

УДК 629.76/.78.085.4

СОЗДАНИЕ И ПЯТНАДЦАТИЛЕТНИЙ ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «МОРСКОЙ СТАРТ»

© 2014 г. Алиев В.Г., Легостаев В.П., Лопота В.А.

ОАО «Ракетно-космическая корпорация “Энергия” имени С.П. Королёва» (РКК «Энергия»)
Ул. Ленина, 4А, г. Королёв, Московская область, Россия, 141070, e-mail: post@rsce.ru

Рассмотрены преимущества морского базирования ракетно-космического комплекса «Морской старт» (Sea Launch). Приведены назначение и основные характеристики стартовой платформы, сборочно-командного судна, ракеты космического назначения «Зенит-3SL» с разгонным блоком ДМ-SL. Описаны особенности подготовки к старту, действующие на судно нагрузки при старте, действия экипажа после старта, управление пуском ракеты и ее полетом. Приведены результаты коммерческих пусков ракеты космического назначения с 1999 г. по настоящее время.

Ключевые слова: проект «Морской старт» (Sea Launch), ракета космического назначения, стартовая платформа, сборочно-командное судно, разгонный блок ДМ-SL, подготовка к старту, управление пуском и полетом ракеты.

DEVELOPMENT AND FIFTEEN-YEAR OPERATING EXPERIENCE OF SEA LAUNCH ROCKET AND SPACE SYSTEM

Aliev V.G., Legostaev V.P., Lopota V.A.

S.P. Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia)
4A Lenin Street, Korolev, Moscow region, 141070, Russia, e-mail: post@rsce.ru

Consideration is given to advantages of the Sea Launch sea-based integrated launch vehicle. The paper presents the purpose and main performance data of the launch platform, assembly/command ship, Zenit-3SL rocket with DM-SL upper stage. It describes prelaunch processing specifics, lift-off loads applied on the ship, crew actions after launch, rocket launch and flight control. Results of commercial launches of the integrated launch vehicle are provided from 1999 up to the present day.

Key words: Sea Launch project, integrated launch vehicle, launch platform, assembly/command ship, Zenit-3SL rocket, DM-SL upper stage, prelaunch processing, rocket launch and flight control.



АЛИЕВ В.Г.



ЛЕГОСТАЕВ В.П.



ЛОПОТА В.А.

АЛИЕВ Валерий Гейдарович — д-р, профессор, заместитель генерального конструктора РКК «Энергия», e-mail: valery.aliev@rsce.ru

ALIEV Valery Geydarovich — Doctor of Science (Engineering), Professor, Deputy General Designer at RSC Energia

ЛЕГОСТАЕВ Виктор Павлович — академик РАН, первый заместитель генерального конструктора по научной работе РКК «Энергия», e-mail: victor.legostaev@rsce.ru
LEGOSTAEV Victor Pavlovich — RAS academician, First Deputy General Designer in charge of research work at RSC Energia

ЛОПОТА Виталий Александрович — член-корреспондент РАН, президент, генеральный конструктор РКК «Энергия», e-mail: vitaly.lopota@rsce.ru
LOPOTA Vitaly Alexandrovich — RAS Corresponding member, RSC Energia President and General Designer

Более 15 лет назад, 28 марта 1999 г., в 5 ч 30 мин по московскому времени, с экватора в акватории Тихого океана по проекту «Морской старт» стартовала ракета космического назначения (РКН) «Зенит-3SL» [1]. Интерес к проекту «Морской старт» (*Sea Launch*) был связан с оригинальностью решаемых проблем и их сложностью [2].

Идею старта больших ракет с морского судна нельзя назвать новой. Еще С.П. Королев предлагал подобное решение в 1960-х гг. Однако в силу экономических, политических и технических обстоятельств это предложение не было осуществлено.

Новым стимулом к созданию комплекса «Морской старт» послужил распад Советского Союза и отход космодрома Байконур к другому государству. Но выгоды и преимущества старта с океана оказались привлекательными не только для России [3].

Прорыв в технике всегда происходит там, где встречаются вместе, по меньшей мере, две разноплановые технологии или отрасли науки, позволяя сделать следующий шаг в будущее. Так произошло и на этот раз. Четыре компании, не нуждающиеся в рекламе, из четырех стран мира договорились решать проблему морского старта РКН совместно.

Компания Boeing — крупнейшая в США самолетостроительная и космическая компания. В ее активе — самолеты и космическая техника от первых американских ракет и спутников до работ по Международной космической станции (МКС). Основные направления коммерческой деятельности *Boeing*: авиационная, военная и космическая техника, управление информационными системами. В проекте «Морской старт» компания выступила в роли головного интегратора и ответственного за создание и эксплуатацию блока полезного груза, организацию и строительство берегового комплекса в Базовом порту (г. Лонг-Бич, США), а также за проведение маркетинга и взаимодействие с заказчиками.

