

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАЗРАБОТКУ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрены проблемы новизны, оптимизации затрат и ограниченности ресурсов, возникающие при обеспечении стойкости разрабатываемых и модернизируемых ракетных комплексов к внешним воздействующим факторам. Выполнен обзор апробированных путей их решения и сформулированы новые подходы, используемые при разработке современных комплексов.

Ключевые слова: *внешние воздействующие факторы, поражающие факторы ядерного взрыва, технические решения, обеспечение стойкости, ракетно-космические комплексы, экономическая составляющая, методология решения, экспериментальная отработка.*

В обширном перечне исходных данных, необходимых для проектирования ракетного комплекса (РК), важное место занимают данные по внешним воздействующим факторам (ВВФ), в среде которых будет эксплуатироваться РК на всех этапах своего жизненного цикла. Необходимость обеспечения стойкости к ВВФ определяет не только технический облик комплекса с достигнутым уровнем его новизны и надежности, но и объем затрат на его разработку, изготовление и эксплуатацию. В понятие ВВФ входят все внешние воздействия естественного и техногенного характера, которым может быть подвержен РК в период эксплуатации. Методологический подход к обеспечению стойкости РК, например к совокупности климатических факторов или совокупности поражающих факторов ядерного взрыва (ПФЯВ), не имеет принципиальных отличий. Проблемой для отработки РК к ПФЯВ может стать только процесс моделирования отдельного фактора или их совокупности.

В табл. 1 представлена совокупность ВВФ, воздействующих на космические и боевые ра-

кетные комплексы (КРК и БРК) на всех этапах жизненного цикла [1, 2]. Она включает более 20 факторов естественного (климатического и неклиматического), техногенного, функционального и космического происхождения.

В табл. 2 приведена совокупность еще около 20 факторов внешней среды, воздействующих преимущественно на БРК разного типа базирования и обусловленных воздействием различных типов оружия [4–6]. Исторически путь от одной совокупности ВВФ к другой занял продолжительное время — порядка тридцати лет. Этот период был связан с развитием требований заказчика боевых ракетных комплексов по условиям применения РК, которые динамически развивались в ходе гонки вооружений между СССР и США.

В общем плане схема работ по обеспечению стойкости РК к воздействию ВВФ выглядит следующим образом. Заказчик в техническом задании (ТЗ) на разработку ставит разработчику задачу обеспечить стойкость РК к определенному набору ВВФ. Помимо количественных показателей, характеризующих каждый из факторов, предполагается (уже вне рамок ТЗ) разработка

заказчиком модели воздействия факторов, которая уже качественно и количественно детализирует условия воздействия факторов или их сочетаний на элементы комплекса. Как правило, при переходе от моделей воздействия к расчетным случаям как для ракеты, так и для пусковой установки разработчиком применяется вероятностный подход, поскольку порядок и величина воздействующих факторов носит случайный характер.

В процессе проектирования разработчик предусматривает совокупность технических решений и организационно-технических мер, реализация которых обеспечивает стойкость узлов, составных частей и РК к воздействию ВВФ. На проектном этапе подтверждение стойкости производится, в основном, расчетным путем с фор-

мированием комплексного плана экспериментальной отработки, в том числе, применительно к подтверждению стойкости к ВВФ. В ходе разработки рабочей конструкторской документации (РКД), создания опытных конструкций отдельных узлов и систем РК реализуется значительная часть экспериментальных работ, связанных с подтверждением расчетных характеристик стойкости РК к ВВФ. По их результатам при необходимости вносятся уточнения в РКД, а иногда и в проектные решения. Завершающим этапом подтверждения стойкости к ВВФ для РК в целом являются опытная эксплуатация наземного комплекса и лётно-конструкторские испытания. На каждом из этих этапов разработчику приходится решать проблемы новизны, оптимизации затрат и ограниченности ресурсов.

