

УДК 389.17:006

© Полянский В.И., Чертов Е.А., Сова А.Н., Сизанов А.В.  
Polyanskiy V., Chertov E., Sova A., Sizanov A.

## НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ СВЕРХТЯЖЕЛОГО КЛАССА С УЧЕТОМ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ И АНАЛИЗА НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ

### SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS OF THE SAFETY ASSESSMENT OF TERRESTRIAL SYSTEMS FOR ROCKETS SUPERHEAVY CLASS BASED ON THE RESULTS OPERATING AND ANALYZING ABNORMAL SITUATIONS

**Аннотация.** В статье проведен анализ возникновения нештатных ситуаций на наземных комплексах, намечены пути дальнейшего развития ракетно-космических комплексов в области безопасности, а также предложен научно-методический аппарат оценки безопасности.

Работа выполнена на средства гранта Президента РФ государственной поддержки молодых российских ученых МД-7570.2013.10.

**Annotation.** The article analyzes of contingency situation on ground complexes, the ways of further development of space-rocket complexes in security as well as the technique of the safety assessment.

Work performed under the grant of the President of the Russian state support of young Russian scientists MD-7570.2013.10.

**Ключевые слова.** Безопасность, риск, нештатная ситуация, несчастный случай, авария, катастрофа.

**Key words.** Safety, risk, abnormal situation, accident, emergency, catastrophe.

Создание объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» целесообразно выполнить с учетом результатов анализа эксплуатации аналогичных объектов космодромов «Байконур» и «Плесецк».

Особое внимание в данной статье уделено анализу нештатных ситуаций, произошедших на стартовых и технических комплексах ракет и космических аппаратов.

Повышается значимость обеспечения необходимых уровней безопасности вновь создаваемых объектов космодромов и космических ракетных комплексов.

Однако следует отметить, что методы создания объ-

ектов наземной космической инфраструктуры не в полной мере учитывают влияние объемно-планировочных решений, территориального размещения и защищенности объектов на безопасность наземных комплексов ракет-носителей сверхтяжелого класса. Безопасность является одной из наиболее социально-значимых характеристик деятельности производств, связанных с риском нанесения вреда людям, материальным ценностям, природе в ходе выполнения общественно полезных работ. Вышеизложенное обусловлено необходимостью тщательного изучения условий возникновения такого вреда, разработ-

Полянский Владимир Иванович – доктор технических наук, генеральный директор, ОАО «Корпорация «Стратегические пункты управления–Центральное конструкторское бюро тяжелого машиностроения»;

Чертов Евгений Александрович – инженер-конструктор 1-й категории ОАО «Корпорация «Стратегические пункты управления–Центральное конструкторское бюро тяжелого машиностроения»;

Сова Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортные установки», МАДИ;

Сизанов Александр Владимирович – кандидат технических наук, заместитель директора и главного конструктора филиала по технической политике и качеству, ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры»–Конструкторское бюро «Мотор», тел. 8(495)543-36-76.

Polyanskiy Vladimir – doctor of technical sciences, the general director, PJSC «Corporation «Strategic points of control–Central design office of heavy mechanical engineering»;

Chertov Evgeniy – design engineer first category, PJSC «Corporation «Strategic points of control–Central design office of heavy mechanical engineering»;

Sova Alexander – doctor of technical sciences, the professor managing chair «Transport installations», MADI;

Sizanov Alexander – candidate of technical sciences, deputy director and design manager, Branch of the Federal state unitary enterprise «Center of operation of objects of a land space infrastructure»–Design office «Motor» by engineering policy and quality, tel. 8(495)543-36-76.

ки и реализации мер по его минимизации. Поэтому разработка предлагаемого научно-методического аппарата оценки безопасности является актуальной задачей.

Под безопасностью наземного комплекса ракет космического назначения сверхтяжелого класса понимается свойство наземного комплекса, характеризующее его способность не наносить ущерб самому себе и окружающей среде, превышающий допустимые величины.

В основу количественной оценки уровня безопасности (см. рис.1) положено главное условие обеспечения безопасности: отсутствие нештатной ситуации в процессе проведения эксплуатационного процесса или выход из данной ситуации в случае её возникновения.