Открытое акционерное общество РКК «Энергия» им. С.П. Королева (г. Королев, Московская обл.) — ведущее предприятие в России по созданию и эксплуатации ракетно-космиче-

ской техники, создатель первого искусственного спутника Земли, запустивший в космос первого человека. Сегодня — ведущая организация России по созданию и эксплуатации МКС. В проекте «Морской старт» она выступала как головной интегратор ракетного сегмента, в создании которого участвовали более 30 российских и нескольких украинских предприятий. Для упомянутого проекта корпорация разработала и серийно изготавливает разгонный блок ДМ-SL.

Акционерная компания Kvaerner (г. Осло, Норвегия) — крупнейшая в Европе судостроительная компания. Разрабатывает нефтебуровые платформы и технологии судостроения. Ее отделение — **компания Kvaerner Maritime a.s.** — в данном проекте обеспечило создание морского сегмента: модернизацию морской платформы, предназначенной для нефтедобычи, в стартовую платформу (СП) и строительство нового сборочно-командного судна (СКС), а другое отделение — **компания Barber Kvaerner** — осуществляет их эксплуатацию.

Государственное конструкторское бюро «Южное», Производственное объединение «Южмашзавод» (г. Днепропетровск, Украина). Разработчики высокоэффективных баллистических ракет-носителей (РН) «Циклон» и «Зенит», а также космических аппаратов (КА) различного назначения. Именно здесь во времена СССР создавались стратегические ракеты типа СС-18 и СС-24. В проекте «Морской старт» разработали и изготавливают первые две ступени для РКН «Зенит-3SL».

5 мая 1994 г. в г. Лос-Анджелес (США) было подписано соглашение о разработке и создании нового ракетно-космического комплекса «Морской старт» (*Sea Launch*). Руководство России поддержало проект.

Преимущества ракеты космического назначения «Морской старт»

Все элементы комплекса морского базирования подчинены одной задаче: запуску КА на околоземную орбиту из наиболее удобной для этой цели точки поверхности Земли [1]. Поскольку суша составляет всего 29%

поверхности земного шара, то при морском базировании в 2,5 раза расширяется возможность расположения места старта. Мало того, поскольку средства старта подвижные, то космодром может размещаться в любой точке водной поверхности и менять свое положение в зависимости от потребности заказчика. Сегодня в разных странах действует 16 космодромов, но ни один из них не обладает такими возможностями.

Не менее важным фактором является возможность всеазимутального запуска ракеты. Например, из экваториальной зоны Тихого океана (первая намеченная точка старта 154° з.д.) запуск возможен в любом направлении [4]. Следует подчеркнуть, что с большим трудом мы «поднимали» угол наклона орбиты многоразового корабля *Shuttle* до 51° для строительства МКС на высоконаклоненных орбитах. Выше поднять так и не удалось, поэтому станция пролетает сегодня только над южными областями России, со всеми вытекающими последствиями. Естественным ограничением этого оказалось падение первых ступеней РН на территорию США в густонаселенных районах.

В настоящее время забота о падении первых ступеней РКН «Зенит-3SL» ограничивается оповещением о временном запрете захода кораблей в опасную зону. Поскольку РКН «Зенит-3SL» экологически чистая (продукты сгорания, в основном, вода и углекислый газ), отпадает вопрос о загрязнении океана. Меняя расположение точки старта, мы избегаем от проблемы отчуждения земель для падения первых ступеней РН.

Возможность использования приэкваториальной зоны существенно повышает эффективность выведения КА на геостационарную орбиту (ГСО). Эффективность РКН «Зенит-3SL» при запуске с экватора возрастает почти в три раза по сравнению с запуском с космодрома Байконур (Казахстан). Это обусловлено двумя факторами. Во-первых, на экваторе ракета получает линейную скорость от вращения Земли вокруг своей оси в полтора раза большую, чем при запуске с Байконура, расположенного на 46° с.ш. Во-вторых, и это самое главное, при выведении КА на ГСО из Казахстана требуется проведение дополнительных орбитальных маневров для перевода орбиты в плоскость экватора, что приводит к большим энергетическим затратам. Строительство российского космодрома в районе экватора весьма проблематично, так как связано не только с затратами на отчуждение земли, ее аренду, но и с созданием сложной наземной инфраструктуры.

В этом еще одно преимущество проекта «Морской старт». Для эксплуатирующей команды не требуется строить поселки (города-спутники) с детскими садами и школами. Наемная команда может жить на кораблях и сменяться каждые полгода. Вариант использования чужих космодромов возможен, но с большим риском, в силу политических причин.

Состав ракетно-космического комплекса морского базирования (РКК МБ)

В состав РКК МБ принято включать РКН «Зенит-3SL», СП, СКС, береговой комплекс и привлекаемые средства.

С целью обеспечения безопасности экипажа и эксплуатирующей команды было решено использовать два основных морских судна: платформу для старта и корабль для подготовки ракет и управления полетом [1].

Стартовая платформа. Основой для создания стартовой площадки послужила самоходная платформа для добычи нефти, построенная в Японии. Ее назвали «Одиссей». После страшнейшего пожара в Северном море в 1991 г. она была отремонтирована в г. Выборг и долгое время не находила применения. В 1995 г. компания «Морской старт» выкупила это судно. Затем было организовано его переоборудование под СП в г. Ставангер (Норвегия) с последующим возвращением в г. Выборг (рис. 1).



