

Анализ вопросов выбора способа транспортировки перспективных ракет космического назначения на стартовую позицию

09, сентябрь 2014

Бошняк В. А., Языков А. В.

УДК: 629.7.085

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

andr_jaz@rambler.ru

В настоящее время одной из актуальных задач, стоящих перед ракетно-космической отраслью, является формирование конструктивного облика новых ракет космического назначения (РКН) среднего и тяжелого классов, которые в среднесрочной перспективе сменят существующие типы носителей и позволят нашей стране сохранить лидирующие позиции на рынке космических запусков[1].

Важным этапом подготовки РКН к пуску является транспортировка из монтажно-испытательного корпуса (МИКа) технического комплекса (ТК), в котором осуществлялись её сборка, на стартовую позицию, с которой будет осуществляться запуск. Способ транспортировки увязан с принятой технологической схемой сборки ракеты на ТК.

В мировой практике известны три схемы сборки ракет. Первая схема подразумевает сборку РКН в горизонтальном положении на технологическом оборудовании МИКа с последующей транспортировкой на стартовую позицию и приведение в вертикальное положение только при установке на пусковое устройство. К недостаткам такой схемы обычно относят необходимость учёта горизонтальной транспортировки при проектировании конструкции ракеты, что может привести к её переутяжелению. Вторая схема — вертикальная сборка РКН в сборочном корпусе на специальной транспортно-пусковой платформе с последующей транспортировкой на ней к месту старта. Третья схема подразумевает окончательную сборку РКН непосредственно на пусковом устройстве. Такая схема, в большинстве случаев, не позволяет достичь достаточной производительности работ на комплексе [2].

В отечественных комплексах применяется только первая схема сборки РКН, которая позволяет отказаться от высотных монтажно-сборочных корпусов, тяжёлых транспортных платформ и сложных строений пути, характерных для второй схемы.

Исходя из того, что запуски перспективных ракет-носителей будут осуществляться с космодрома "Восточный", а создаваемая на нём в настоящее время инфраструктура для

запуска существующих типов РКН подразумевает создание агрегатов и сооружений для горизонтальной сборки и транспортировки изделий, а также из приведённых выше преимуществ этой схемы, можно сделать вывод, что для перспективных РКН, также будет выбрана схема с горизонтальной сборкой и транспортировкой.

Для анализа выбора способа транспортировки будем рассматривать три варианта РКН среднего и тяжелого классов, рис. 1, табл. 1, которые разрабатывались в 2008-2011 гг. в рамках темы "Русь-М" для использования на космодроме "Восточный" [3,4]. Разрабатываемые в настоящее время перспективные изделия имеют схожие массогабаритные характеристики [1].