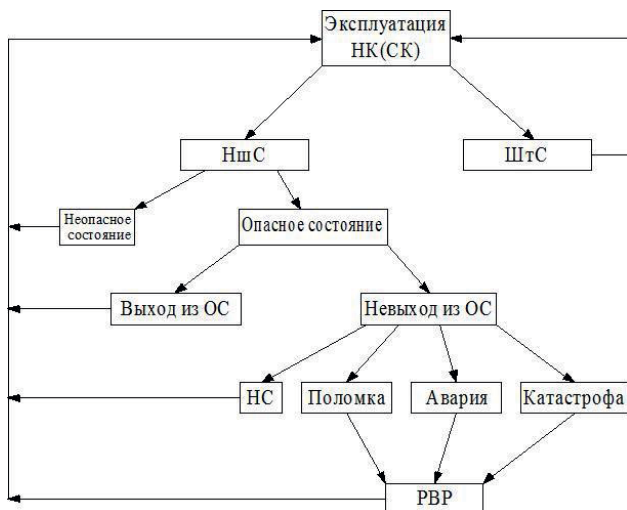


Рис. 1. Структурная схема возможных состояний возникновения нештатных ситуаций

Состояние наземного комплекса (НК) или его функционирование, а также его составных частей (например, стартового комплекса (СК) и привлекаемых технических средств, не предусмотренное программой их штатного функционирования, называется нештатной ситуацией. В случае возникновения на наземном комплексе нештатной ситуации она может иметь два состояния: неопасное или опасное.

Устранение неопасного состояния обеспечивается личным составом расчета в соответствии с техническим заданием на устранение нештатной ситуации.

Развитие ситуации при наличии опасного состояния (ОС) может проходить по двум путям:

- благоприятный – выход из опасного состояния, осуществляемый личным составом расчета посредством её локализации или ликвидации;
- неблагоприятный – личный состав не успел или не смог ликвидировать нарастание опасной ситуации, в результате чего произошло нарушение безопасности.

По тяжести последствий нарушение безопасности

может иметь категории: поломку, аварию, несчастный случай, катастрофу [1].

Под поломкой понимается нарушение исправного состояния наземного комплекса, приводящее к необходимости проведения внеплановых ремонтно-восстановительных работ (РВР).

В результате аварии происходит полное или частичное нарушение работоспособности ракеты-носителя или стартового комплекса, восстановление которых требует проведения среднего или капитального ремонта, списания.

Несчастным случаем (НС) называется нарушение безопасности, которое сопровождается гибелью, увечьем, травмированием с временной потерей работоспособности хотя бы одним человеком в результате воздействия опасного фактора (ракета-носитель и стартовый комплекс при этом остаются работоспособными).

Катастрофа – нештатная ситуация, в результате которой происходит поломка или авария ракеты-носителя вместе с гибелью людей.

Оценка безопасности осуществляется на основе анализа рисков [2,3]. В практике встречаются различные трактовки термина «риск». Общим во всех этих трактовках является то, что риск - это вероятность возникновения нештатной ситуации (поломка, несчастный случай, авария, катастрофа).

Иными словами, под риском следует понимать ожидаемую частоту или вероятность возникновения опасностей определенного класса, или же размер возможного ущерба (потерь, вреда) от нежелательного события, или же некоторую комбинацию этих величин.

Применение понятия риск позволяет переводить опасность в разряд измеряемых категорий. Риск фактически есть мера опасности.

Возникновение опасных ситуаций является результатом проявления определенной совокупности факторов риска, порождаемых теми или иными источниками, обстоятельствами, условиями.

Одной из составляющих научно-методического аппарата является методика оценки безопасности, которая включает следующие этапы:

1. Анализ потенциально опасных операций с точки зрения особенностей возникновения и возможных последствий (построение дерева возможных последствий).

При разработке научно-методического аппарата оценки безопасности серьезное внимание должно уделяться анализу потенциально опасных операций. Анализ потенциально опасных операций – процесс идентифи-

кации (выявления) потенциально опасных операций и оценки риска для людей, материальных объектов, окружающей природной среды и др. При этом под потенциально опасными операциями понимаются технические операции, содержащие источник потенциального ущерба, а под идентификацией потенциально опасных операций - процесс выявления их, а также определение их характеристик. Анализ потенциально опасных операций - это субъективный процесс, в ходе которого учитываются не только количественные показатели, но и показатели, не поддающиеся формализации, такие, как мнения различных общественных групп, возможность компромиссных решений, экспертные оценки и т.д.