Рис. 1. Стартовая платформа комплекса «Морской старт». Параметры: длина — 133 м; ширина — 67 м; высота — 62 м; водоизмещение — 46 000 т; скорость — 12 узлов

СП представляет собой грандиозное сооружение: 133 м в длину, 67 м в ширину и 62 м в высоту. Ее водоизмещение 46 000 т. Такая мощная конструкция необходима для того, чтобы при запуске ракеты уменьшить амплитуду колебаний платформы. Дизельный двигатель мощностью 12 000 л.с. обеспечивает транзитную скорость платформы 12 узлов.

Конструктивно платформа состоит из двух удлиненных понтонов, десяти колонн, диаметр которых 7...13 м. Снизу колонны скреплены пятью горизонтальными траверсными балками. Дополнительные диагональные балки обеспечивают жесткость созданной конструкции. На колоннах, как на сваях, установлен корпус платформы, включающий в себя главную и верхнюю палубы, стартовую палубу, где находятся стартовый стол, ангар для ракеты, главная рубка для управления движением платформы и вертолетная площадка. Платформа сконструирована таким образом, чтобы выдержать при аварии взрыв РН на верхней палубе. При этом, естественно, на самой верхней палубе после старта РКН мало что может остаться целым.

Жилой блок платформы включает каюты на 68 человек, конференц-зал, комнаты отдыха, камбуз и столовую, склады для провизии. Платформа оснащена спасательными шлюпками, плотами и лодками, системой пожаротушения и безопасности на случай аварийных ситуаций.

СП оборудована всем необходимым для установки РКН «Зенит-3SL» на стартовый стол, обеспечения проверки систем, оборудования ракеты и блока полезного груза перед стартом, заправки ракеты топливом и ее старта. Керосин и жидкий кислород являются основными компонентами топлива для РКН «Зенит-3SL». Два бака для жидкого кислорода обеспечивают в течение длительного времени хранение окислителя при низкой температуре. Несмотря на близкое расположение баков к стартовому столу, они надежно защищены от действия струй работающих ракетных двигателей. Общая вместимость баков составляет 576 т кислорода, что полностью обеспечивает заправку трехступенчатой ракеты, а в случае необходимости — ее повторную заправку.

Два бака для хранения керосина общей емкостью 176 т снабжены специальной системой охлаждения методом барботирования (холодный азот пропускается сквозь массу керосина). Жидкий азот, используемый для охлаждения кислорода, керосина и заправки системы газоснабжения, хранится в емкостях, вмещающих 122 т.

В трюмах платформы установлены 464 баллона, где хранятся при высоком давлении (400 атм) азот, воздух и гелий, обеспечивающие проведение таких технологических операций, как наддув баков окислителя и горючего РКН «Зенит-3SL», зарядка баллонной ракеты азотом, подача азота и воздуха в системы и агрегаты ракетного оборудования на платформе и т. д. Специальные компрессоры обеспечивают заполнение баллонов воздухом и гелием до нужного давления.

Большие площади и объем на платформе занимает система термостатирования ракеты. Эта система обеспечивает температурный режим РКН путем подачи воздуха с заданными температурными параметрами и необходимой чистотой и сухостью.

На платформе установлены современное навигационное оборудование, оснащение для управления перемещением платформы, система связи, в т. ч. со спутниками и СКС, радары и система предотвращения столкновений. Внутренняя система связи и телевидение обеспечивают проведение испытаний систем и подготовку ракеты к старту. Специальная площадка обеспечивает посадку вертолета. Аналогичными системами оборудовано командное судно.

Управление предстартовой подготовкой ракеты автоматизировано и ведется централизованно по специально подготовленным программам из пультовой.

В общей сложности на палубах и в помещениях платформы установлено более тысячи единиц уникального ракетного оборудования массой более 3 000 т.

Сборочно-командное судно. Название этого судна произошло от сути задач, которые на нем решаются. Командное судно было спроектировано и изготовлено заново фирмой *Kvaerner* в г. Глазго (Великобритания).

После того как экипаж покидает платформу, управление подготовкой старта ведется с командного судна с использованием радиолинии.

Для установки ракетного оборудования, так называемого «ракетного сегмента», в 1997 г. корабль прибыл в г. Санкт-Петербург на Канонерский судоремонтный завод, где за пять месяцев трехсменной работы было полностью установлено и проверено оборудование для технической позиции и центра управления полетом (рис. 2) — это более тысячи тонн уникального электронного оборудования [1].



Рис. 2. Сборочно-командное судно. Параметры: длина — 203 м; ширина — 32 м; высота — 40 м; водоизмещение — 30 800 т; скорость — 16 узлов

В трюмах корабля можно одновременно перевозить и хранить до трех ракет. Здесь производится сборка составных частей ракеты, стыковка ракеты с головным обтекателем и полезным грузом, полная техническая проверка всех систем РН и полезного груза: по наземным меркам это так называемая «техническая позиция» (рис. 3).



