

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

УДК 629.764 DOI 10.30894/issn2409-0239.2022.9.3.19.29

Повышение эффективности наземных испытаний изделий ракетно-космической техники на основе интеллектуализации обеспечивающих средств испытательных комплексов

Г. Г. Вокин, *д. т. н., профессор, vokin_g@mail.ru*

*«НИИ КС им. А. А. Максимова» — филиал АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»,
г. Королев, Московская область, Российская Федерация*

А. М. Гуменюк, *к. т. н., snegiri_11@mail.ru*

АО «ГКНЦ им. М. В. Хруничева», Москва, Российская Федерация

О. В. Егоров, *к. т. н., snegiri_11@mail.ru*

*«НИИ КС им. А. А. Максимова» — филиал АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»,
г. Королев, Московская область, Российская Федерация*

В. А. Лисейкин, *к. т. н., snegiri_11@mail.ru*

ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет, Московская область, Российская Федерация

М. И. Макаров, *д. т. н., профессор, snegiri_11@mail.ru*

*«НИИ КС им. А. А. Максимова» — филиал АО «ГКНПЦ им. М. В. Хруничева»,
г. Королев, Московская область, Российская Федерация*

Н. П. Сизяков, *д. т. н., i.yurev@nic-rkr.ru*

ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет, Московская область, Российская Федерация

И. А. Тожокин, *tail@nic-rkr.ru*

ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет, Московская область, Российская Федерация

И. А. Юрьев, *к. т. н., доцент, i.yurev@nic-rkr.ru*

ФКП «НИЦ РКП», г. Пересвет, Московская область, Российская Федерация

Аннотация. Изложены методические подходы, научно-технические предложения, результаты проработок, нацеленные на повышение показателей эффективности испытаний перспективных изделий ракетно-космической техники (РКТ) на основе использования элементов интеллектуализации информационно-измерительных технологий, аппаратно-технических и обеспечивающих средств наземных испытательных комплексов.

В статье решение упомянутых вопросов предлагается искать на путях синергетически эффективного использования методических, инструментальных и технологических средств интеллектуализации и автоматизации технологических процедур проведения наземных испытаний и контроля изделий РКТ.

Основными инструментами повышения показателей эффективности испытаний предлагается широко использовать средства, названные нами интеллекторами и представляющие собой новые, модернизированные или известные, но вновь вводимые решения и средства, адаптированный методический аппарат, новую логистику и интеллектуально-компьютерную поддержку процессов испытаний. При этом для каждого вида испытаний может быть сформулирован свой специфический тезаурус интеллекторов. Агрегированные интеллекторы выделены в такие типы тезаурусов, как методико-информационно-технологические, аппаратно-технические и модельно-имитационные. Приводятся обобщенная структурно-функциональная схема интеллектуализированного комплекса, включающая все его основные функциональные элементы, а также примеры конкретных схем отдельных его интеллектуализированных составных частей.

На основе проведенного поискового анализа с использованием методологии деловых игр установлено, что при использовании упомянутых выше средств интеллектуализации и автоматизации имеет место существенное (многие десятки процентов) приращение показателей эффективности испытаний, снижение материально-финансовых и временных затрат при уменьшении негативного влияния человеческого фактора и сокращении требуемого количества специалистов-испытателей.

Ключевые слова: изделия РКТ, испытания, тезаурусы, интеллекторы; эффективность испытаний, опытно-теоретические оценки характеристик, параметров и свойств изделий; наземные испытательные комплексы РКТ; ожидаемый эффект, качество, средства интеллектуально-компьютерной поддержки процессов испытаний

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ,
ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕТРИИ.
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

On Improving the Efficiency of Ground-Based Testing of Rocket and Space Technology Products Based on the Intellectualization of the Supporting Means of Test Complexes

G. G. Vokin, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., vokin_g@mail.ru*

Maksimov Space Systems Research Institute – a Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow region, Russian Federation

A. M. Gumenyuk, *Cand. Sci. (Engineering), snegiri_11@mail.ru*

FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow, Russian Federation

O. V. Egorov, *Cand. Sci. (Engineering), snegiri_11@mail.ru*

Maksimov Space Systems Research Institute – a Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow region, Russian Federation

V. A. Liseikin, *Cand. Sci. (Engineering), snegiri_11@mail.ru*

FKP “NITs RKP”, Peresvet, Moscow region, Russian Federation

M. I. Makarov, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., snegiri_11@mail.ru*

Maksimov Space Systems Research Institute – a Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Korolev, Moscow region, Russian Federation

N. P. Sizyakov, *Dr. Sci. (Engineering), i.yurev@nic-rkp.ru*

FKP “NITs RKP”, Peresvet, Moscow region, Russian Federation

I. A. Tozhokin, *mail@nic-rkp.ru*

FKP “NITs RKP”, Peresvet, Moscow region, Russian Federation

I. A. Yuriev, *Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, i.yurev@nic-rkp.ru*

FKP “NITs RKP”, Peresvet, Moscow region, Russian Federation

Abstract. The paper presents methodological approaches, scientific and technical proposals, results of studies aimed at improving test performance indicators as applied to the field of advanced rocket and space systems by introducing intellectualization of information and measurement technologies, hardware and support systems of ground-based test facilities.