Особенность анализа потенциально опасных операций заключается в том, что в ходе его рассматриваются потенциально негативные последствия, которые могут возникнуть в результате отказа в работе технических систем, сбоев в технологических процессах или ошибок со стороны эксплуатирующего персонала. Это не исключает необходимости рассмотрения негативных воздействий на людей и окружающую природную среду при безотказном функционировании производства.

Результаты анализа потенциально опасных операций имеют существенное значение для принятия обоснованных и рациональных решений при проектировании и модернизации производственных объектов и технических систем, включая ракеты-носители и наземные объекты ракетно-космической инфраструктуры, совершенствовании технологий их эксплуатации, а также программ подготовки и переподготовки персонала.

Анализ потенциально опасных операций может быть определен как процесс решения сложной задачи, требующий рассмотрения широкого круга вопросов, проведения комплексного исследования и оценки технических и экономических факторов.

2. Определение критичных элементов наземного комплекса, отказ которых может привести к возникновению нештатных ситуаций (морфологический (структурный) анализ).

3. Обоснование и разработка критерия происшествия (опасного состояния).

На данном этапе описываются различные ситуации, возможные в процессе выполнения потенциально опасных операций, которые могут быть отнесены к опасным.

Основная задача - выявление (на основе информации о работе объекта, результатов экспертизы и опыта работы подобных систем) и четкое описание всех присутствующих в системе опасностей. Это ответственный этап анализа, так как не выявленные на этом этапе опасности не

подвергаются дальнейшему рассмотрению и исчезают из поля зрения системы управления рисками. Далее проводится предварительная оценка опасностей с целью выбора одного из возможных направлений работ:

- прекратить дальнейший анализ ввиду незначительности опасностей;
- провести более детальный анализ риска;
- выработать рекомендации по уменьшению опасностей.

Исходные данные и результаты предварительной оценки опасностей также должным образом документируются. В принципе процесс анализа может заканчиваться уже на этапе идентификации потенциально опасных ситуаций.

При необходимости после идентификации опасностей переходят к этапу оценки риска. Последний этап анализа операций технологической системы - разработка рекомендаций по уменьшению уровня риска (управлению риском) осуществляется в случае, если степень риска выше приемлемой.

При проведении анализа уровня риска необходимо руководствоваться следующими принципами (или их сочетаниями):

- безусловным приоритетом безопасности, сохранением жизни и здоровья над любыми другими критериями качества жизни людей;
- приемлемыми опасностью и риском, в соответствии с которыми устанавливаются нижний (допустимый) и верхний (желаемый) уровни безопасности и в этом интервале – приемлемый уровень безопасности и риска с учетом социально-экономических факторов;
- принципом минимальной опасности, в соответствии с которым уровень риска устанавливается настолько низким, насколько это реально достижимо в конкретных социально-экономических условиях;
- последовательным приближением к абсолютной безопасности.

4. Разработка перечня возможных происшествий:

- выделяется потенциально опасная операция;
- определяются возможные происшествия;
- разрабатываются сценарии опасного состояния (сценарии возникновения происшествий);
- обосновываются рекомендации по уменьшению

уровня риска на основе логического анализа возможных последствий различных сценариев возникновения происшествий.

5. Оценка уровня возможных последствий различных сценариев возникновения происшествий.

Для различных сценариев возникновения проис-

шестий определяются зависимости:

1) степени повреждений от избыточного давления ударной волны:

- личного состава;
- элементов строительных конструкций;
- зданий и сооружений;
- транспортных сооружений, коммуникаций и транспортных средств;
- линий электропередач и инженерных сетей;
- оборудования;

2) степени повреждений от поражающего действия взрывного нагружения:

- при действии квазистатической нагрузки;
- при действии импульсной нагрузки;
- при динамическом взрывном воздействии;

3) разрушающего удельного импульса от параметров объектов наземной космической инфраструктуры космодрома;

4) безопасных расстояний между эпицентром взрыва и объектами наземной космической инфраструктуры космодрома:

- для объектов, находящихся в зоне действия ударной волны;
- для объектов, находящихся в зоне действия взрывных газов;

5) частот собственных колебаний различных объектов от их параметров и направления их колебаний:

- на основе балочных моделей;
- на основе моделей прямоугольных пластин;

б) приведенной массы от модели и параметров эквивалентной системы с данной степенью свободы.