Таблица 1. Факторы внешней среды, воздействующие на космические и боевые ракетные комплексы [1, 2]

Естественные климатические	Температура
	Приземный ветер
	Высотный ветер
	Атмосферные осадки
	Относительная влажность
	Атмосферное давление
	Солнечное излучение
	Атмосферное электричество
Естественные и техногенные	Атмосферные коррозионные агенты
	Песок, пыль
	Биовредители
	Статическое электричество
	Электромагнитные поля линий электропередач
Функциональные	Компоненты и пары ракетного топлива
	Механические перегрузки
	Вибрационные воздействия
	Тепловые воздействия
	Аэродинамические воздействия
Космические	Газодинамические воздействия
	Электроны и протоны радиационного поля Земли
	Солнечные космические лучи
	Галактические космические лучи

Таблица 2. Факторы внешней среды, воздействующие на боевые ракетные комплексы [4–6]

Поражающие факторы ядерного взрыва	Гамма-излучение
	Нейтронное излучение
	Рентгеновское излучение
	Световое излучение
	Электромагнитный импульс
	Воздушная ударная волна
	Сейсмическое воздействие
	Крупные частицы грунта в атмосфере
	Радиационное загрязнение местности
Оружие на новых физических принципах	Лазерное
	Пучковое
	Кинетическое
Оружие массового поражения	Электромагнитное импульсное оружие
	Химическое
	Бактериологическое
Оружие с обычным снаряжением	Средства дезактивации, дегазации, дезинфекции
	Осколки / пули
	Воздушная ударная волна
	Средства радиоэлектронной борьбы
	Средства преодоления ракетной обороны

Новизна технических решений порождается любым значительным изменением требований к разрабатываемому РК на каждом последующем этапе. Для этого необходимо совершенствование методик оценки стойкости к новым ВВФ, модернизация существующих методик оценки под новые диапазоны изменения ВВФ, подготовка новой или модернизация существующей испытательной базы.

На первом этапе — до середины 1960-х гг. к стратегическим БРК стационарного базирования предъявлялись требования обеспечения стойкости к набору ВВФ из табл. 1. Соответственно базовые технические решения, расчетная и экспериментальная база, применяемые при проектировании таких комплексов и их отработке, были разработаны под совокупность факторов в основном природного происхождения.

На втором этапе — в 1970—1990-х гг. с возникновением требований о необходимости обеспечения стойкости БРК к ПФ ЯВ (табл. 2) в составе исходных данных по ВВФ появилось около десятка новых факторов. В соответствии с новым подходом к ВВФ:

- проведен большой комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ разработчиков по созданию новых методик численного расчета и экспериментального моделирования для обеспечения и подтверждения стойкости БРК и его составных частей к ПФ ЯВ;
- стационарные БРК переместились в шахтные пусковые установки, что обеспечило качественный скачок по повышению уровня их стойкости;
- появились мобильные БРК стратегического назначения, менее уязвимые к ударам вероятного противника;
- в составе ракеты появился комплекс средств преодоления противоракетной обороны на конечном участке траектории;
- созданы высокоэнергетические твердые ракетные топлива, превосходящие мировые образцы;
- разработаны высокопрочные органические и высокомодульные углеродные волокна для корпусов двигателей и сопел ДУ, углеродные композиции с двух- и трехмерной ориентированной матрицей, высокопрочные термостой-

кие клеи, отработаны технология изготовления и методы неразрушающего контроля качества;

- проведены поисковые материаловедческие исследования, положившие основу применения наружных многофункциональных покрытий для ракеты и полезного груза, в конструкциях узлов появились новые металлические и неметаллические материалы;

- разработана новая радиационно стойкая элементная база, крупные интегральные схемы для БЦВМ, схемно-алгоритмическая защита системы управления и многие другие технические решения, обеспечивающие стойкость ракет к ПФЯВ.

Ситуация повторилась с возникновением доктрины «космических войн» и первыми серьезными проработками в США по созданию лазерного, пучкового, кинетического, электромагнитного импульсного оружия космического базирования [5]. Методология решения проблем новизны, созданная, проверенная и внедренная в ходе работ по обеспечению стойкости к ПФ ЯВ, оказалась полностью применимой, востребованной, и в конечном итоге успешной и к новому набору ВВФ.

Переход в независимой безъядерной Украине к новым условиям разработки ракетной техники потребовал расширения международного сотрудничества как с ведущими космическими державами, так и с другими странами, заинтересованными в мирном исследовании космоса. При таком подходе в условиях ограниченного бюджетного финансирования стала возможна коммерческая реализация ракетно-космических проектов.

Сегодня широко известны созданные в ГП «КБ «Южное» ракеты-носители «Зенит» для международных ракетно-космических комплексов «Морской старт», «Наземный старт», семейство РН «Циклон», «Днепр», а также новая совместная с США разработка — ракета «Таурус-П».