The paper suggests that the solution of these issues should be sought in the synergistically-efficient use of methodological and technological tools to facilitate intellectualization and automation of technological procedures for ground-based tests and monitoring of rocket and space equipment.

As proposed by the authors, the key approach to enhancing the test efficiency should involve a wide use of tools designated as “intellectors” which represent new, updated or well-known but newly introduced solutions and tools, an adapted methodology, a new test logistics. At the same time, an individual thesaurus of intellectors may be compiled for a certain type of testing. Aggregated intellectors are divided into such types of thesauri as methodological-information-technological, hardware-technical and simulation-modelling. A functional block diagram of the intellectualized test facility is presented including all its major functional elements, as well as examples of its intellectualized element schematics are provided.

Based on the survey and analysis carried out with the use of business game methodology it was found that employing above-mentioned intellectualization and automation tools brings about a considerable growth (by many tens of percent) of test efficiency indicators, fosters reduction in material, financial and time costs while decreasing a human factor negative impact and reducing the number of test specialists required.

Keywords: rocket and space systems, tests, thesauri, intellectors; test efficiency, experimental and theoretical assessments of characteristics, parameters and properties of space systems; spacecraft ground-based test facilities; expected effect, quality

Введение

В настоящее время есть основания констатировать, что современный этап мирового технологического развития является, по своей сути, началом нового периода развития человеческой цивилизации. И это нельзя отнести к преувеличениям. Об этом свидетельствуют те новые технологические направления, развитие которых происходит со все большей скоростью. Если в XX веке это были космос и атомная энергия, то сейчас это — искусственный интеллект, информационные технологии, телекоммуникации, большие системы, биотехнологии и т. п. [1], при этом борьба за технологическое лидерство стала полем глобальной конкуренции. На своем опыте авторы лишней раз убедились, что развитие современных технологий в различных сферах человеческой деятельности происходит на практике в соответствии с философским законом о переходе количественных изменений в коренные качественные. При этом уместно отметить, что в этом смысле ракетно-космическая техника исключением не является. Более того, как мы можем констатировать, она сама стала локомотивом прогресса и самым активным потребителем всего нового и передового на всех этапах жизненного цикла изделий РКТ, в том числе и на этапе испытаний и контроля.

Испытания изделий РКТ, являясь одним из важных этапов их жизненного цикла, а в то же время в силу их большой важности, требуемой большой надежности и безотказности в тяжелых условиях функционирования, большой ответственности решаемых боевых, научных или социально-экономических задач требуют масштабных материально-финансовых затрат и серьезного научно-технического обоснования для объективной опытно-теоретической оценки характеристик, параметров и свойств испытываемых изделий [2]. Территориально испытания изделий начинаются в земных условиях, а заканчиваются в условиях полета в атмосфере, в безвоздушном пространстве или в условиях открытого космоса.

Не ранжируя по объему, видам и времени испытаний, можно выделить среди них такие часто используемые испытания, как: лабораторные, стендовые, конструкторские, внутризаводские, ведомст-

венные, межведомственные, наземные, летные, приемо-сдаточные, контрольные, утяжеленные, государственные и другие наименования испытаний.

К настоящему времени, начиная с середины прошлого века, разработано большое число методик испытаний, закрепленных в нормах и стандартах разного уровня, в том числе и в государственных стандартах, тем не менее потребность в совершенствовании технологий испытаний является актуальной в связи с использованием при создании перспективных изделий РКТ новых научно-технических решений, новых материалов, а также в связи с появлением нетрадиционных функций, с необходимостью обеспечения функционирования в тяжелых условиях космической среды, в том числе и длительное время [3, 4].

Актуальность рассматриваемых вопросов обусловлена тем обстоятельством, что при создании изделий РКТ такой этап их жизненного цикла, как испытания и контроль, занимает особо важное место не только в вопросах обеспечения способности изделий выполнять заданные функции, но и в том, что трудоемкость испытательных и контрольных процессов составляет от 20 до 40% общей трудоемкости создания изделий и имеет тенденцию к возрастанию. При этом не только возрастает потребность в совершенствовании испытательной базы, но и, кроме того, остро стоит вопрос о сокращении материально-финансовых и временных затрат на проведение полномасштабных испытаний [5–11], а также об уменьшении количества занятого на испытаниях технического персонала при безусловном обеспечении надежного определения с требуемой точностью оценок характеристик, параметров и свойств изделий [12–19].