При определении минимально допустимых (безопасных) удалений различных объектов от эпицентра взрыва целесообразно использовать зависимости:

при  $R < 0,6 \cdot W^{1/3}$  – в зоне действия взрывных газов

$$R_{min} \approx \sqrt{\frac{0,785W}{p_0 \cdot T}}; \quad (1)$$

при  $R < 0,6 \cdot W^{1/3}$  – в зоне действия ударной волны

$$R_{min} = \frac{106 \cdot W^{1/3}}{p_0 (53,6 \cdot T + W^{1/3})}; \quad (2)$$

где  $p_0$ , кПа;  $W$ , кг;  $T$ , сек.

В качестве количественной меры разрушений целесообразно использовать величину

$$\mu = \frac{\left\{ \frac{\Delta p_m [i \cdot i(\mu) + i^2(\mu)]}{i} \right\} - c_0}{c_1 - c_0}, \quad (3)$$

где  $c_0 = [\Delta p_m(0) \cdot i(0)]$  – величина инварианта линии рав-

ного уровня разрушений, соответствующая началу разрушений объекта;

$c_1 = [\Delta p_m(1) \cdot i(1)]$  – величина инварианта линии равного уровня разрушений, соответствующая полному разрушению объекта;

$i(\mu)$  – величина удельного импульса, вызывающего  $\mu$ -й ровень разрушения объекта при чисто импульсном режиме нагружения объекта;

$\Delta p_m = \Delta p_m(W, R)$  – максимальное значение избыточного давления;

$i = i(W, R)$  – удельный импульс избыточного давления;

7) мера защищенности может быть определена соотношением  $\eta = 1 - \mu$ .

6. Обоснование технических и организационных мероприятий по повышению защищенности объектов наземных комплексов и космодромов:

- создание ситуационного центра, функционирующего в режимах мониторинга защищаемых объектов и источников опасности, прогнозирования возможного развития ситуаций и в имитационном режиме;

- создание экологического центра для мониторинга атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, флоры, фауны, населения, проживающего на территории космодрома;

- обеспечение сбалансированности требований по ресурсу стартовых сооружений и оборудования при штатной эксплуатации и требований по защищенности объектов наземной космической инфраструктуры космодрома, что позволит более полно использовать ресурс этих объектов;

- отказ от дальнейшего использования в проектах пусковых установок наземного комплекса котлованных схем газоходов, являющихся аккумуляторами паров компонентов ракетного топлива и усилителями нагрузки, создаваемой объемным взрывом паров компонентов ракетного топлива в газоходе, что позволит примерно на порядок снизить величины взрывных нагрузок на объекты наземной космической инфраструктуры космодрома;

- установка рамы пусковой установки на одном уровне со стенками газохода;

- использование противоударных демпферов, вышибных окон, защитных экранов, предохранительных валиков, изменяющих направление движения ударной волны для уменьшения действия взрыва;

- применение схем запуска ракет-носителей с опорных ферм взамен заневоленных схем пуска ракет-носителей, обладающих низкой ветровой устойчивостью, создающих нагрузки на хвостовой отсек и увеличивающих деформации и напряжения в размещенных там

конструкциях, что повышает вероятность невыхода их из строя и, соответственно, повышает безопасность их пуска.

7. Обоснование предложений по объемно-планировочным решениям, по территориальному размещению объектов наземного комплекса и космодрома:

- создание универсальных стартовых комплексов, использующих универсальные пусковые установки со сменными рамами для ракет-носителей различного класса, является нецелесообразным, так как авария та-

8. Оценка безопасности стартовых комплексов ракет-носителей и космических аппаратов с учетом обоснованных предложений по повышению защищенности объектов наземной космической инфраструктуры космодромов, их объемно-планировочным решениям и территориальному размещению.

На рис. 2 приведен график зависимости продолжительности жизни огненного шара от массы компонентов ракетного топлива ракеты-носителя.

