обновления: 17.02.2025. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=2572389&oldid=143439061> (дата обращения: 17.02.2025).
- [10] Ядова Н.Е., Осико С.М. Искусственный интеллект: применение и перспективы развития на примере ракетно-космического приборостроения. *Научные исследования и разработки. Экономика фирмы*, 2022, т. 11, № 2, с. 54–59.
- [11] Сосфенов Д.А. Цифровой двойник как инструмент оптимизации производственных процессов. *Инновации и инвестиции*, 2023, № 5, с. 149–153.
- [12] Тимофеев Ю.А., Потюпкин А.Ю. Концептуальные вопросы создания системы управления перспективной орбитальной космической инфраструктурой. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2024, т. 11, № 3, с. 3–13.
- [13] Ямалтдинова Э.И. Человеко-машинный интерфейс. *Достижения науки и образования*, 2020, № 11 (65), с. 10–12.
- [14] Булыгина Т.А., Пикулев П.А., Каргин В.А., Васильев И.Е., Охтилев М.Ю., Кириленко Ф.А. Информационно-управляющий комплекс автоматизированной системы управления подготовкой двигательных установок и технологическим оборудованием ракет космического назначения на техническом и стартовом комплексах. Патент RU2604362C1 Российская Федерация, МПК G05B 19/00 (2006.01), F41F 3/00 (2006.01). № 2015127370/11; заявл. 07.07.2015; опубл. 10.12.2016. Патентообладатель: Закрытое акционерное общество «СКБ ОРИОН». *Yandex.ru : патенты*.

- URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2604362C1_20161210 (дата обращения: 05.03.2025).
- [15] Балухто А.Н., Романов А.А. Искусственный интеллект в космической технике: состояние, перспективы развития. *Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы*, 2019, т. 6, № 1, с. 65–75.
- [16] Матвиенко Ю.А., Уваров А.В. Научно-технические проблемы применения технологий искусственного интеллекта и нейросетевых технологий обработки данных в автоматизированных системах ракетных войск стратегического назначения. *Военная мысль*, 2021, № 4, с. 113–118.
- [17] Стельмах С.Ф., Грибакин В.А., Слатов В.Л., Антропова А.В. Исследование факторов, влияющих на возможность многократного применения жидкостных ракетных двигателей в целях снижения стоимости пусков много-разовых ракет-носителей. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2023, № 2, с. 215–226.

Статья поступила в редакцию 11.03.2025

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Осико С.М., Чугунков В.В. Состояние и тенденции совершенствования разработки автоматизированных систем управления предпусковой подготовкой и пуском ракет космического назначения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, вып. 4. EDN RHNQYE

Осико Софья Михайловна — аспирант кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. e-mail: osikosm@yandex.ru

Чугунков Владимир Васильевич — д-р техн. наук, профессор кафедры «Стартовые ракетные комплексы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 160 научных работ в области наземного оборудования ракетно-космической техники. e-mail: chvbmstu@bmstu.ru

Current state and trends in improving development of the automated control systems for the space rockets pre-launch preparation and launch

© S.M. Osiko, V.V. Chugunkov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

The paper presents a comprehensive analysis of modern approaches to development of the automated control systems for the space rockets pre-launch preparation and launch. Based on statistical data on the completed launch vehicles operation, it assesses efficiency of the applied technological solutions, and the software and hardware systems. The paper identifies the key problems associated with ensuring reliability, safety and efficiency in operation of the automated control systems for the space rockets pre-launch preparation. Current trends in these systems development are systematized. They including introduction of the artificial intelligence methods, digital twins and cognitive technologies aimed at optimizing the pre-launch preparation processes, minimizing time costs and increasing the space launch overall efficiency.