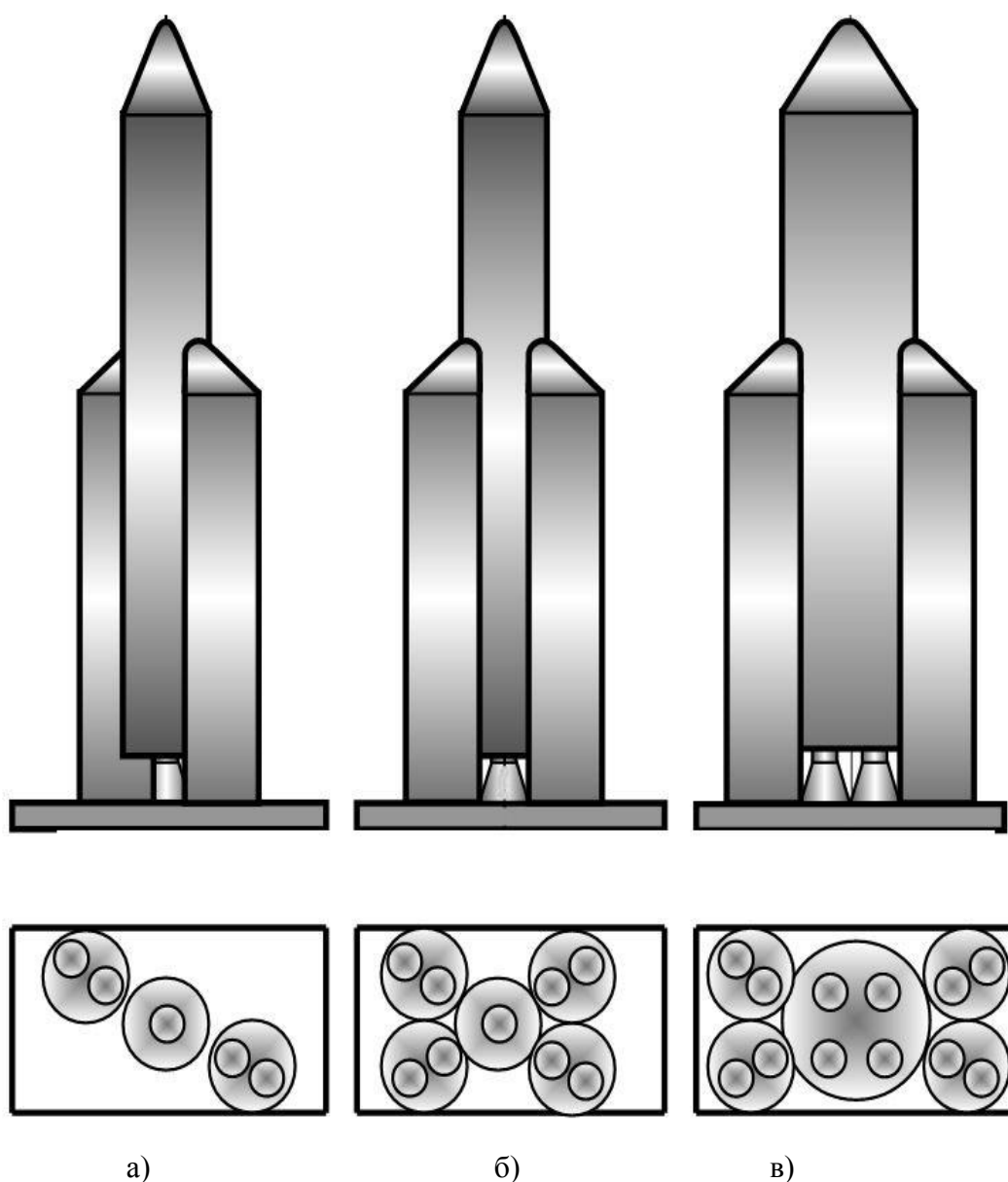


Рис.1 Рассматриваемые варианты перспективных РКН

Таблица 1 Ориентировочные характеристики рассматриваемых перспективных РКН

Класс РКН	Номер варианта/эскиза	«Сухой» вес, т	Длина ракеты, м	Диаметр центрального блока, м	Диаметр УРБ, м
средний	1/1а	120	50	4,0	4,0
тяжелый	2/1б	170	50	4,0	4,0
тяжелый	3/1в	200	50	7,7	4,0

Рассматриваемые РКН снабжены универсальным стартово-стыковочным блоком с размерами 10,5х14,5 м и массой $M_{сб}=45$ т. Принято, что транспортирование РКН среднего и тяжелого класса должно осуществляться единым транспортно-установочным (ТУА), либо транспортным (ТА) агрегатом, легко трансформируемым для работы с каждым типом РКН. В этом случае ТУА(ТА) должен иметь максимальную грузоподъемность $F_{\max \text{ТУА}} > 200$ т. Максимальные значения скорости транспортирования и ветра принимаются равными $V_{\text{тр max}}=3$ км/час, $V_{\text{ветр max}}=10$ м/с соответственно.

Рассмотрение основных параметров ТУА и ТА проводится на основе сравнения с существующими аналогами (например, ТА РКН «Протон» имеет массу $M_{\Sigma} \approx 90$ т). Принимаем значения массы унифицированного агрегата:

$$M_{\text{ТУА}} = 500 \text{ т}; M_{\text{ТА}} = 200 \text{ т}.$$

Выбор транспортирования с помощью автодорожных или железнодорожных средств для РКН среднего и тяжелого классов однозначно приводит к выбору железнодорожной схемы, т.к. для транспортирования РКН тяжелого класса оценка суммарного веса ТУА+РКН дает значение $G_{\text{ТУА+РКН}} \approx 620$ т., что потребовало бы применения шести автодорожных самоходных транспортных модулей, например [5], грузоподъемностью 110 т каждый.

При проектировании ТУА на железнодорожном ходу возникает необходимость выбора ширины колеи рельсового полотна. Ширина колеи железнодорожного пути ТУА(ТА) может быть индивидуального номинала, либо принята по общесетевому стандарту железных дорог РФ — 1520мм [6].