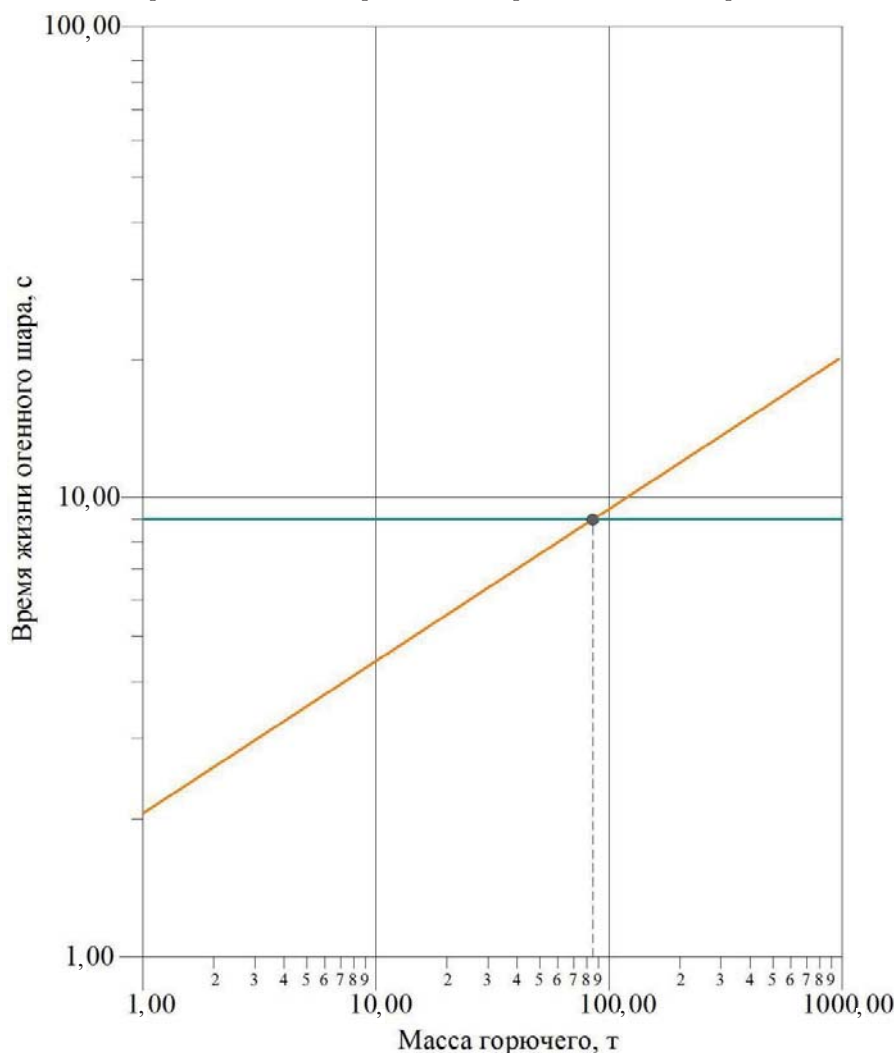


Рис. 2. Зависимость времени жизни огненного шара от массы горючего при аварийном взрыве ракеты-носителя «Зенит»

кого старта губительно отразится на программе вывода сразу нескольких классов ракет-носителей;

- создание универсальных по технологическому оборудованию стартовых комплексов с отдельными пусковыми установками для каждого класса ракет-носителей позволит достичь экономии средств при создании и эксплуатации технологического оборудования при условии локализации эффекта аварийного взрыва пусковой установки для одного класса ракет-носителей.

При оценке защищенности объектов наземной космической инфраструктуры космодрома «Восточный» необходимо принимать во внимание возможность поражения персонала огненным шаром. Для этого необходимо оценить основные параметры огненного шара, образующегося в результате аварийных взрывов ракет-носителей и спрогнозировать возможные последствия его действия. После чего выдать объемно-планировочные решения по территориальному размещению объектов наземной кос-

мической инфраструктуры, которые обеспечат их безопасность в условиях штатных и нештатных ситуаций.

При оценке живучести объектов наземной космической инфраструктуры космодрома в условиях аварийных взрывов ракет-носителей целесообразно применять

взрывах ракет-носителей, определение необходимого удаления объектов от пусковой установки целесообразно выполнять с учетом защищенности создаваемых объектов и размеров зон разрушений.