Keywords: rocket and space systems, space rocket, pre-launch preparation, automation, automated control system

REFERENCES

- [1] Minakov E.P., Tarasov A.G., Borovskoy E.P. Razvitie struktury avtomatizirovannoy sistemy upravleniya i puskom raket kosmicheskogo naznacheniya s tsel'yu avtomatizatsii protsessov ustraneniya neshtatnykh situatsiy [The development of the structure of automated control system for preparation and launch of space rockets to automate processes of removing emergency situations]. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli — High Technologies in Earth Space Research*, 2015, no. 6, pp. 16–20.
- [2] Vezenov V.I., Korolev A.V., Svetnikov O.G., Timashev A.V., Shilov S.V. Sposob upravleniya podgotovkoy i puskom rakety-nositelya i sistema dlya ego realizatsii [Method for controlling preparation and launch of a launch vehicle and a system for its implementation]. Patent RU2583733C2 Russian Federation, MPK G05B 23/02 (2006.01), B64G 1/24 (2006.01). No. 2014137225/08; appl. 15.09.2014; publ. 10.05.2016. Patent holder: Joint Stock Company Rocket and Space Center Progress (JSC RCC Progress). *Yandex.ru: patents*. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2583733C2_20160510 (accessed March 5, 2025).
- [3] Kargin V.A., Maidanovich O.V., Rossiev A.Yu. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya podgotovkoy i puskom raket kosmicheskogo naznacheniya kak korporativnaya informatsionnaya sistema [Automated control system for space rocket preparation and launching as corporate information system]. *Zhurnal "Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy" — Journal Information-measuring and Control Systems*, 2010, no. 7, pp. 78–83.
- [4] Makarov M.I., Medvedev A.A., Savelyev Yu.M., Makarov V.M. Avtomatizirovannaya sistema obespecheniya ekspluatatsii raketno-kosmicheskoy tekhniki kosmodroma. Reshaemye zadachi i perspektivy razvitiya [Rocket and space ground operation provided automated system. Decided tasks and progress perspectives]. *Rossiyskii tekhnologicheskii zhurnal. Sektsiya "Informatsionnye sistemy. Informatika. Problemy informatsionnoy bezopasnosti" — Russian Techno-*