Рис. 3. В трюме сборочно-командного судна

Далее ракета перевозится на СП, а задачи корабля остаются:

- автоматизированное управление подготовкой ракеты к пуску;
- подача команды на пуск;
- автоматизированное управление полетом;
- сбор, регистрация, автоматизированная обработка и оценка телеметрической информации, получаемой от всех составных частей ракетного комплекса.

Поскольку на СКС могут одновременно находиться до 240 человек, участвующих в работе, надо было подумать об их времяпрепровождении. Поэтому здесь, кроме обычных помещений для работы и размещения оборудования, имеются одно- и двухместные каюты, кафетерий, комнаты отдыха, рестораны, кинотеатр, бассейн, комнаты для переговоров и т. д.

Этому способствуют внушительные размеры корабля: длина 203 м, ширина 32 м, высота (по рубке) 40 м. Водоизмещение СКС — 30 800 т, скорость — до 16 узлов.

Ракета космического назначения «Зенит-3SL». РКН «Зенит-3SL» включает в себя две первые ступени ракеты, разгонный блок ДМ-*SL* и блок полезного груза. Особое внимание при разработке проекта «Морской старт» уделялось его конкурентоспособности. В этой связи в качестве РН была выбрана ракета «Зенит». Она была разработана в 1985 г. в СССР с возможностью полной автоматической подготовки к пуску и предназначалась для беспилотных и пилотируемых полетов. Она же являлась составной частью первой ступени РН «Энергия». Основные комплектующие, такие как система управления и двигатели I ступени, разра-

ботаны в России. Ракета является экологически чистой. Двухступенчатая ракета (рис. 4) массой (в заправленном состоянии) 447 т, длиной 43 м и диаметром 3,9 м может вывести на низкую экваториальную орбиту 24 т полезного груза.



Рис. 4. Ракета «Зенит» (первые две ступени) в трюме сборочно-командного судна

Для вывода КА на ГСО в качестве III ступени был выбран ракетный разгонный блок (РБ) ДМ, в активе которого более двухсот успешных запусков. Этот ракетный блок для выведения на высокие орбиты до 6 т полезного груза обеспечивает многократное включение двигателя, 24-часовую продолжительность полета (при необходимости) и, чтобы не засорять космос, самостоятельный уход с орбиты после завершения работы.

Общий вид ракеты космического назначения, получившей название «Зенит-3SL» (здесь число «три» определяет количество ступеней ракеты, а аббревиатура *SL* — от *Sea Launch*, что в переводе на русский язык означает «Морской старт»), представлен на рис. 5. Поскольку этот комплекс запускается с подвижной стартовой платформы, ее элементы прошли определенную модернизацию с учетом новых условий запуска [5].



Рис. 5. РКН «Зенит-3SL». Параметры: высота — 59 652 м; диаметр ракеты — 3,9 м; диаметр блока полезного груза — 4,150 м; стартовая масса — 472 910 кг; масса БПГ — 8 246 кг

Базовый порт. Недалеко от г. Лос-Анджелес, там, где раньше была военная база США, в порту Лонг Бич размещен так называемый Береговой комплекс. Его задача — хранение элементов ракет, доставленных из России и Украины, разгонных блоков и топлива, доставляемых из России, и блоков полезного груза, доставляемых из США. Здесь проходит заправка СП жидким кислородом, керосином и газами. Отсюда отправляются корабли к месту старта. Сюда же они вернутся после запуска. По установленному сегодня сценарию, собранная с головным блоком и прошедшая «наземные» испытания ракета перегружается из СКС на СП в Базовом порту у пристани (рис. 6).



Рис. 6. Базовый порт

Однако, по первоначальному сценарию это должно было происходить не так. По проекту предполагалась возможность перекладки ракеты в открытом океане для проведения повторного запуска ракеты с другим спутником. Такая возможность послужила основой при выборе варианта СКС–СП. Но фирма *Квэтер* не справилась с этой задачей.

Дополнительные средства. Для получения телеметрической информации о ходе полета ракеты в зоне отсутствия радиовидимости с СКС используется КА связи *TDRSS* [6]. Необходимое оборудование установлено на РКН «Зенит-3SL».

Подготовка к старту

Первый старт был намечен на март 1999 г. [1]. Выйдя из Базового порта, СП с одной ракетой в ангаре и СКС с одной ракетой в трюме направились почти в центр Тихого океана в район о. Рождества.

По прибытии в точку старта платформа принимает полупогруженное положение. Она утапливается на глубину 21,5 м с целью увеличения ее устойчивости и демпфирования

в момент старта. Такое погружение увеличивает приведенный момент инерции платформы и ее массу более чем в два раза. Одновременно это положение платформы позволяет осуществить свободный проход стартовой команды между двумя судами путем соединения их телескопическим мостом.

Для погружения на названную глубину платформа оборудована системой балластировки, включающей в себя емкости, расположенные в понтонах и нижней части колонн. Наполнение морской водой производится через специальные клапаны. Откачивают воду шесть балластных насосов. Система управления процессами наполнения и откачивания воды расположена на главной палубе.

