

11, ноябрь 2015

УДК 629.7.08

Анализ возможностей перевозки перспективных ракет космического назначения сверхтяжелого класса внутри закрытой башни обслуживания

*Мерзликина А.Ю., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Стартовые ракетные комплексы»*

*Научный руководитель: Игрицкий В.А., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Стартовые ракетные комплексы»*

sm8@sm8.bmstu.ru

1. Введение

В соответствии с Основными положениями основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу на космодроме "Восточный" до 2030 года планируется создание объектов подготовки, пуска и межполетного обслуживания ракет сверхтяжелого класса[1].

Традиционно в России транспортировка сверхтяжелых ракет космического назначения (РКН) осуществляется в горизонтальном положении, а в США- в вертикальном [2]. Преимущество вертикальной транспортировки заключается в том, что не нужно кантовать РКН в вертикальное положение, а так же не требуется рассчитывать РКН и космический аппарат (КА) на перевозку в горизонтальном положении, что позволяет уменьшить массу конструкции РКН и КА. При этом для ракет легкого, среднего и тяжелого класса удобство эксплуатации делает более выгодной горизонтальную сборку и транспортировку. Однако, для ракет сверхтяжелого класса преимущества горизонтальной сборки теряются из-за их больших поперечных размеров, вследствие чего их, по-видимому, рациональнее перевозить в вертикальном положении.

В настоящее время одним из самых современных подходов к обслуживанию ракет являются закрытые башни обслуживания. В отличие от открытых площадок, они защищают ракету от погодных воздействий, обеспечивают наиболее комфортные условия труда для рабочих [3].

В данной работе рассматривается возможность транспортировки сверхтяжелой ракеты в сборе со стартовым столом, кабель-заправочной башней и башней обслуживания, рассчитывается ветровая нагрузка на ракету (при транспортировке без башни) и анализируется возможность транспортировки ракеты в сборе со стартовым столом, КЗБ и мобильной башней обслуживания (МБО) в местах нынешнего расположения космодромов и перспективных местах их расположения.

2. Анализ преимуществ и недостатков перевозки перспективных РКН сверхтяжелого класса внутри закрытой МБО

Преимуществами перевозки перспективных РКН сверхтяжелого класса внутри закрытой МБО являются:

1. Практически все сборочно-стыковочные операции переносятся со стартовой на техническую позицию, при этом общее количество таких операций и количество используемого оборудования заметно сократится за счёт исключения повторных подключений оборудования, установки площадок и т. д., поскольку оборудование МБО может быть присоединено к ракете еще на технической позиции.

2. РКН и космический аппарат будут в значительно меньшей степени подвержены влиянию окружающей среды, в частности, будет полностью исключена возможность воздействия предельного ветра на перевозимую РКН.

3. Шасси и дорогостоящие гидроприводы установки стартового стола могут быть полностью размещены на МБО и отводиться перед пуском ракеты в целях защиты от аварийных ситуаций.

4. Для отвода башни обслуживания перед запуском при этом не требуется строить дополнительные пути.

5. МБО и её оборудование может эксплуатироваться в основном на более оснащённой технической позиции, а не в районе пусковой установки.

Недостатками такого подхода являются:

1. Более сложная конструкция МБО;

2. Повышенная нагрузка на спецпуть;

3. Необходимость транспортировки МБО на большие расстояния, что накладывает;

4. ограничения на уклоны пути и ведет к дополнительным вибрационным нагрузкам на расположенное в башне оборудование.

3. Варианты транспортировки РКН на стартовом столе с помощью МБО

Все опубликованные варианты перспективных отечественных сверхтяжелых ракет предусматривают размещение полезной нагрузки сверху [4]. Поскольку после отвода МБО перед пуском для космической головной части необходимо обеспечивать подключение к контрольно-проверочной аппаратуре и системе термостатирования, а так же подключение баков жидкого водорода к дренажным магистралям, помимо башни обслуживания необходимо иметь кабель-заправочную мачту, остающуюся рядом с РКН вплоть до момента запуска.

Сборка ракеты может осуществляться внутри здания вертикальной сборки (ЗВС) (рис.1а) или в МБО, пристыкованной к зданию вертикальной сборки (рис. 1б).