Реализация совместных проектов означает применение для новых или модернизируемых комплексов новых мест базирования. В процессе проектно-поисковых работ ГП «КБ «Южное» были рассмотрены существующие космодромы Ванденберг, Флорида, Уоллопс (США), ОТВ

(ЮАР), Алькантара (Бразилия), а также Кейп-Йорк (Австралия), новые космодромы в Индонезии, Малайзии, Нигерии и других странах.

На третьем этапе для разработчиков ракеты-носителя и систем комплекса, базирующихся на новых международных космодромах, основными внешними факторами снова становятся факторы естественного происхождения. Среди них самыми проблемными являются: тропический ливень, высокая концентрация хлоридов в морском воздухе в сочетании с ветрами, а также биовредители. Кроме того, для перевозки ракет и систем наземного комплекса через океан впервые стала рассматриваться морская и авиационная транспортировка. Эти виды транспортировки характерны новой совокупностью нагрузок и вибраций, которые могут стать критичными для ракеты, как тонкостенной конструкции.

На сегодня первостепенной является экономическая составляющая разработки. Оптимизация затрат на реализацию требований к ВВФ имеет два аспекта. Первый вполне объективен и касается корректного определения совокупности ВВФ и диапазонов их изменения, в которых обеспечивается функционирование разрабатываемого РК. Диапазон разбросов любого фактора должен обеспечивать функционирование РК в заданных условиях при минимальных финансовых затратах. Например, введение погодных ограничений на пуск РКН [3]. Низкая стойкость к климатическим факторам усложняет эксплуатацию, повышает вероятность переноса пуска из-за неблагоприятных погодных условий. Обеспечение же высокой стойкости к этим ВВФ резко удорожает создание и изготовление РК. Для выбора оптимальных уровней, задаваемых ВВФ, и обеспечения стойкости разрабатываемого РК используются вероятностные методы. Результаты расчетов (в частности, вероятность преодоления высотной блокировки для БРК или вероятность переноса пуска при неблагоприятных погодных условиях для КРК) учитываются при оценке обобщенного показателя эффективности комплекса.

Второй аспект касается затрат на выбор и разработку технических решений по обеспечению стойкости к ВВФ. Он более субъективен и су-

щественно зависит от предыдущего опыта по созданию РК. Наличие задела по отработанным техническим решениям и организационно-техническим мерам в ряде случаев позволяет существенно снизить затраты и сократить сроки. Примеры — использование для обеспечения стойкости РК к воздействию молнии ранее отработанных технических решений по защите от ЭМИ ЯВ, или использование организационно-технических мер по молниезащите, отработанных на одном КРК, при разработке другого. Таким образом, методология решения проблем обеспечения воздействия к ВВФ апробирована в процессе создания БРК и КРК.

Проблема ограниченности ресурсов на разработку неразрывно связана с технической новизной комплекса. Она обусловлена ограниченностью всех видов ресурсного обеспечения разработки — информационного, материального, финансового, временного, кадрового, которые государство может предоставить для новой ракетно-космической разработки.

Используемая методология решения проблем новизны и оптимизации затрат при обеспечении стойкости РК к ВВФ была отработана и давала хорошие результаты на пике ресурсного обеспечения отрасли во времена СССР. Сегодня в Украине, при радикально изменившемся уровне ресурсного обеспечения, известные и отработанные пути решения проблем в значительной мере неприменимы из-за ограниченности ресурсов. В первую очередь это касается экспериментального подтверждения стойкости к ВВФ, для которого требуется большое количество дорогостоящих опытных конструкций и развитая экспериментальная база. Оптимизация затрат с учетом изменившихся социально-экономических условий в основном сводится к двум направлениям.

Первое — существенное перераспределение нагрузки между расчетными и экспериментальными методами оценки и подтверждения стойкости РК к ВВФ в пользу первых. Этому способствует значительный опыт, накопленный разработчиком за предыдущие десятилетия (с учетом системного аналитического подхода), а также доступность вычислительной техники и