В точке старта оба корабля долгое время стоят рядом (рис. 7). Для синхронизации их взаимного движения управление платформой по курсу и перемещению ее центра масс осуществляется с СКС с использованием командной радиолинии, установленной на обоих кораблях. Такое управление позволяет стартовой команде безопасно перемещаться по телескопическому мосту и предотвращает взаимное соударение кораблей.



Рис. 7. Синхронное плавание сборочно-командного судна и стартовой платформы

После погружения платформы ракету, уложенную в ангаре СП на специальный установщик, готовят к старту. Медленно и аккуратно установщик подводит ракету к стартовому столу, поднимает ее в вертикальное положение и ставит на стартовый стол (рис. 8).

Соединение всех коммуникаций — электрических, жидкостных и газовых — происходит автоматически, без участия человека, по заранее разработанной программе. Автоматически проходит и проверка правильности,

надежности и герметичности соединений. После окончания предварительных работ по подготовке к старту бортовой расчет и экипаж платформы переходит на СКС. Десятки компьютеров включены в процесс управления и проверки бортовых систем ракеты, которой предстоит стартовать, и систем ракетного сегмента, которые обеспечивают заправку ракеты и проверку ее окончательной готовности.



Рис. 8. Поднятие ракеты в вертикальное положение

Дальнейшая подготовка к старту, включая заправку ракеты и сам старт, управляются с СКС по командной радиолинии.

Корабль отходит в безопасную зону, а платформа занимает стартовое положение (рис. 9).



Рис. 9. Стартовое положение платформы (на переднем плане) и сборочно-командного судна

СКС в период завершения подготовки к пуску и самого пуска располагается на расстоянии 5-8 км от платформы. Это расстояние было выбрано по соображениям безопасности и необходимости обеспечить радиоуправление между кораблями. Немаловажное значение имеют сохранение прямой видимости между кораблями и возможность быстро долететь до платформы на вертолете. Диапазон параметров взаимной ориентации СКС и СП выбран на базе следующих четырех факторов:

- направление ветра в районе старта;
- траектория полета;

- зона видимости антенн корабля для слежения за ракетой;
- поле зрения антенн управления и связи между двумя кораблями [1].

При первом пуске РКН «Зенит-3SL» СКС размещался относительно СП в точке 290° по часовой стрелке от направления на север. Это направление не зависит от курса (направления продольной оси) ни СКС, ни СП.

Направление ориентации кормы СП может меняться в пределах $30...80^\circ$ по часовой стрелке от направления на север.

Направление ориентации СКС может изменяться в соответствии с направлением ориентации СП, однако, исходя из условий видимости антенн, угол между продольной осью СКС и направлением полета должен быть более 30° .

Следует отметить, что окончательное положение и ориентация судов в пределах заданных зон определяется за несколько часов до старта.

Платформа в точке старта должна постоянно поддерживать свое местоположение на поверхности океана. Задача точного выведения КА на ГСО, в силу принятой системы прицеливания [7], требует знания изменения положения платформы с погрешностью до 50 м. Для обеспечения такой точности стартовая платформа оборудована радиотехнической системой *GPS* и бескарданной системой управления и стабилизации. В качестве исполнительных органов используются пропеллеры и боковые винты.

При первых пусках система управления платформы работала автономно и не была связана с системой прицеливания, установленной на РКН «Зенит-3SL». В дальнейшем была организована передача данных, полученных от системы *GPS*, в систему управления ракетой для использования дополнительной информации перед запуском. На третьем этапе на борту РКН «Зенит-3SL» устанавливается система связи со спутником для непрерывной (или периодической) коррекции траектории при полете ракеты.

Для удержания плоскости платформы в горизонтальном положении СП снабжена автоматической системой коррекции крена и дифферента. Эта система перекачивает морскую воду из одних колонн в другие, обеспечивая независимую стабилизацию по двум каналам управления. Необходимость такой системы обусловлена предельной статической нагрузкой на ракету (система должна обеспечивать отклонение положения ракеты от вертикали $\leq 1^\circ$) и условиями перемещения установщика (без уклона) при подходе к стартовому столу. Работая непрерывно в процессе подготовки и в

момент старта, эта система перекачивает морскую воду как при возвращении установщика в ангар, так и при заправке ракеты топливом. Естественно, в силу своей инерционности эта система не успевает следить за колебаниями платформы под воздействием набегающих с большой частотой морских волн.

Старт

Типовая схема выведения КА на целевую орбиту следующая. Две первые ступени РКН «Зенит-3SL» с использованием своих двигательных установок выводят КА на промежуточную орбиту. Параметры этой орбиты, например, при выведении КА *Galaxy XIII* такие: высота в апогее $H_a = 185$ км, высота в перигее $H_p = -1\,917$ км. Следует отметить, что если не включить маршевый двигатель (МД) РБ ДМ-SL, то КА упадет на Землю.