Железнодорожная колея индивидуально подобранной ширины может, теоретически, обеспечить меньшие нагрузки на РН по сравнению со стандартной колеёй при одинаковой скорости движения, что может позволить ТУА(ТА) передвигаться с повышенной скоростью. Однако, такое решение подразумевает разработку оригинальных конструктивных решений как в отношении пути, так и в отношении ходовой части самого ТУА(ТА). Кроме того, такой железнодорожный путь не позволяет передвигаться по нему стандартному железнодорожному подвижному составу, требует увеличенных по сравнению с путём стандартной колеи затрат при строительстве и эксплуатации ввиду наличия в нём большого

числа элементов конструкции, серийно не выпускаемых промышленностью и невозможности применения существующей железнодорожной спецтехники при выполнении работ. Таким образом, применение железнодорожного пути нестандартной ширины нецелесообразно.

Железнодорожный путь стандартной ширины 1520 мм может быть рассчитан по отработанным методикам для необходимой нагрузки на ось колёсной тележки ТУА(ТА) и создан с использованием конструктивных элементов, серийно выпускаемых промышленностью. Укладка и ремонт такого пути могут осуществляться существующими моделями железнодорожной спецтехники. Путь стандартной ширины колеи позволяет передвигаться по нему подвижному составу, предназначенному для эксплуатации на железных дорогах общего назначения и может быть использован с целью подвоза оборудования к СП как во время её строительства, так и при необходимости технического обслуживания в перерывах между пусками. При необходимости, ТУА(ТА) может быть спроектирован для передвижения по двум параллельно проложенным железнодорожным путям. Таким образом, при проектировании пути для ТУА(ТА) целесообразно использовать железнодорожный путь стандартной колеи 1520 мм.

Для выбора одно- или многоколейного варианта железнодорожного транспортирования оценим устойчивость ТУА(ТА) при действии ветровой нагрузки в поперечном направлении. Рассмотрим два вида оценки устойчивости. В первом случае критическим состоянием будем считать равенство или превышение ветрового момента по сравнению с моментом от силы веса системы ТУА-РКН. Во втором расчете оценим критический угол наклона агрегата, при котором возникает возможность его опрокидывания, обусловленного неравномерным проседанием рельсов под тележками при действии бокового ветра.

Принимаем плечо силы веса $h_G = 1520 / 2 = 760$ мм.

Воздействие силы ветра определяется как сумма воздействий на участки, на которые разбита боковая поверхность системы ТУА-РКН. Аэродинамические силы прикладываются в геометрических центрах площади участков. Расчет ветрового воздействия проводится по методике, изложенной в [7], по формулам:

статическая ветровая нагрузка, действующая на j -тый участок

$$P_{cj} = q_p \cdot c_j \cdot k_j \cdot F_j ;$$

где: q - скоростной напор;

c - аэродинамический коэффициент;

k - коэффициент высотности;

F – площадь участка.

динамическая ветровая нагрузка $P_j = P_{cj} \cdot \beta_j$;

где: β_j - коэффициент динамичности.

Результаты расчетов ветровой нагрузки и оценка устойчивости систем ТУА-РКН и ТА-РКН приведены в таблицах табл.2, табл 3 соответственно.

Таблица 2 Ветровая нагрузка и устойчивость при движении системы ТУА-РКН

	Статическая ветровая нагрузка $P_{\Sigma}, \text{т}$	Динамическая ветровая нагрузка $P_{\Sigma}, \text{т}$	Момент от ветровой нагрузки $M_{\Sigma}, \text{т}\cdot\text{м}$	Момент от сил веса $M_G, \text{т}\cdot\text{м}$	Устойчивость
ТУА-РКН №1	4,239	9,833	60,664	471,2	обеспечена
ТУА-РКН №2	4,239	9,833	60,664	509,2	обеспечена
ТУА-РКН №3	4,573	10,609	66,860	532,0	обеспечена

Таблица 3 Ветровая нагрузка и устойчивость при движении системы ТА-РКН

	Статическая ветровая нагрузка $P_{\Sigma}, \text{т}$	Динамическая ветровая нагрузка $P_{\Sigma}, \text{т}$	Момент от ветровой нагрузки $M_{\Sigma}, \text{т}\cdot\text{м}$	Момент от сил веса $M_G, \text{т}\cdot\text{м}$	Устойчивость
ТА-РКН №1	4,239	9,833	53,826	243,2	обеспечена
ТА-РКН №2	4,239	9,833	53,826	281,2	обеспечена
ТА-РКН №3	4,573	10,609	59,246	304,0	обеспечена

Опрокидывание ТУА(ТА) может произойти также от неравномерного проседания рельсов под тележками при действии бокового ветра и других неблагоприятных факторов (рис.1.2).