Как показывает анализ опыта авторов, для выполнения упомянутых требований технологии испытаний зачастую из простых становятся достаточно сложными и, что главное, наукоемкими, требуя при этом больших материальных и финансовых затрат с привлечением большого числа специалистов-испытателей. В связи с этим появляется настоятельная потребность в поиске новых подходов, научно-технических решений и новых технологических инструментов, основанных на новых информационно-измерительных технологиях, новых возможностях программно-аппаратных

и проблемно-ориентированных программных продуктов, а также на создании усовершенствованных обеспечивающих средств испытательных технических комплексов.

Повышение требований к результативности и показателям эффективности испытаний — это не локальные и не ситуативные явления и случаи, а это тенденция-тренд. В связи с этим возникает актуальная задача теоретического обобщения накопленного к настоящему времени опыта и поиска научно-технических подходов, а также разработки предложений по повышению эффективности испытаний базовых элементов перспективных изделий РКТ, тем более что, по данным авторов, проработки по упомянутым вопросам в соответствующих информационных источниках остаются пока малочисленными.

Направления, способы, методические и технические инструменты повышения эффективности испытаний изделий РКТ на основе использования научно-технических возможностей интеллектуализации технологических процессов и средств наземных испытательных комплексов

Отправной точкой определения направлений совершенствования процессов испытаний является формирование понятия эффективности \mathcal{E} испытаний. Под этим понятием в статье понимается совокупность таких практически значимых и численно выражаемых (нередко взаимосвязанных) показателей эффективности испытательных комплексов ($\mathcal{E}_i, i = 1, 2, \dots, n$), как уровень повышения точности оценок характеристик, параметров и свойств испытываемых элементов; уровень снижения продолжительности полномасштабных испытаний заданного вида при использовании в экспериментах натуральных изделий, их математических и масштабируемых моделей; уровни сокращения финансовых, материально-технических затрат и сниже-

ния количества обслуживающего персонала; увеличение числа контролируемых параметров изделий, повышение времени полноценного функционирования и точности определения надежности изделия в заданных условиях работы, а также степень качественного и количественного повышения уровня автоматизации, информатизации и сервиса процессов испытаний на технической базе испытательных комплексов.

Сформированное понятие может не только характеризовать процессы испытаний, но и проводить оценки на соответствие требованиям таких важнейших видов испытаний, как: функционирование двигательных установок; оценки прочности конструкций элементов изделий; испытания изделий на стойкость к тепловым нагрузкам, механическим перегрузкам и к вибрациям, на стойкость к воздействиям агрессивных химических веществ и радиации, на герметичность и долговечность функционирования и т. д.

Очевидно, что высокий уровень составляющих эффективности способен обеспечить высокую результативность R испытаний, что означает получение в результате проведения испытаний высококачественных и полномасштабных данных о характеристиках, параметрах и свойствах испытываемых изделий в запланированном требуемом объеме и с высокой степенью надежности.

Как показывают результаты проведенного авторами анализа ретроспективного и современного опыта испытаний, к основным путям повышения результативности испытаний следует отнести в первую очередь интеллектуализацию всех технологических процессов и обеспечивающих технических средств, которые в совокупности должны составлять интеллектуальную и материальную базу перспективных испытательных комплексов. Именно на этом пути совершенствования технологий и средств испытаний может быть достигнут такой уровень наземной отработки изделий, что, например, новые ракеты могут запускаться с первого раза без аварий. Показательными в этом отношении примерами могут служить уникальные запуски с первого раза сверхтяжелой РН «Энергия» и системы «Энергия–Буран», что достигнуто благодаря использованию методологии и комплекса средств наземной отработки, сформированных под руковод-

ством академика В. П. Глушко. Отметим, что на начальных этапах развития ракетно-космической техники успешные пуски начинались после нескольких аварийных, а перед принятием на вооружение ракет производился контрольный их отстрел в количестве первых десятков штук. В этом отношении характерен пример: в середине прошлого века при отработке ракеты Р-7, в том числе и применительно к полету человека в космос, было совершено 46 пусков. Это было вызвано новизной и высокой ответственностью решаемых задач. На первых этапах развития ракетно-космической техники с такими случаями вынуждены были мириться в силу отсутствия соответствующих научно-технических средств, но в настоящее время, когда имеется большой арсенал научно-технических возможностей, такие ситуации принципиально непозволительны по определению.