РБ ДМ-SL после первого включения МД выводит аппарат вначале на опорную орбиту с параметрами $H_p = 180$ км, $H_a = 8\,353$ км, а затем, при повторном включении МД, на переходную к геостационарной орбиту (ГСО) с параметрами $H_p = 2\,378$ км, $H_a = 35\,834$ км.

Выведение на круговую ГСО возможно двумя способами: либо эту траекторию обеспечивает РБ ДМ-SL, либо, как в случае *Galaxy XIII*, эту операцию выполняет КА, снабженный двигательной установкой и имеющий достаточный запас топлива.

Момент старта (рис. 10), несмотря на кратковременность этого периода, является самым энергетически напряженным моментом по своему воздействию на платформу, и потому требует тщательного рассмотрения и изучения. При старте РН на палубе вблизи стартового стола возникает высокий уровень силового и теплового нагружения элементов конструкции [8].



Рис. 10. Старт ракеты космического назначения «Морской старт»

Это нагружение не должно превышать допустимый уровень, поэтому одной из основных задач при проектировании стартового стола было обеспечение наиболее полного отвода газовых струй двигателей от платформы, что в большой степени достигается в результате применения специального профилированного отражательного экрана, расположенного под опорами стартового стола. Полного отвода газа, с учетом подъема ракеты, естественно, добиться невозможно, поскольку с поднятием ракеты над платформой струи газа начинают растекаться по ее поверхности.

Взаимодействие струй газа с элементами пусковой установки приводит к возникновению сложных газодинамических процессов, различных по механизмам протекания, а также по видам энергии [9].

Прежде всего, струи газа оказывают интенсивное тепловое воздействие на поверхность платформы (как в зонах прямого воздействия, так и в зонах растекания). Тепловое воздействие на поверхность платформы обусловлено конвективными и лучистыми тепловыми потоками от струй двигателей.

Проведенные расчеты теплового воздействия на поверхность сооружений на палубе и на саму палубу показали, что такое воздействие допустимо при использовании недорогих средств защиты. При этом кабели и трубопроводы, проложенные по поверхности палубы, должны быть закрыты кожухами либо покрыты теплоизолирующим материалом.

С целью уменьшения воздействия газовых струй на элементы СП организован специальный алгоритм управления двигателями ракеты. Так, например, (и это не единственное решение) алгоритм управления движением ракеты при высоте подъема $H = 30 \dots 200$ м обеспечивает поворот двигателей в плоскости рыскания, сводя их к оси ракеты, что, естественно, уменьшает площадь СП, на которую воздействуют струи.

Больше всего вопросов возникло (и это справедливо) о колебании платформы в момент запуска ракеты. Кроме веса ракеты, а при подъеме ракеты платформа от него освобождается, на поверхность платформы осуществляется газодинамическое воздействие. Естественно, что при расчетах силового воздействия не забыты силы, вызванные изменением силы Архимеда, эжекцией струй, силы тяжести от подачи воды (для уменьшения акустического воздействия) в струи двигательной установки.

Принятые меры настолько хорошо стабилизируют горизонтальное положение плат-

формы, что момент старта ракеты и ее уход со стартового стола для платформы остаются практически незамеченными. Интенсивное движение платформы в опасном направлении начинается только через 9 с, когда ракета поднимается на 200 м.

Гораздо большее влияние на колебания платформы в момент старта оказывает возмущение набегающих волн [9]. Следует отметить, что в связи с большой разницей в моментах инерции платформы относительно ее осей и (в зависимости от угла рыскания) разными площадями взаимодействия платформы с набегающей волной, волновые воздействия существенно меняются в зависимости от угла рыскания и от периода колебаний набегающей волны.

Анализ совместного движения платформы и ракеты показал, что безударное движение «опасных» точек в момент старта и первые секунды полета обеспечиваются с большим запасом (0,4 м при допуске 1,3 м).

Безусловно, при большом волнении старт не производится. Обычно высота волн в точке старта, которая выбрана сегодня на экваторе (154° з.д.), не превышает 2,0...2,5 м (период набегающей волны 4...17 с). Платформа в этом случае колеблется в пределах $0,4^\circ$.

Кроме учета общего силового воздействия на платформу проведены расчеты максимального давления струй на ее поверхность по мере удаления ракеты. Наиболее характерными местами такого воздействия являются силовые балки, связывающие колонны с пусковым устройством.

Давление на вертикальные поверхности выступающих элементов конструкции на поверхности верхней палубы не превышает 4 кгс/м^2 и по мере удаления от стартового стола уменьшается от 0,1 до $0,01 \text{ кгс/м}^2$ на противоположном конце СП. Так, например, на переднюю вертикальную поверхность ангара воздействуют растекающиеся по поверхности верхней палубы потоки газа с давлением, не превышающим $0,1 \text{ кгс/м}^2$ (суммарная сила не более 20 тс). Однако, следует отметить, что во время первого старта из-за ошибок в креплении ворот ангара они были деформированы потоком газов. После исправления ошибки такого явления не наблюдалось.