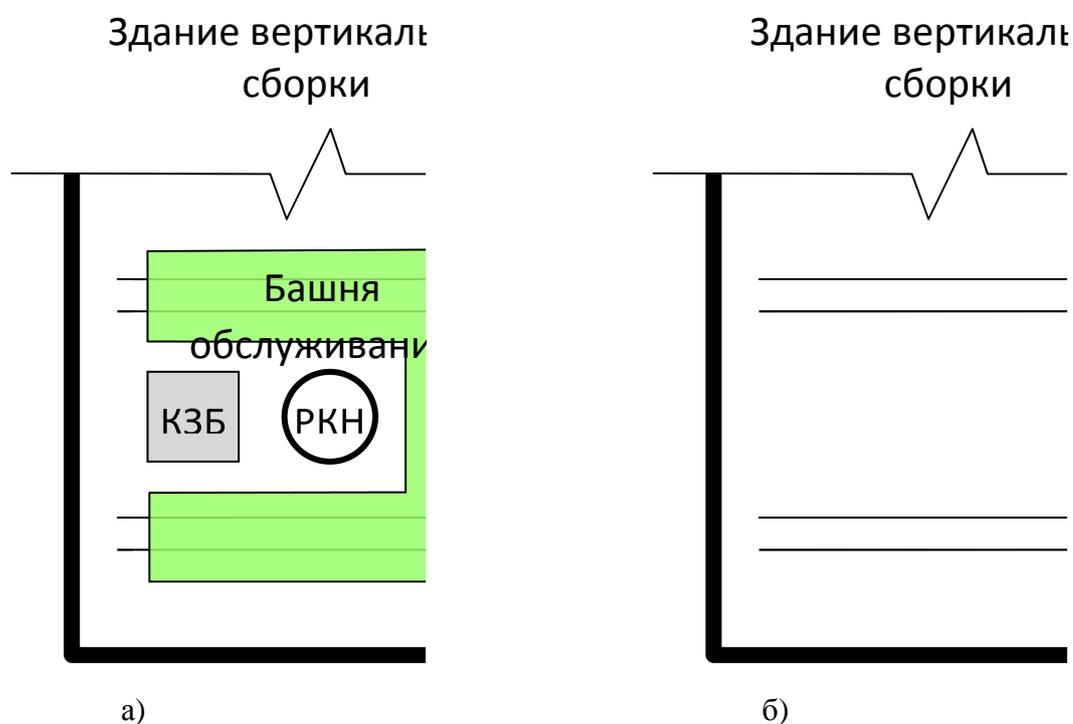


Рис. 1. Технология сборки ракеты: а - внутри ЗВС; б - в МБО, пристыкованной к ЗВС

4. Анализ технологии работ

Технология работ при перевозке перспективных РКН сверхтяжелого класса внутри закрытой МБО может выполняться в двух вариантах: когда ракета собирается внутри здания вертикальной сборки и лишь затем перевозится внутри МБО (рис. 1а), либо когда ракета собирается сразу внутри МБО (рис. 1б), пристыкованной к ЗВС.

В случае сборки ракеты внутри ЗВС технология её перевозки должна предусматривать следующие основные операции:

1. МБО наезжает на стартовый стол с РКН внутри ЗВС.
2. Стартовый стол с РКН вывешивается с помощью механизмов на шасси МБО.
3. Стартовый стол с РКН транспортируется внутри МБО с ТП на СП.
4. Стартовый стол с РКН устанавливается на СП.
5. МБО отводится от СП при перед заправкой РКН.

В случае же сборки РКН непосредственно внутри МБО, как показано на рис 1б, операции 1 и 2 могут отсутствовать. Анализ схем выполнения этих операций (рис. 2), показал, что такая последовательность работ при традиционной конструктивной схеме СК с одним газоходом требует возможности загрузки и выгрузки стартового стола с РКН с противоположных сторон МБО.