Надо сказать, что понятие интеллектуализации базируется на использовании и интеграции научно-технических достижений, результатов и методов, нацеленных на построение достаточно точных математических моделей проектируемых изделий и расчетных методик по оценке их параметров и характеристик при широком использовании в процессе испытаний информационно-измерительных технологий, вычислительной техники, проблемно-ориентированных программных продуктов и средств автоматизации. Это означает, что в земных условиях при моделировании процессов испытываемых изделий должны быть проведены всевозможные режимы их работы и заблаговременно оценены их характеристики, параметры и свойства, тогда для дорогостоящих летно-технических испытаний останется относительно немного невыясненных проблемных вопросов. Это обстоятельство, как будет показано в последующем изложении, очень сильно сказывается на улучшении составляющих показателей эффективности.

В связи с изложенным в итоге поисков и экспертных оценок основным направлением совершенствования процессов испытаний наиболее целесообразными следует считать теоретическое обобщение, разработку и внедрение научно обоснованных проектно-конструкторских решений и научно-методических продуктов, в основу создания которых должно быть положено синергетически эффектив-

ное использование методических и технических средств интеллектуализации и автоматизации технологических процедур проведения наземных испытаний изделий РКТ.

Как установлено в итоге поискового анализа, основными средствами или инструментами повышения составляющих эффективности являются интеллекторы, представляющие собой новые, модернизированные или известные вновь вводимые научно-технические решения, адаптированный методический аппарат; аппаратно-программные, измерительные и технические средства; математические и натурные модели; усовершенствованная логистика и средства интеллектуально-компьютерной поддержки процессов испытаний, которые внедряются в технологическую цепочку испытаний на технической базе испытательных комплексов. При этом для каждого вида испытаний, упомянутых выше, должен быть сформирован свой специфический тезаурус интеллекторов.

В методическом и организационном плане целесообразно выделить такие понятия, как опережающая интеллектуализация, когда создаваемый испытательный комплекс проектируется с перспективой развития подлежащих испытаниям изделий или с учетом расширения их функций, и гибкая интеллектуализация, когда можно оперативно изменять наполнение тезауруса необходимыми интеллекторами.

Оставаясь на принятом уровне общности изложения, можно выделить ряд типов тезаурусов интеллекторов, в основу классификации которых положены назначения, функциональные возможности интеллекторов, а также принадлежность к той или иной составной части технического испытательного комплекса. В итоге экспертного анализа выделены следующие типы тезаурусов:

– методико-информационно-технологические (методики испытаний, проблемно-ориентированные программные продукты, математические модели и схемы расчета; усовершенствованные способы опытно-теоретических оценок характеристик, параметров и свойств изделий; базы данных и базы знаний, экспертные системы, цифровые двойники испытываемых элементов, элементы искусственного интеллекта, документирование результатов испытаний, имитационные модели, операции с нечеткими

множествами данных, цифровые 3D-макеты, справочная литература и т. п.);

– аппаратно-технические (датчики для измерения параметров испытываемых элементов со встроенными аналого-цифровыми преобразователями, вычислительные средства; системы мониторинга, визуализации и отображения процессов испытаний; системы сервиса испытаний, контрольно-техническая аппаратура, средства автоматизации процессов испытаний, программно-аппаратные интерфейсы между математическими и натурными моделями и т. п.);

– модельно-имитационные (математические модели, натуральные масштабированные и немасштабированные модели испытываемых элементов, гибридные схемы испытаний — сочетание математических моделей, схемы замещения элементов изделий более простыми моделями: ракета — твердое тело, топливные баки — емкости пустые или частично заполненные жидкостью; средства, имитирующие воздействие внешней среды: механические нагрузки, линейные, изгибные и вибрационные; влияние химических элементов, радиации и разного рода излучений; влияние невесомости и вакуума и т. п.).

Следует заметить, что интеллекторы рассматриваются в статье как некоторые функциональные элементы, они могут работать на различных физических принципах, при этом рассмотрение конкретных их научно-технических решений выходит за рамки тематики статьи, поскольку в статье излагаются пока только концептуальные основы взаимосвязанной интеллектуализации всех основных составных частей наземных испытательных комплексов.

Оставаясь на принятом уровне общности изложения, отметим также, что приращение составных элементов Δi эффективности испытаний происходит за счет совершенствования упомянутых интеллекторов I_j за счет внедрения новых их вариантов, а также за счет выбора рациональных вариантов дорожной карты испытаний. В формализованном виде имеет место соотношение

$$\text{Extremum } \Delta(\Delta i) = F(I_j),$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ — число составляющих показателей эффективности Δ ; $j = 1, 2, \dots, m$ — число интеллекторов; $F(I_j)$ — функция технологической логики данного вида испытаний.