Не обойдено вниманием и ударно-волновое давление на поверхность платформы в процессе запуска двигательной установки. В момент запуска на СП приходит со скоростью 340 м/с ударная волна, амплитуда которой, в основном, определяется тягой двигателя, циклограммой его работы и пусковыми характеристиками двигательной установки.

Проведенные исследования не обнаружили серьезного влияния ударной волны (с учетом

ее длительности и амплитуды) на поверхность платформы, тем более, что при включенной системе подачи воды в струи двигательной установки давление, реализуемое на нижней и вертикальных поверхностях СП, уменьшается почти вдвое.

Не приводя расчетных формул и опуская цифры, следует отметить, что акустическое воздействие и пульсация давления на поверхности платформы влекут за собой серьезные последствия для конструкции платформы, хотя не превышают по времени и 5 с.

В помещениях, расположенных в непосредственной близости от стартового стола, установлены дополнительные шумопоглощающие стены и потолки, полы залиты специальной мастикой. Все оборудование установлено на специальных амортизаторах.

Не менее интересная картина возникает при подъеме ракеты на 50...60 м, когда газовая струя воздействует на водную поверхность. На водной поверхности, недалеко от платформы, возникает воронка глубиной $H_w < 2,5 \text{ м}$ и диаметром $D = 10...15 \text{ м}$. При этом волна достигает высоты 1 м. Естественно, что из образовавшейся воронки, в том числе в сторону СП, будет истекать газовый поток, перемешанный с водой. Длительность наиболее интенсивного потока не превышает 1 с при скорости 10...15 м/с. Проведенные исследования и результаты эксплуатации системы показали, что ни понтоны, глубоко погруженные в воду, ни элементы конструкции СП, обращенные к водной поверхности, воздействию этого потока и образовавшейся волны практически не подвергаются.

После старта

В процессе полета РКН вся необходимая телеметрическая информация поступает на СКС. СКС — это центр управления полетом. Путь этой информации различен.

В первые минуты полета осуществляется прямая связь СКС с РН. Для этой цели на борту СКС установлены необходимое электронное и связное оборудование, антенны. Для прямой связи СКС с ракетой используется антенна «Протон». Одновременно с этим информация с РКН «Зенит-3SL» передается через спутник *TDRSS* [6]. При полете над Россией работают российские наземные комплексы управления и, в конечном счете, информация вновь приходит на СКС.

Для дублирования обработки полученной телеметрической информации кроме центра управления полетом на СКС используют подмосковный Центр управления полетом (г. Королев). Аналогичная система для обработки

информации ракеты «Зенит» устанавливается на Украине.

Информация о полезном грузе через спутники связи доставляется непосредственно заказчику.

После старта бортовой расчет экипажа платформы вновь переходит на платформу, и оба судна возвращаются в Базовый порт (рис. 11). Собранный ракетный ступень с очередным полезным грузом перегружается с СКС на платформу. В СКС загружаются следующие ступени ракет и полезный груз. Начинается проверка составных частей ракеты, их интеграция и подготовка к старту. В это время платформа заправляется жидким кислородом и азотом, газами и керосином для следующего старта.



Рис. 11. Фонтанный салют в Базовом порту в честь прибытия стартовой платформы

Сейчас возможен запуск до восьми ракет в год. При перегрузке ракеты с СКС на платформу в открытом океане частота запуска могла бы заметно увеличиться.

Данные по проведенным пускам

Данные по пускам РКН «Зенит-3SL» по состоянию на февраль 2013 г. представлены в приведенной ниже таблице [4]. Для тридцати двух из тридцати пяти пусков целевой орбитой являлась переходная к геостационарной орбита. Параметры промежуточной орбиты входили в число оптимизируемых. Для ряда миссий небольшие резервы топлива использовались для улучшения условий радиовидимости на критических этапах полета.

Пять пусков прошли по одноимпульсной схеме, остальные — по двухимпульсным перигейной или постперигейной.

Наклонение переходной к геостационарной орбите на первых пусках отличалось от нулевого для того, чтобы в полосу разброса фрагментов ракеты космического назначения при аварии не попадали Галапагосские острова, находящиеся на удалении 7 000 км от точки старта вблизи экватора. Затем это огра-

ничение было снято. Для некоторых миссий ненулевое наклонение целевой орбиты задавалось заказчиком пуска для последующего формирования самим космическим аппаратом наклонной геостационарной орбиты.