- logical Journal. Section "Information Systems. Computer Sciences. Issues of Information Security"*, 2016, vol. 4, no. 5, pp. 46–54.
- [5] Spisok kosmicheskikh zpuskov v 2024 g. [List of space launches in 2024]. *Wikipedia* [2025] Updated: 01.03.2025. Available at: <https://ru.wikipedia.org/?curid=10469818&oldid=143747189> (accessed March 5, 2025).
- [6] Amerikanskaya raketa-nositel Falcon 9. Dosye [American launch vehicle Falcon 9. Dossier]. *Russian News Agency TASS*. Available at: <https://tass.ru/info/3262897> (accessed March 5, 2025).
- [7] Zaversheny sledstvennye deystviya po ugovolnym delam ob avarii rakety-nositelya "Proton-M" so sputnikami "Glonass" [Investigative actions in criminal cases on the accident of the Proton-M launch vehicle with the GLONASS satellites are completed]. *Sledstvennyi komitet Rossiyskoy Federatsii* [Investigative Committee of the Russian Federation]. Available at: <https://sledcom.ru/news/item/931022/?pdf=1> (accessed March 5, 2025).
- [8] Raketa-nositel Falcon 9 vzorvalas iz-za proboiny v sisteme podachi geliya [Falcon 9 launch vehicle exploded due to a hole in the helium supply system]. *Wikinews* [2020-2020]. Updated: 09.24.2020. Available at: https://ru.wikinews.org/wiki/Ракета-носитель_Falcon_9_взорвалась_из-за_пробоины_в_системе_подачи_гелия (accessed March 5, 2025).
- [9] Vega (raketa-nositel) [Vega (launch vehicle)]. *Wikipedia* [2025]. Updated: 17.02.2025. Available at: <https://ru.wikipedia.org/?curid=2572389&oldid=143439061> (accessed February 17, 2025).
- [10] Yadova N.E., Osiko S.M. Iskusstvennyi intellekt: primeneniye i perspektivy razvitiya na primere raketno-kosmicheskogo priborostroeniya [Artificial intelligence: application and development prospects on the example of rocket and space instrumentation]. *Nauchnye issledovaniya i razrabotki. Ekonomika firmy — Scientific Research and Development. Economics of the Firm*, 2022, vol. 11, no. 2, pp. 54–59.
- [11] Sosfenov D.A. Tsifrovoy dvoynik kak instrument optimizatsii proizvodstvennykh protsessov [Digital twin as a tool for optimizing production processes]. *Innovatsii i investitsii — Innovation and Investment*, 2023, no. 5, pp. 149–153.
- [12] Timofeev Yu.A., Potyupkin A.Yu. Kontseptualnye voprosy sozdaniya sistemy upravleniya perspektivnoy orbitalnoy kosmicheskoy infrastruktury [Conceptual issues of creating a control system for advanced orbital space infrastructure]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroeniye i informatsionnye sistemy — Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, 2024, vol. 11, no. 3, pp. 3–13.
- [13] Yamaltdinova E. I. Cheloveko-mashinnyi interfeys [Human-machine interface]. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya — Achievements of Science and Education*, 2020, no. 11 (65), pp. 10–12.
- [14] Bulygina T.A., Pikulev P.A., Kargin V.A., Vasiliev I.E., Okhtilev M.Yu., Kirilenko F.A. Informatsionno-upravlyayushchiy kompleks avtomatizirovannoy sistemy upravleniya podgotovkoy dvigatelnykh ustanovok i tekhnologicheskim oborudovaniem raket kosmicheskogo naznacheniya na tekhnicheskoy i startovom kompleksakh [Information and control complex of the automated control system for preparation of the propulsion systems and technological equipment of space rockets at the technical and launch complexes]. Patent RU2604362C1 Russian Federation, MPK G05B 19/00 (2006.01), F41F 3/00 (2006.01). No. 2015127370/11; appl. 07.07.2015; publ. 10.12.2016. Patent holder: Closed Joint-Stock Company "SKB ORION". *Yandex.ru: patents*. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2604362C1_20161210 (accessed March 5, 2025).

- [15] Balukhto A.N., Romanov A.A. Iskusstvennyi intellekt v kosmicheskoy tekhnike: sostoyanie, perspektivy razvitiya [Artificial intelligence in space technology: status, development prospects]. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy — Rocket-Space Device Engineering and Information Systems*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 65–75.
- [16] Matvienko Yu.A., Uvarov A.V. Nauchno-tekhnicheskie problemy primeneniya tekhnologiy iskusstvennogo intellekta i neyrosetevykh tekhnologiy obrabotki dannykh v avtomatizirovannykh sistemakh voysk strategicheskogo naznacheniya [Science-and-technology issues of using artificial intelligence technologies and neural network technologies of data processing in the automated systems of strategic missile forces]. *Voennaya mysl — Military Thought*, 2021, no. 4, pp. 113–118.
- [17] Stelmakh S.F., Gribakin V.A., Slatov V.L., Antropova A.V. Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na vozmozhnost mnogokratnogo primeneniya zhidkostnykh raketnykh dvigateley v tselyakh snizheniya stoimosti puskov mnogorazovykh raket-nositeley [Analysis of factors affecting the possibility of multiple use of liquid rocket engines in order to reduce the cost of launching reusable launch vehicles]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki — Izvestiya Tula State University. Technical Sciences*, 2023, no. 2, pp. 215–226.

Osiko S.M., Postgraduate, Department of Rocket Launch Complexes, Bauman Moscow State Technical University. e-mail: osikosm@yandex.ru

Chugunkov V.V., Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Rocket Launch Complexes, Bauman Moscow State Technical University; author of 160 scientific publications in ground-based equipment of the rocket and space systems. e-mail: chvbmstu@bmstu.ru