Из этих соображений можно сделать экспертное заключение, что максимальная результативность испытаний R определенного вида имеет место, когда достигаются максимально возможные приращения Δi элементов эффективности Δ .

Обобщенная структурно-функциональная схема интеллектуализированного испытательного комплекса

Как показывает анализ, хотя испытательные комплексы различных видов испытаний в конструктивном отношении очень разнообразны, в функциональном отношении они имеют много общего, что позволяет строить обобщенную структурно-функциональную схему испытаний, которая базируется на использовании средств интеллектуализации и при этом отражает основные возможности испытательных технических комплексов всех типовых видов испытаний. Структура и основные функциональные звенья упомянутого комплекса приведены на рисунке.

Надо подчеркнуть, что на рисунке представлен интеллектуализированный комплекс испытаний в общих чертах, поскольку изложение ведется на концептуальном уровне, при этом совокупность ранее упомянутых испытательных процедур и средств является основой для формирования конкретных структурно-функциональных схем испытательных комплексов определенного назначения. При создании интеллектуализированного испытательного комплекса для проведения испытаний конкретного вида должен быть проявлен творческий подход, учтены взаимосвязи всех составных частей и внесены соответствующие особенности, направленные на повышение эффективности и результативности испытаний соответствующего вида.

Уместным будет заметить также, что при создании полномасштабного технического испытательного комплекса должен быть предусмотрен большой объем наукоемких работ по наполнению соответствующим контентом всех звеньев структурной схемы рисунка.

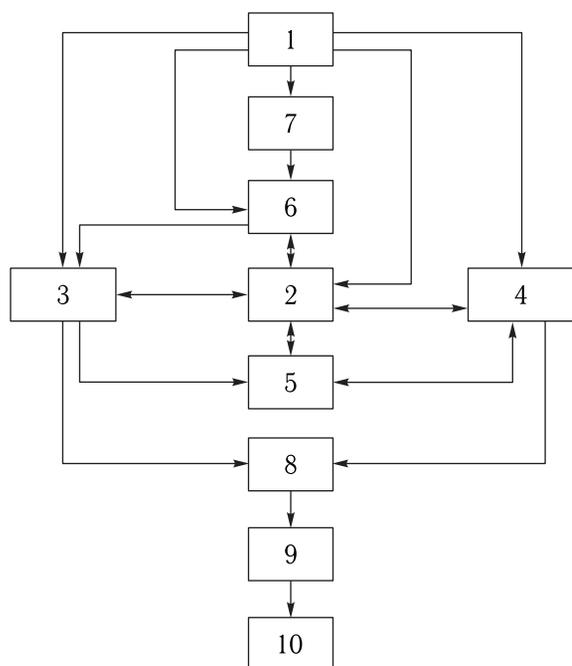


Рисунок Обобщенная структурно-функциональная схема интеллектуализированного технического испытательного комплекса: 1 — система управления испытательного комплекса, 2 — тезаурус средств интеллектуализации и автоматизации, 3 — натурные элементы испытаний или их модели, 4 — математические модели элементов испытаний, 5 — интерфейсные средства обмена информацией, 6 — средства моделирования влияния внешней среды, 7 — технические средства обеспечения испытаний, 8 — опытно-теоретическая оценка характеристик, параметров и свойств испытательных элементов изделий, 9 — мониторинг и визуализация испытаний, 10 — протоколы и документирование испытаний

При этом, как показывает проведенный авторами обзорно-оценочный анализ, в настоящее время не просматриваются возможности разработки формализованного математического аппарата для синтеза эффективных вариантов интеллектуализированных испытательных комплексов. В связи с этим в качестве основных инструментов синтеза упомянутых комплексов и их элементов наиболее целесообразно использовать соответствующие дорожные карты синтеза, разработанные высококвалифицированными специалистами, главным образом на основе применения разного рода экспертных подходов и приемов.

Примеры отдельных вариантов структурно-функциональных схем интеллектуализированных составных частей испытательного комплекса

Формирование интеллектуализированных структурно-функциональных схем составных частей испытательного комплекса можно проиллюстрировать на примере уже реализованных стендовых информационно-управляющих систем (ИУС), способных интегрировать задачи управления и измерения. В частности, использование на стендах испытательных комплексов ФКП «НИЦ РКП» высокопроизводительных вычислительных средств позволило более глубоко автоматизировать процесс набора готовности стенда к подаче компонентов топлива, рабочих жидкостей и газов на изделие [13, 14]. Такая интеллектуализация, особенно эффективная для стендов с высокой интенсивностью типовых испытаний, например испытаний серийных изделий, реализована с помощью интеллектуализированной экспертной системы (ИЭС), которая позволяет выполнять все операции подготовки стенда к испытанию в режиме совета или в автоматическом режиме [12, 14].