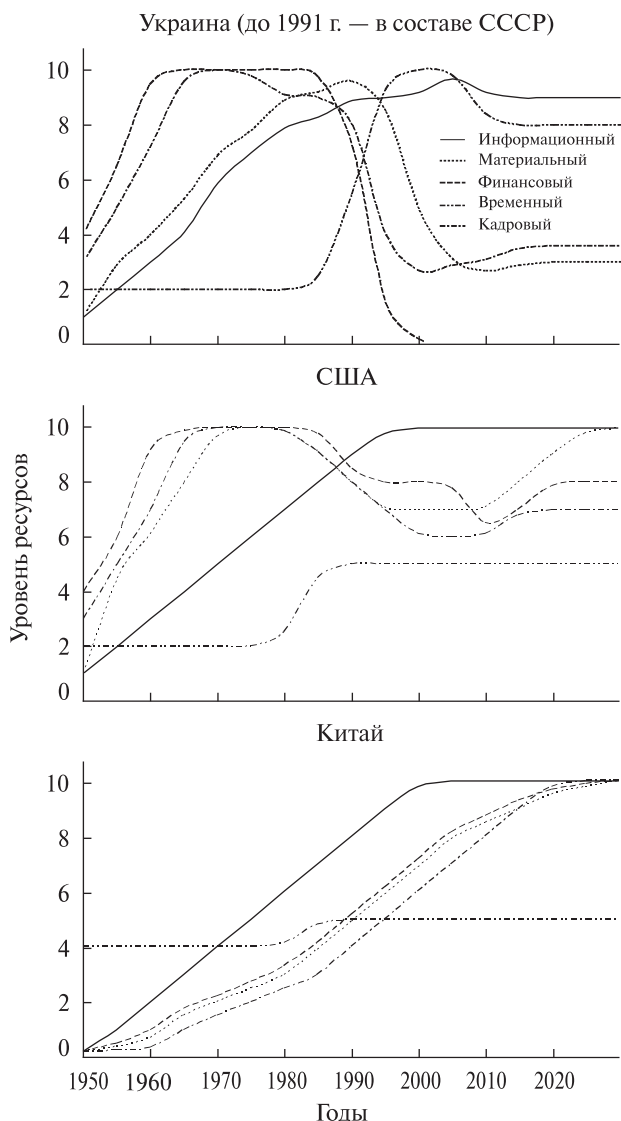
методов численного моделирования, адаптированных к инженерным приложениям.

Второе — экономный подход к использованию опытных конструкций для экспериментальной отработки (вплоть до ремонта после разрушающих испытаний и повторного использования для других экспериментов, когда это допустимо), совмещение некоторых видов испытаний с этапом опытной эксплуатации штатной материальной части, особенно для наземного технологического оборудования.

Рисунок иллюстрирует качественную динамику ресурсного обеспечения для Украины, США и Китая в 1950—2030 гг. (на 2015—2030 гг. — прогноз). Каждая кривая отражает уровень соответствующего ресурса по 10-балльной шкале и построена на основе экспертных оценок. В Украине и США пик ресурсного обеспечения новых разработок уже пройден, а для Китая он наступит в ближайшие 15—20 лет. Количественное значение экспертной оценки по 10-балльной шкале отражает: для информационного ресурса — наличие прошлого опыта, простоту доступа к информации, уровень секретности; для материального — состояние производственной и испытательной базы, ее соответствие современному уровню; для финансового — доля ВВП, выделяемая отрасли; для временного — директивные сроки разработок; для кадрового — квалификационный и количественный уровень персонала, занятого в отрасли.

Системный аналитический подход к оценке влияния ВВФ на технический облик КРК в новых условиях впервые был осуществлен при разработке украинско-бразильского проекта «Циклон-4». При применении в новом КРК 80—90 % конструктивных решений по КРК «Циклон-3», это — модернизированная РКН, а космодром размещается в приэкваториальной зоне в нескольких километрах от берега Атлантического океана. Хотя в целом номенклатура ВВФ (см. табл. 1) по сравнению с Байконуром или Плесецком не изменилась, значительно изменились диапазоны изменения отдельных факторов:

- вместо умеренно холодного определяющим стал тропический влажный тип климата с высокими значениями среднегодовой температуры и



Динамика изменения ресурсного обеспечения для Украины, США и Китая

влажности, ярко выраженными сухим и дождливым сезонами, высоким уровнем осадков;

- в несколько раз увеличилась грозовая активность в месте расположения наземного комплекса;

- близость океанского побережья обусловила повышенное содержание хлоридов (морских солей) в атмосфере;

- впервые появился широкий спектр ранее неизвестных биовредителей;

• впервые появилась морская и воздушная транспортировка с существенно отличными, по сравнению с грунтовой и железнодорожной, уровнями воздействия механических перегрузок и вибраций.