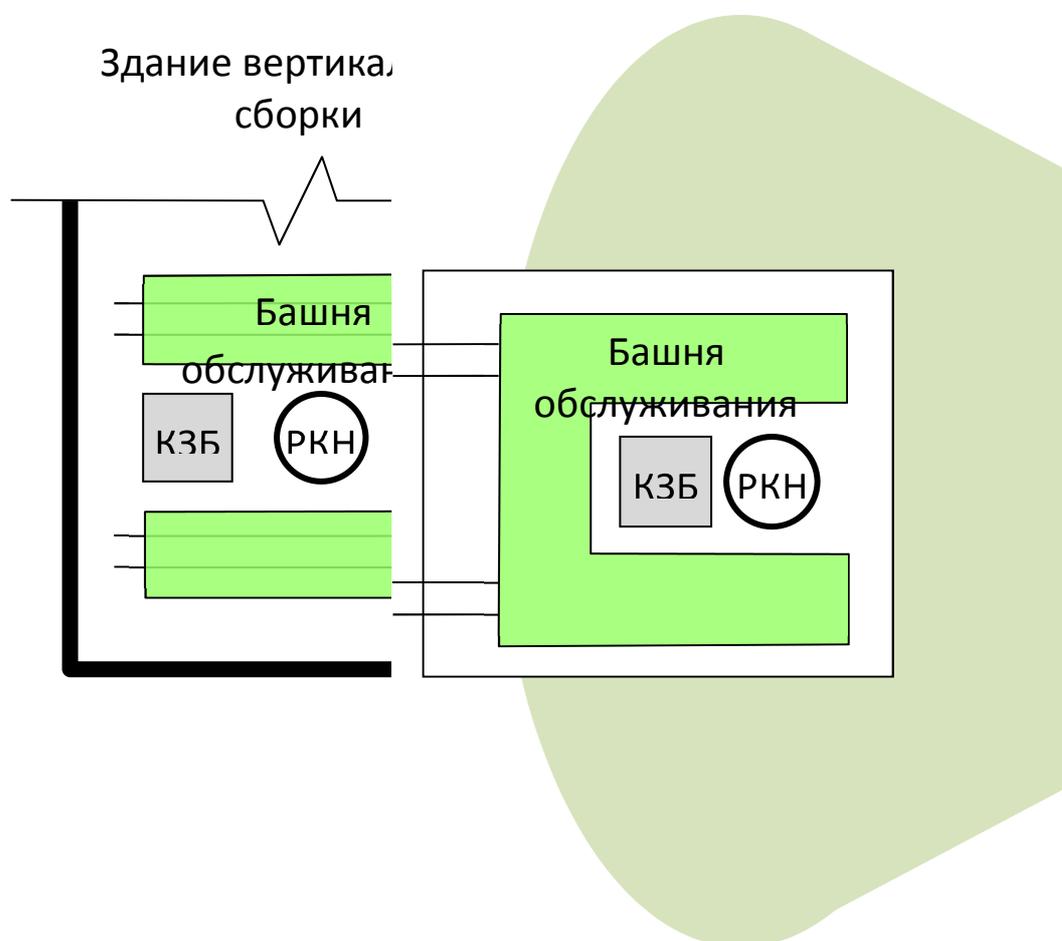


Рис. 2. Операции загрузки и выгрузки стартового стола из МБО, требующие наличия проемов с разных сторон МБО: а) операция загрузки стартового стола в МБО; б) операция выгрузки стартового стола из МБО

Это требование может быть выполнено следующими способами:

- МБО может иметь проемы с воротами для загрузки и выгрузки стартового стола с РКН с обеих сторон.
- Спецпуть для движения МБО может иметь тупик со стрелкой или поворотный круг для разворота МБО по пути с ТП на СП.
- ЗВС может иметь сквозной проезд для МБО, которая должна быть заранее размещена на противоположной от СП стороне ЗВС.
- СП может иметь сквозной проезд для МБО, служащий для ее отвода перед пуском в противоположную от СП сторону.

В силу больших затрат на капитальное строительство в других вариантах наиболее рациональным представляется вариант использования МБО с проёмами и воротами с обеих сторон (рис. 3).

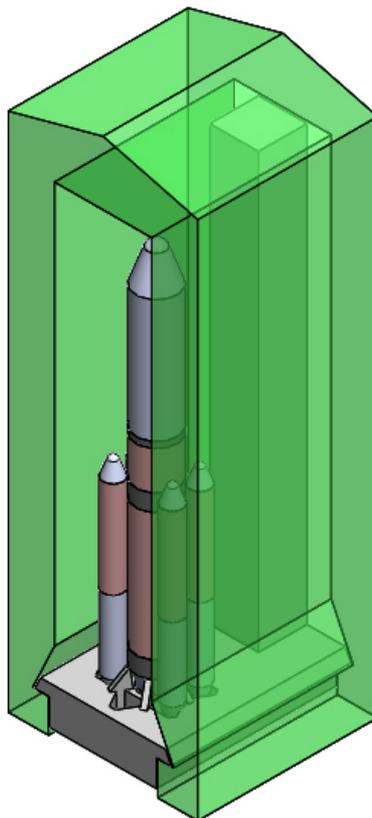


Рис. 3. 3D-модель перспективной РКН сверхтяжелого класса второго этапа по предложению РКК «Энергия», для которой разработаны 3D-модели пускового стола с КЗБ и МБО с воротами с двух сторон [5]

После выведения ракеты с МБО и зданием вертикальной сборки на стартовую позицию, МБО, КЗБ и здание вертикальной сборки отъезжают непосредственно перед стартом, оставляя только ракету.