Прототипом упомянутой ИЭС является система контроля, диагностики и отображения параметров изделия, разработанная для испытаний ступеней космического ракетного комплекса «Ангара» [12, 13]. Типовой характер процесса подготовки и набранная при проведении множества испытаний статистическая информация по параметрам подачи рабочих сред позволяют создать ИЭС, обобщающую опыт, накопленный при выполнении типовых операций, и имеющую в своей основе базу знаний и базу данных.

База знаний содержит формальное описание общего плана подготовки, типовых операций по каждой стендовой системе, моделей поведения параметров, методов контроля параметров и взаимосвязи с окружающей средой и другими системами стенда.

База данных представляет собой массив переменных, значения которых характеризуют каждое испытание, например режимы работы двигателя, общее время и время каждого режима, параметры

окружающей среды и т. п., что позволяет настроить ИЭС на конкретное испытание. То есть, по сути, речь идет о создании модели стендовой системы, работающей в режиме реального времени при заправке стенда и подготовке его к испытаниям. Одно из важнейших условий работы ИЭС — ее «обучаемость», т. е. модель не является статичной, а может автоматически корректироваться с учетом опыта проводимых работ.

Помимо выполнения технологических операций подготовки к пуску ИЭС может выполнять диагностику стендовой арматуры, вырабатывая своевременные рекомендации по проведению профилактических работ в целях предупреждения выхода элементов автоматики из строя при подготовке к испытаниям, так как такие случаи в порядке выполнения авторами служебных заданий на практике были нередки и приводили к существенным задержкам, а порой и к отмене испытания.

Таким образом, существующий уровень развития стендовых ИУС и вычислительных средств позволяет создавать ИЭС, аккумулирующие опыт ведущих специалистов и позволяющие автоматизировать процесс заправки и подачи на изделие рабочих сред и диагностировать неисправность стендовых агрегатов, существенно повышая надежность выполнения подготовительных операций.

В качестве двух других примеров применения приемов интеллектуализации, математических методов моделирования, визуализации и документирования хода подготовки и проведения испытаний могут служить следующие работоспособные системы: стендовая информационно-управляющая система и система управления контролем качества изделий [15], которые продемонстрировали высокий уровень работоспособности и эффективности. Обе названные системы реализованы в ФКП «НИЦ РКП» и эффективно используются на практике в этом Центре [12–15]. Дополнительно следует отметить, что упомянутая система управления контролем качества функционирует на этапах исследовательского проектирования, конструирования, производства и эксплуатации, при этом отклонения характеристик изделия от требуемых значений отрабатываются на упомянутых этапах жизненного цикла через соответствующие обратные связи.

При желании или необходимости интересующую информацию об упомянутых системах можно получить в ФКП «НИЦ РКП» в соответствии с установленным порядком.

О методическом подходе к оценке приращений показателей эффективности за счет интеллектуализации процессов испытаний и экспертной оценке ожидаемого суммарного синергетического эффекта при опытно-теоретической оценке характеристик, параметров и свойств перспективных изделий РКТ на технической базе интеллектуализированных испытательных комплексов

Наиболее убедительными оценками эффективности и результативности, а также ожидаемого эффекта по определению являются такие оценки и заключения, которые базируются на натуральных экспериментальных испытаниях и выражаются количественно. Это условие становится обязательным, когда ожидаемый эффект от использования нововведения невелик и составляет, например, несколько процентов. В случае существенного значения ожидаемого эффекта допустимыми и приемлемыми становятся логически обоснованные оценки и заключения качественного и вербального характера. В нашем случае, когда изложение ведется на концептуальном уровне и при этом ожидается получение существенного эффекта от использования предложенных мер и рекомендаций, вполне правомерно и допустимо широко использовать экспертные оценки.

Из проведенного поискового анализа установлено, что в основу упомянутых оценок логично положить экспертно-исследовательские сценарии испытаний, построенные по методологии деловых игр с учетом имеющегося современного опыта. При про-

игрывании достаточного количества вариантов сценариев испытаний с учетом использования рассмотренных выше средств интеллектуализации накапливается значительное количество данных, необходимых для проведения оценок экспертного характера.

Вторым элементом излагаемого подхода является использование приемов калькуляции в соответствии с дорожной картой испытаний и в сочетании с использованием имеющегося практического опыта.

При использовании изложенного подхода являются вполне правомерные основания для определения положительных приращений компонент эффективности испытаний и формирования заключения о существенном повышении результативности R испытаний.

Как свидетельствуют результаты анализа проведенных экспертно-исследовательских сценариев испытаний, при использовании средств интеллектуализации приращения показателей эффективности являются существенными и могут составлять многие десятки процентов; при этом мы не повторяем наименования показателей эффективности испытаний, которые имеют практическую направленность и выражаются, в зависимости от содержания, как количественно, так и качественно.