Для обеспечения стойкости КРК «Циклон-4» к указанной совокупности ВВФ на стадии эскизного и технического проектов в условиях ограниченного финансирования был проведен беспрецедентный объем расчетных работ. Для РКН расчетным путем были обеспечены новые температурные режимы, стойкость к тропическому ливню, защита от молнии, прочность с учетом эксплуатационных перегрузок для новых типов транспортировки. Для сокращения объемов экспериментальной отработки максимально использовался опыт, полученный при отработке КРК «Циклон-3».

В части работоспособности технологического оборудования наземного комплекса в течение всего срока эксплуатации в тропическом влажном климате необходимо отметить, что подтверждение эффективности принятых технических решений, касающихся защиты от био-вредителей и агрессивного воздействия хлоридов приморской атмосферы, отложены до этапа опытной эксплуатации, по сути до натурных испытаний штатного оборудования. Возможно, что уже после монтажа наземного оборудования и его ввода в опытную эксплуатацию может потребоваться доработка его отдельных элементов.

ВЫВОДЫ

1. Обеспечение заданной стойкости ракетного комплекса к ВВФ определяет не только его технический облик с достигнутым уровнем новизны и надежности, но и объем затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию.

2. При переходе от моделей воздействия к расчетным случаям как для ракеты, так и для пусковой установки разработчиком должен применяться вероятностный подход, поскольку поряд-

ок и величина воздействующих факторов носит случайный характер.

3. Новизна технических решений порождается любым значительным изменением требований к разрабатываемому РК, для чего необходима разработка новых методик оценки стойкости к новым ВВФ или модернизация имеющихся под новые диапазоны изменения ВВФ, а также подготовка новой или модернизация наличной испытательной базы.

4. Методология оптимизации затрат с учетом изменившихся социально-экономических условий в сегодняшних условиях сводится к двум направлениям. Первое — существенное перераспределение нагрузки между расчетными и экспериментальными методами оценки и подтверждения стойкости РК к ВВФ в пользу первых. Второе — экономный подход к использованию опытных конструкций для экспериментальной отработки, совмещение некоторых видов испытаний с этапом опытной эксплуатации штатной материальной части.

1. *Баллистические ракеты и ракеты-носители* / Под ред. О. М. Алифанова. — М.: Дрофа, 2004. — 512 с.
2. *ГОСТ 15150-69*. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.
3. *Дегтярев А. В., Кашанов А. Э., Пышнев В. Н. и др.* Анализ влияния погодных ограничений на проведение пусков РН «Циклон-4» с космодрома Алкантара: (Техн. отчет). — Днепропетровск: ГП «КБ «Южное», 2009. — 141 с.
4. *Действие ядерного оружия* / Пер. с англ. — М.: Воениздат, 1965. — 680 с.
5. *Космическое оружие: дилемма безопасности* / Под ред. Е. П. Велихова, Р. З. Сагдеева, А. А. Кокошина. — М.: Мир, 1986. — 182 с.
6. *Технические основы эффективности ракетных систем* / Под ред. Е. Б. Волкова. — М.: Машиностроение, 1989. — 256 с.

Стаття надійшла до редакції 09.09.15

О. Е. Кашанов

Державне підприємство «Конструкторське бюро
«Південне» ім. М. К. Янгеля», Дніпропетровськ

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ,
ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗРОБКУ
РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглянуто проблеми новизни, оптимізації витрат і обмеженості ресурсів, які виникають під час забезпечення стійкості до зовнішніх факторів впливу ракетних комплексів, що розроблюються і модернізуються. Описано апробовані шляхи їхнього розв'язання та сформульовані нові підходи, які використовуються при розробці сучасних комплексів.

Ключові слова: зовнішні фактори впливу, уражальні фактори ядерного вибуху, технічні рішення, забезпечення стійкості, ракетно-космічні комплекси, економічна складова, методологія рішення, експериментальне відпрацювання.

O. Ye. Kashanov

Yuzhnoye State Design Office,
Dnipropetrovsk

ASSESSMENT OF THE EFFECT
OF EXPOSURE FACTORS
ON ROCKET SYSTEMS DEVELOPMENT

Problems of novelty, cost optimization and limited resources that arise during assurance of resistance to exposure factors for rocket systems under development and modernization are considered. The proven solutions are described and new approaches for development of modern systems are formulated.

Key words: external environment factors, nuclear-induced factors, technical solutions, provision of resistance, space launch systems, economic component, solution methodology, development testing.