5. Расчет ветровой нагрузки на стоящую вертикально РКН

Высота РКН равна 80м. Мысленно разрежем ракету на участки, высота которых не превышает 10м. Т.к. ракета находится на стартовом столе, считаем, что она приподнята над землей на 10м. Составим расчетную схему(см. рис 4). (Слева- модель ракеты, посередине - расчетная схема, справа - сечения верхней и нижней части РКН, стрелкой указано направление ветра).

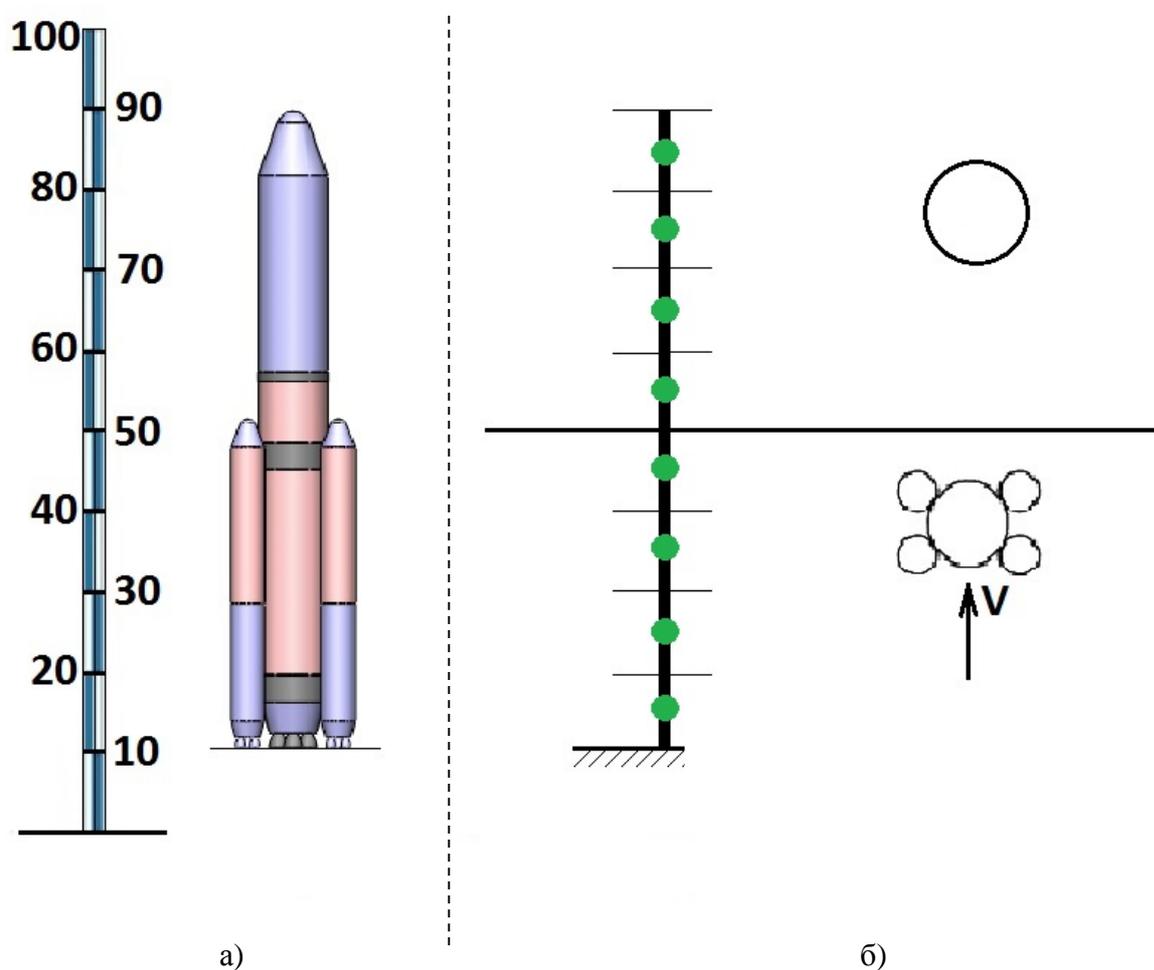


Рис.4.К расчету РКН на прочность: а - конструкционная схема ракеты; б - расчетная схема ракеты