Особо надо подчеркнуть, что получение такого существенного эффекта от внедрения средств интеллектуализации вполне возможно обеспечить при использовании вполне доступных современных измерительных и программно-аппаратных средств, новых информационных технологий с элементами искусственного интеллекта, уточненных математических моделей, а также при широком использовании средств и методов автоматизации технологических процессов испытаний.

По проведенным экспертным оценкам авторов отработка проектируемых изделий РКТ при использовании интеллектуализированных испытательных комплексов приводит к сокращению как временных, так и материально-финансовых затрат при повышении результативности испытаний.

Как свидетельствует анализ традиционного перечня необходимых мероприятий и процедур, проведение полномасштабных испытаний изделий требует значительных материальных и финансовых затрат. Интеллектуализация как раз и нацелена на

сокращение упомянутых затрат. Проведение испытаний при традиционном подходе требует, как правило, проектирования и изготовления полномасштабных или в уменьшенном масштабе натурных моделей, подлежащих испытаниям, разного рода вспомогательных механизмов и контролирующей аппаратуры, что требует немалых (в зависимости от вида испытываемых изделий) материальных затрат, привлечения высококвалифицированных специалистов для создания ручным способом уникальных по существу изделий-моделей. В связи с низким уровнем информатизации и автоматизации испытаний необходимо привлекать также высококвалифицированных специалистов-испытателей. Очевидно, что при традиционном подходе все упомянутые действия связаны не только с большими материальными, но и с финансовыми затратами на оплату работы высококвалифицированных специалистов. Кроме того, все это связано с увеличенными затратами времени.

В то же время при широком использовании упомянутых выше средств, методов и приемов интеллектуализации, модернизированных математических методов моделирования и расчетных алгоритмов по оценке характеристик и свойств изделий, визуализации процессов и документирования повышаются объемы экспериментальных данных по углубленному определению показателей и свойств испытываемых элементов с привлечением меньшего количества высокооплачиваемых профессионалов-испытателей. Все это достигается, образно говоря, не магически, это результат заблаговременного глубокого научного обследования подлежащих испытаниям изделий, обобщения имеющегося опыта, цифровизации и автоматизации процессов испытаний. Приведенные обстоятельства свидетельствуют, что при широком использовании интеллектуализации процессы испытаний становятся качественно иными, в частности для людей менее трудоемкими и более производительными и быстрыми при повышении их качества [16–18].

Заключение

Анализ проведенных концептуальных проработок свидетельствует о большом ожидаемом положительном эффекте от использования средств

интеллектуализации и интеллектуально-компьютерной поддержки процессов проведения испытаний изделий РКТ как в целом, так и особенно критических их элементов. Эффект от использования интеллектуализации достигается в основном за счет учета при испытаниях большого прошлого интеллектуального опыта при построении уточненных математических моделей испытываемых элементов и расчетных методик, а также за счет использования вновь разработанных интеллектуаторов. Повышенный уровень надежности достигается, в частности, за счет того, что при моделировании выявляются различного рода непрогнозируемые перегрузки, действующие на элементы, негативное (катастрофическое) влияние которых устраняется при доработке изделий путем соответствующего изменения конструкции или функциональных схем, после чего элементы становятся работоспособными в ожидаемых условиях функционирования по определению.

Интеллектуализированные наземные испытательные комплексы позволяют резко сократить объемы дорогостоящих летно-технических испытаний при обеспечении существенного улучшения других составляющих показателей эффективности испытаний, имеющих большое практическое значение. Как показывает научно-технический анализ, при внедрении процедур интеллектуализации не ожидается проблемных трудностей, потому что имеется достаточно объемный арсенал необходимых и доступных методических инструментов и научно-технических средств для создания интеллектуаторов.

И, наконец, отметим, что все приемы и средства интеллектуализации могут быть применены и на этапе летно-технических испытаний, когда, наряду с надежностью, определяются такие важнейшие летно-технические характеристики, как дальность и точность боевых ракет или вес выводимого на заданную орбиту полезного груза ракетами космического назначения.