Данные по пускам РКН «Зенит-3SL»

Миссия	Дата старта	Масса КА, кг
<i>DemoSat</i>	28.03.99	4 500
<i>DiracTV-1R</i>	10.10.99	3 550
<i>ICO</i>	12.03.00	2 709
<i>PAS-9</i>	28.07.00	3 748
<i>Thuraya</i>	21.10.00	5 184
<i>XM Radio 2</i>	19.03.01	4 682
<i>XM Radio 1</i>	09.05.01	4 682
<i>Galaxy IIC</i>	15.06.02	4 850
<i>Thuraya D2</i>	10.06.03	5 212
<i>EchoStar IX</i>	08.08.03	4 737
<i>Galaxy 13</i>	01.10.03	4 090
<i>Estrela do Sul</i>	11.01.04	4 772
<i>Dirac TV-7S</i>	04.05.04	5 565
<i>Telstar-18</i>	29.06.04	4 780
<i>XM-Radio-3</i>	01.03.05	4 731
<i>Spaceway-1</i>	26.04.05	6 080
<i>IntelSat-A8</i>	23.06.05	5 500
<i>InmarSat 4</i>	08.11.05	5 959
<i>EchoStar X</i>	16.02.06	4 335
<i>JCSat-9</i>	12.04.06	4 403
<i>Galaxy-16</i>	17.06.06	4 639
<i>Koreasat-5</i>	22.08.06	4 550
<i>XM Radio-4</i>	30.10.06	5 193
<i>New Skies-8</i>	01.02.07	5 920
<i>Thuraya D3</i>	15.01.08	5 180
<i>DiracTV 11</i>	20.03.08	5 960
<i>Galaxy-18</i>	21.05.08	4 642
<i>EchoStar XI</i>	16.07.08	5 581
<i>Galaxy-19</i>	24.09.08	4 692
<i>Sicral 1B</i>	20.04.09	3 120
<i>Atlantic Bird</i>	24.09.11	4 648
<i>IntelSat19</i>	01.06.12	5 600
<i>IntelSat 21</i>	19.08.12	5 984
<i>EutelSat70B</i>	03.12.12	5 262
<i>IntelSat27</i>	01.02.13	6 241

Заключение

Ракетно-космический комплекс «Морской старт», несомненно, является одним из самых грандиозных проектов XX века, не имеющих аналогов в мировой практике. Он неоднократно обсуждался в ходе работы российско-американской совместной комиссии по экономическому и технологическому сотрудничеству и получил поддержку глав правительств двух государств. Проект включен в российскую федеральную программу.

В США проект объявлен самым выдающимся проектом конца XX века.

С палубы стартовой платформы за прошедшие 15 лет осуществлено 35 запусков (три из них неудачно) космических аппаратов на геостационарную орбиту.

Система «Морской старт», интегрировав лучшие технологические решения России, Украины, США и Норвегии, позволяет получить новое качество в средствах выведения космических аппаратов — подвижной морской стартовый комплекс. Его отличает безопасность эксплуатации, отсутствие персонала на стартовой площадке, экологичность применяемых компонентов топлива и высокая эффективность.

Этот пионерский проект состоялся во многом благодаря коллективным усилиям специалистов РКК «Энергия» и всей российской и международной кооперации.

Огромная роль в создании всего комплекса «Морской старт», безусловно, принадлежит академику Ю.П. Семенову, в то время генеральному конструктору РКК «Энергия» имени С.П. Королева.

Это благодаря его технической эрудиции, упорству и настойчивости были решены многие как технические, так и организационные проблемы. Впервые без финансовой поддержки государства, в партнерстве с американской фирмой *Boeing*, норвежской фирмой *Kværner*, КБ «Южное» и ПО «Южмаш», был создан ракетно-космический комплекс морского базирования, которому нет равных в мировой практике по техническому совершенству и организации работ.

В России на сегодняшний день подготовлены и ждут своего часа новые, более мобильные проекты, обеспечивающие высокую подвижность с уменьшением периодичности

старта и с еще большей автоматизацией и автономностью.

От редакции: 26 мая 2014 г. был успешно произведен очередной, 36-й, пуск ракеты космического назначения с платформы «Морской старт».

Список литературы

1. *Легостаев В.П.* Старт с поверхности океана // Полет. 1999. № 2. С. 3–14.
2. *Легостаев В.П., Семенов Ю.П., Шорин А.Н.* Ракета космического назначения «Морской старт» // Авиапанорама. 1996. № 1.
3. *Legostaev V.P., Semenov U.P.* The Sea Launch-Brilliant Prospects // *Aerospace Journal. March, 1999.*
4. *Верховцева Т.И., Гаврелюк О.П., Заборский С.А., Мовчан А.А., Панчуков А.А., Улыбышев Ю.П., Шibaев А.А.* Баллистика системы «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2013. № 1. С. 16–25.
5. *Филин В.М.* Ракета космического назначения «Зенит-3SL» для программы «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2014. № 2(5). С. 40–48.
6. *Кравец В.Г.* Особенности контроля и управления полетом ракеты космического назначения по программе «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2014. № 2 (5). С. 74–86.
7. *Гаврелюк О.П., Купцова И.В.* Траектория выведения, система управления разгонного блока и точность выведения космического аппарата по программе «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2014. № 2 (5). С. 87–93.
8. *Кузнецов В.К., Петров Н.К.* Выбор условий нагружения ракеты космического назначения «Зенит-3SL» в составе комплекса «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2014. № 2 (5). С. 32–39.
9. *Дядькин А.А.* Аэрогазодинамика ракетно-космического комплекса «Морской старт» // Космическая техника и технологии. 2014. № 2 (5). С. 14–31.

Статья поступила в редакцию 26.03.2014 г.