Критерием устойчивости ТУА(ТА) от опрокидывания является наличие положительной реакции R_1 , т.е. опирание тележек ТУА(ТА) на оба рельса.

Составив уравнение моментов относительно правой опоры, получим:

$$G_{ТУА} \cdot (0,5 \cdot s \cdot \cos(\alpha) - h \cdot \sin(\alpha)) - R_1 \cdot s - F_{\epsilon} \cdot h = 0;$$

$$R_1 \cdot s = G_{ТУА} \cdot (0,5 \cdot s \cdot \cos(\alpha) - h \cdot \sin(\alpha)) - F_{\epsilon} \cdot h;$$

Таким образом, критерий устойчивости от опрокидывания принимает вид :

$$G_{ТУА} \cdot (0,5 \cdot s \cdot \cos(\alpha) - h \cdot \sin(\alpha)) - F_{\epsilon} \cdot h > 0;$$

$$0,5 \cdot s \cdot \cos(\alpha) / h - \sin(\alpha) - F_{\epsilon} / G_{ТУА} > 0.$$

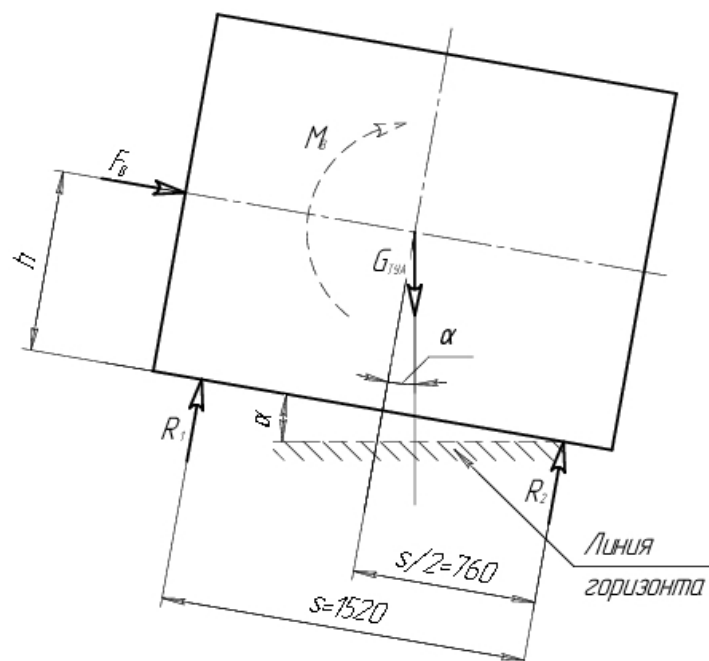


Рис. 2. Схема опрокидывания при действии бокового ветра.

s -ширина колеи; h -высота центра тяжести ТУА(ТА); $G_{ТА}$ -сила веса ТУА(ТА), подсоединяя вес ракеты;

$F_{в}$ -боковая сила, обусловленная ветровой нагрузкой; R_1, R_2 -реакции в опорах ТУА(ТА) (в местах контакта колес и рельсов); α -угол наклона ТУА(ТА), обусловленный неравномерным проседанием рельсов.

Исходя из критерия устойчивости ТУА(ТА) от опрокидывания, предельный угол наклона пути, и соответствующие разницы уровней рельсов составляют величины, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 Предельные характеристики пути

	Предельный угол наклона пути, град	Предельная разница уровней рельсов, м
ТУА-РКН_№1	6,09	0,16
ТУА-РКН_№2	6,15	0,16
ТУА-РКН_№3	6,04	0,16
ТА-РКН_№1	6,15	0,16
ТА-РКН_№2	6,37	0,16
ТА-РКН_№3	6,00	0,16

Таким образом можно сделать вывод о том, что для устойчивого движения всех трех ТУА(ТА) с точки зрения ветрового воздействия достаточно одной стандартной железнодорожной колеи шириной 1520 мм.

Исходя из вышеизложенного, количество колеи железнодорожного пути, количество тележек и осей определяется исключительно принимаемой нагрузкой на ось, расчетом

прохождения кривых участков железнодорожного пути и конструктивными соображениями при проектировании ТУА(ТА).