Список литературы

1. Совещание по вопросам развития технологий в области искусственного интеллекта. 30 мая 2019 года, <http://kremlin.ru/events/president/news/60630> (Дата обращения 28.05.2021).
2. *Азаренко Л. Г., Вокин Г. Г., Лашманов К. В.* Концептуальная основа исследовательского синтеза высокоэффективных систем обнаружения и определения координат в районах падения элементов, отделяемых от ракет стратегического и космического назначения на траекториях их полета в ходе испытаний и штатной эксплуатации / В кн.: XLIII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королева и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства. Сб. тезисов. 2019. С. 304–305.
3. *Вокин Г. Г.* О концепции исследовательского синтеза высокоэффективных систем обнаружения и определения координат в районах падения элементов, отделяемых от ракет стратегического и космического назначения на траекториях их полета в ходе испытаний и штатной эксплуатации // Информационно-технологический вестник МГОТУ, 2018, № 3 (17). С. 10–21.
4. *Вокин Г. Г.* Об ограниченных возможностях космических технологий при реализации перспективных научно-технических и гуманитарных проектов космической деятельности // Социально-гуманитарные технологии, 2018, № 2 (6). С. 11–18.
5. *Азаренко Л. Г.* Метод синергетической оптимизации технологических и экономических процессов создания изделий ракетно-космической техники / В сб.: Проблемы и перспективы экономического развития высокотехнологичных отраслей промышленности. Управление, ресурсное обеспечение и кооперация в условиях новых вызовов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Москва, РУДН. 2015. С. 100–110.
6. *Аббасова Т. С., Комраков А. А.* Восстановление и проверка корректности телеметрических данных // Информационно-технологический вестник МГОТУ, 2015, № 2 (04). С. 55–64.
7. *Комраков А. А.* Унификация программного обеспечения для декомпозиции телеметрических данных // Теоретические и прикладные аспекты современной науки, 2014, № 3–5. С. 71–74.
8. *Артюшенко В. М., Васильев Н. А., Аббасова Т. С.* Комплекс полунатурного моделирования систем автоматического управления летательных аппаратов и ракетно-космической техники // Современные образовательные технологии, используемые в очном, заочном и дополнительном образовании. Королев: ФТА; М.: Канцлер, 2013. С. 17–22.

9. *Vibrant Go hale, Gosh S. K., Armband Gupta* Classification of Attacks on Wireless Mobile Ad Hoc Networks and Vehicular Ad Hoc Networks. 196–217 p. Security of Self-Organizing Networks. MANET, WSN, WMN, VANET. CRC Press, 2011, 595 p.
10. *Артюшенко В. М., Бекетов В. А., Кузьмин С. В., Майданов А. Ю., Мороз А. П., Привалов В. И.* Сбор и обработка виброакустических процессов на борту ракетно-космической техники // Приволжский научный вестник, 2014, № 4 (32). С. 23–28.
11. *Аббасова Т. С., Погосян А. Т.* Анализ структуры наземного комплекса управления космическими летательными аппаратами // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016): Сб. статей VI Международной заочной научно-технической конференции. Ч. 1 / Поволжский гос. ун-т сервиса. — Тольятти: Изд-во ПВГУС, 24–25.03.2016. С. 19–22.
12. *Лисейкин В. А., Милютин В. В., Тожокин И. А. и др.* Информационно-управляющая система для стендовых испытаний РН «Ангара» // Общероссийский научно-технический журнал «Полет», 2009, № 5.
13. *Абросимов А. В., Бизяев Р. В., Лисейкин В. А.* Система контроля, диагностики и отображения информации для стендовых испытаний РН «Ангара» // Науч. труды «Вестник МАТИ», 2013, № 20.
14. *Лисейкин В. А., Милютин В. В., Сайдов Г. Г., Тожокин И. А.* Информационно-управляющие системы для стендовых испытаний ЖРД и ДУ. М.: Машиностроение/Машиностроение–Полет, 2012.
15. *Лисейкин В. А., Моисеев Н. Ф., Сайдов Г. Г., Фролов О. П.* Основы теории испытаний. Экспериментальная отработка ракетно-космической техники. М.: Машиностроение–Полет, 2015.
16. *Недайвода А. К.* Технологические основы обеспечения качества ракетно-космической техники. М.: Машиностроение, 1998.
17. *Альбрехт А. В., Арзуманов Ю. Л., Баталин Н. Н.* Оптимальное управление качеством сборки агрегатов изделий РКТ // Научно-технические разработки КБ «Салют» 2009-2011 гг. Вып. 3. М.: Машиностроение–Полет, 2012.
18. *Кучкин В. Н., Кучкин К. В., Сайдов Г. Г.* Теоретические основы разработки испытательного оборудования для ракетно-космической техники / Под ред. Г. Г. Сайдова. М.: Машиностроение/Машиностроение–Полет, 2014.
19. *Вокин Г. Г., Гуменюк А. М.* Концептуальные основы обеспечения высокой эффективности испытаний элементов перспективных изделий ракетно-космической техники на основе интеллектуализации технологий, измерительных, аппаратно-программных и технических средств наземных испытательных комплексов // Информационно-технологический вестник, 2021, № 2 (28). С. 38–47.