На центр давления каждого из участков приходится сила

$$P_j = P_{cj} \times K_D,$$

где P_j – полная ветровая нагрузка, P_{cj} – статическая нагрузка на j -й участок конструкции, K_D – коэффициент динамичности.

$$P_{cj} = q_p \times K_j \times C_j \times F_j,$$

где q_p – расчетный скоростной напор ветра, принимаемый в зависимости от типа ветрового воздействия, K_j – коэффициент увеличения скоростного напора ветра по высоте, C_j – аэродинамический коэффициент, зависящий от формы обтекаемого тела, F_j – расчетная наветренная площадь.

Аэродинамический коэффициент рассчитывается в соответствии с ветровым стандартом [6]. Коэффициент увеличения скоростного напора ветра зависит от типа местности (в работе принят тип местности "Равнина"), значения коэффициента увеличения скоростного напора для промежуточных уровней находились линейной интерполяцией значений, приведенных в таблице в ветровом стандарте. Расчетная наветренная площадь – площадь проекции элемента конструкции на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку. Коэффициент динамичности в первом приближении принят равным 2.

На рис.5 приведены графики зависимости рабочей ветровой нагрузки от скорости ветра для температуры 233К (-30 °С) и для температуры 303К (40 °С), а так же график предельной ветровой нагрузки.

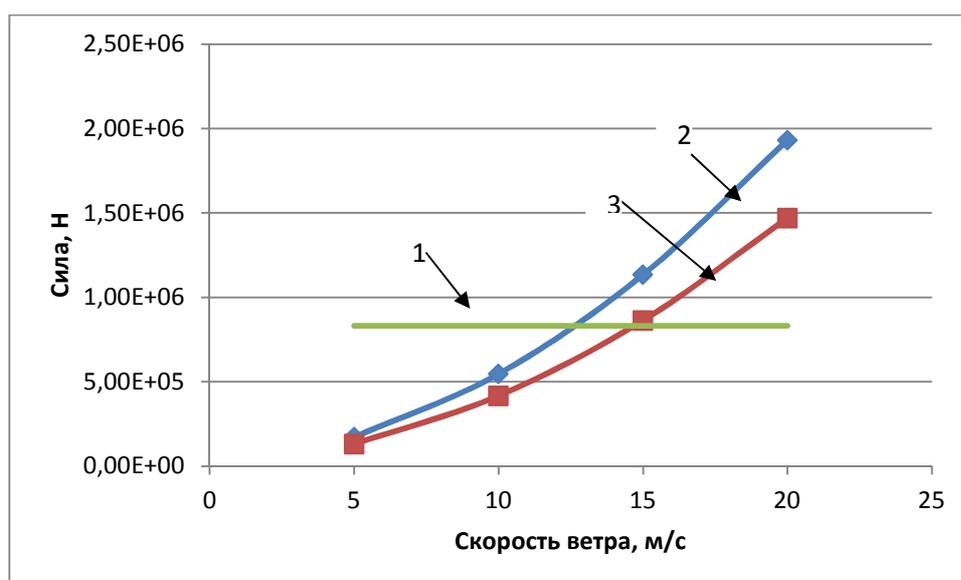


Рис. 5. График зависимости рабочей ветровой нагрузки от скорости ветра на космодроме "Восточный»: 1- график предельной ветровой нагрузки; 2- график зависимости рабочей ветровой нагрузки от скорости ветра для температуры 233К (-30 °С);

3- график зависимости рабочей ветровой нагрузки от скорости ветра для температуры 303 К (40 °С)

На рис. 6 приведены графики зависимости моментов от скорости ветра для различных вариантов размещения стартового комплекса.