Важным фактором, влияющим на конструктивный облик транспортного агрегата является допустимая осевая нагрузка на путь. Известны случаи использования на космодорогах специального железнодорожного пути стандартной ширины, позволяющего проезд транспортных агрегатов с осевой нагрузкой до 50 т [2]. Однако такой путь чрезвычайно дорог в строительстве и эксплуатации. Поэтому для рассматриваемых агрегатов была принята нагрузка на ось $Q_{oc} = 25$ т. Эта нагрузка соответствует максимальной осевой нагрузке для стандартной железнодорожной колеи.

При принятой предельной осевой нагрузке, для системы ТУА-РКН число осей $K_{oc} = 700 \text{ т} / 25 \text{ т} = 28$ осей. Такое количество осей с учётом необходимого запаса несущей способности определяет необходимость применения 10 трехосных тележек. В случае одной колеи общая длина 10 тележек составит около 55 м. Применение необходимой в этом случае многоярусной балансирной подвески приведет к увеличению этого размера, а также отрицательно скажется на общей устойчивости агрегата. Таким образом, для системы ТУА-РКН очевидна необходимость принятия двухколейной схемы.

Исходя из обеспечения возможности параллельного прохождения по путям однопутного подвижного состава и применения стандартных элементов верхнего строения пути, расстояние между осями путей на прямых участках следует принять равным 4,1 м. В этом случае, в качестве тяговых средств можно использовать параллельно передвигающиеся по двум путям тепловозы. Примерный вид колёсной схемы системы ТУА-РКН показан на рис. 3



Рис.3. Схема расположения колёсных тележек системы ТУА-РКН

Для системы ТА-РКН количество осей определится соотношением: $K_{oc} = 400 \text{ т} / 25 \text{ т} = 16$ осей, что определяет использование 4-х трёхосных и 2-х двухосных тележек. При этом, как и в случае с системой ТУА-РКН желательно применение двухколейного пути. Примерный вид колёсной схемы системы ТА-РКН показан на рис. 4.

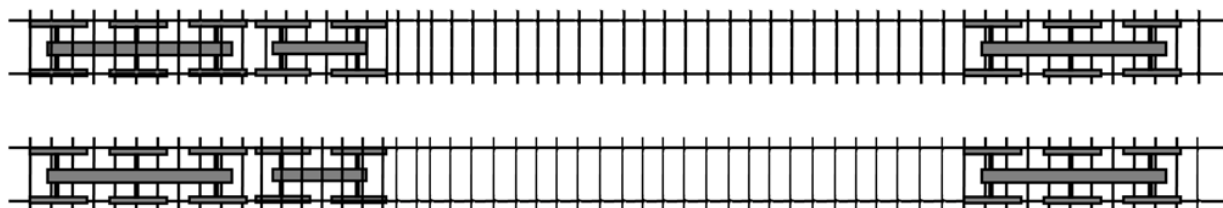


Рис.4. Схема расположения колёсных тележек системы ТА-РКН

Таким образом, исходя из вышеприведённых рассуждений, можно сказать, что для транспортировки рассмотренных изделий из МИКа на стартовую позицию наиболее рационально использовать ТА или ТУА на железнодорожном двухколейном ходу стандартной ширины колеи.

Список литературы

1. И. Афанасьев / "Союзы" новые и старые. Интервью с Д.А. Барановым, "Новости космонавтики", 2013г., №10, с.54
2. Инженерное пособие «Технические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники». Книга 1. ред. И.В. Бармина –М., Полиграфика РПК, 2005-412с.
3. И. Афанасьев, Д. Воронцов / Ракетные новинки МАКС-2009, "Новости космонавтики", 2009г., №11, с.54
4. И. Афанасьев, Д. Воронцов / Восточный: перезагрузка, "Новости космонавтики", 2012г., №2, с.48
5. Самоходный транспортный модуль для тяжеловесных грузов (модульное транспортное средство SPMT), <http://ru.puronas.lt/powermax.html> (дата обращения: 09.11.2014г.)
6. Железнодорожный путь / Т.Г. Яковлева (ред.), Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов, Н.Н. Путря, М.П. Смирнов, М: Транспорт, 1999г.
7. ОСТ 92-9249-80. Агрегаты специального назначения. Ветровая нагрузка. М., 1980. 67 с.
8. Инженерное пособие «Технические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники». Книга 2. ред. И.В. Бармина –М., Полиграфика РПК, 2006-376с.