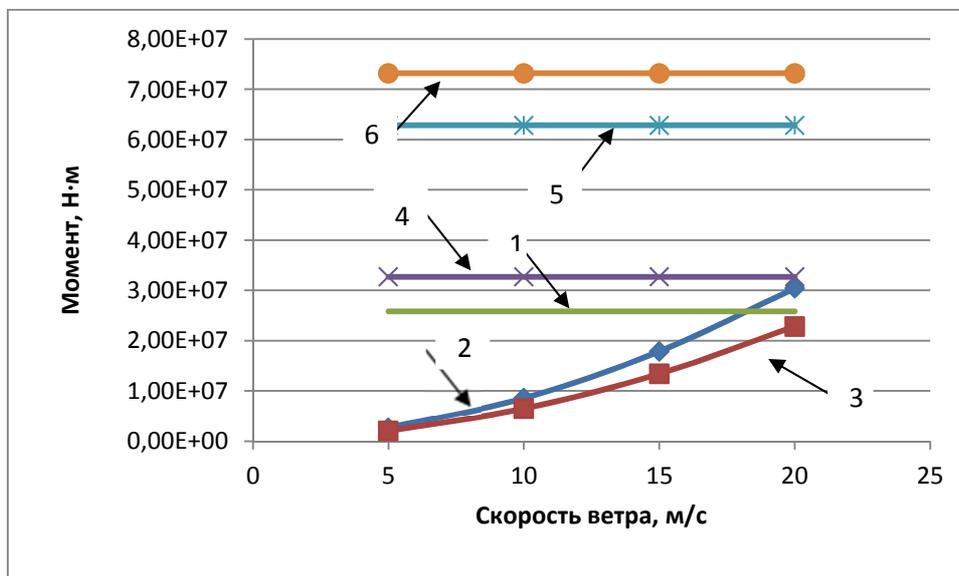


Рис. 6. График зависимости ветрового момента от скорости ветра для различных вариантов размещения стартового комплекса: 1 - график зависимости момента рабочей ветровой нагрузки при 303 К (40 °С) для космодрома "Восточный"; 2 - график зависимости момента рабочей ветровой нагрузки при 233 К (-30 °С) для космодрома "Восточный"; 3 - график момента предельной ветровой нагрузки для космодрома "Восточный"; 4 - график момента предельной ветровой нагрузки для космодрома "Байконур"; 5 - график момента предельной ветровой нагрузки на вертикально перевозимую РКН со скоростью 5 м/с в районе Советской гавани; 6 - график момента предельной ветровой нагрузки на вертикально перевозимую РКН со скоростью 5 м/с в районе Курильских островов

6. Выводы

1. Проанализированы преимущества перевозки перспективных РКН сверхтяжелого класса внутри закрытой МБО.
2. Проведен анализ конструкций перспективных РКН сверхтяжелого класса, на основании которого показано, что перевозка ракеты в вертикальном положении, должна проводиться вместе с кабель-заправочной башней (КЗБ).

3. Проанализирована технология транспортировки ракеты вместе с башней обслуживания. Показано, что в этом случае требуется либо применение стрелки на спецпути, либо сквозного проезда через здание вертикальной сборки или пусковую установку, либо использование башни обслуживания с воротами с двух сторон.

4. Построена 3D модель перспективной РКН сверхтяжелого класса второго этапа по предложению РКК «Энергия», для которой разработаны 3D модели пускового стола с КЗБ и башни обслуживания с воротами с двух сторон.

5. Рассчитана рабочая и предельная ветровая нагрузка на РКН при ее вертикальной транспортировке.

6. Построены графики зависимости силы от скорости ветра и момента от скорости ветра, а так же график предельных нагрузок для различных существующих космодромов и мест их перспективного расположения. Показано, что перевозка ракеты внутри башни обслуживания позволит существенно снизить нагрузку на места крепления ракеты, особенно в случае расположения космического ракетного комплекса в прибрежном районе или на плавучем космодроме.

Список литературы

1. Основные положения основ государственной политики Российской Федерации в области космической деятельности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу, утвержденные Президентом Российской Федерации от 19 апреля 2013 г. № Пр-906. Режим доступа: http://federalspace.ru/media/files/docs/3/osnovi_do_2030.doc (дата обращения 03.05.2015).
2. Crawler-Transporter // NASA Facts. Available at: http://www.nasa.gov/centers/kennedy/pdf/638823main_crawler-transporter.pdf, accessed 25.05.2015.
3. Космодром «Восточный». Год до старта. Режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=2213212> (дата обращения 20.05.2015).
4. Данилюк А.Ю., Ключников В.Ю., Кузнецов И.И., Осадченко А.С. Создание сверхтяжелых ракет-носителей для исследования и освоения Луны и Марса: прошлое, настоящее и будущее // Вестник НПО им. Лавочкина. 2014. № 2(23). С. 128-136.
5. Ракета-носитель сверхтяжелого класса. Режим доступа: <http://kosmolenta.com/index.php/new-tech/superheavy> (дата обращения 6.05.2015).
6. ОСТ 92-81. Агрегаты специального назначения. Нагрузка ветровая. Методика расчета. Введ. 1981-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1981. 53 с.