Научно-методический аппарат по оценке безо-

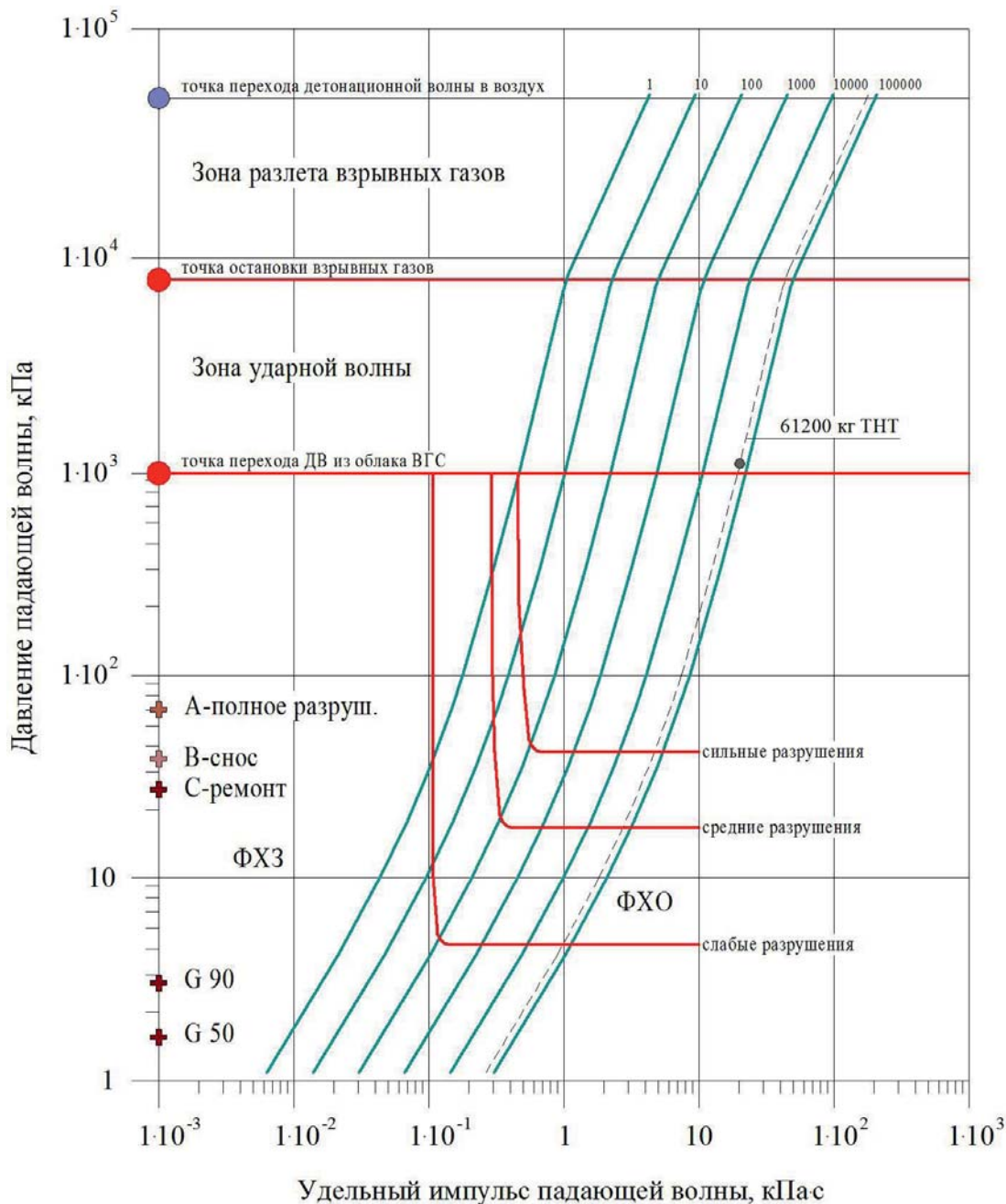


Рис. 3. Фазовые характеристики объекта и заряда

метод фазовых диаграмм (см. рис.3).

На рис. 4 приведен график зависимости радиусов зон сильных разрушений от массы горючего в тротиловом эквиваленте.

Исходя из безопасности объектов наземной космической инфраструктуры космодрома при аварийных

пасности разработан в соответствии с положениями действующих нормативных и методических документов Российской Федерации, в том числе:

- приказа Федерального космического агентства от 02.07.2010 №107 «Об утверждении Положения о порядке экологического контроля и мониторинга на тер-

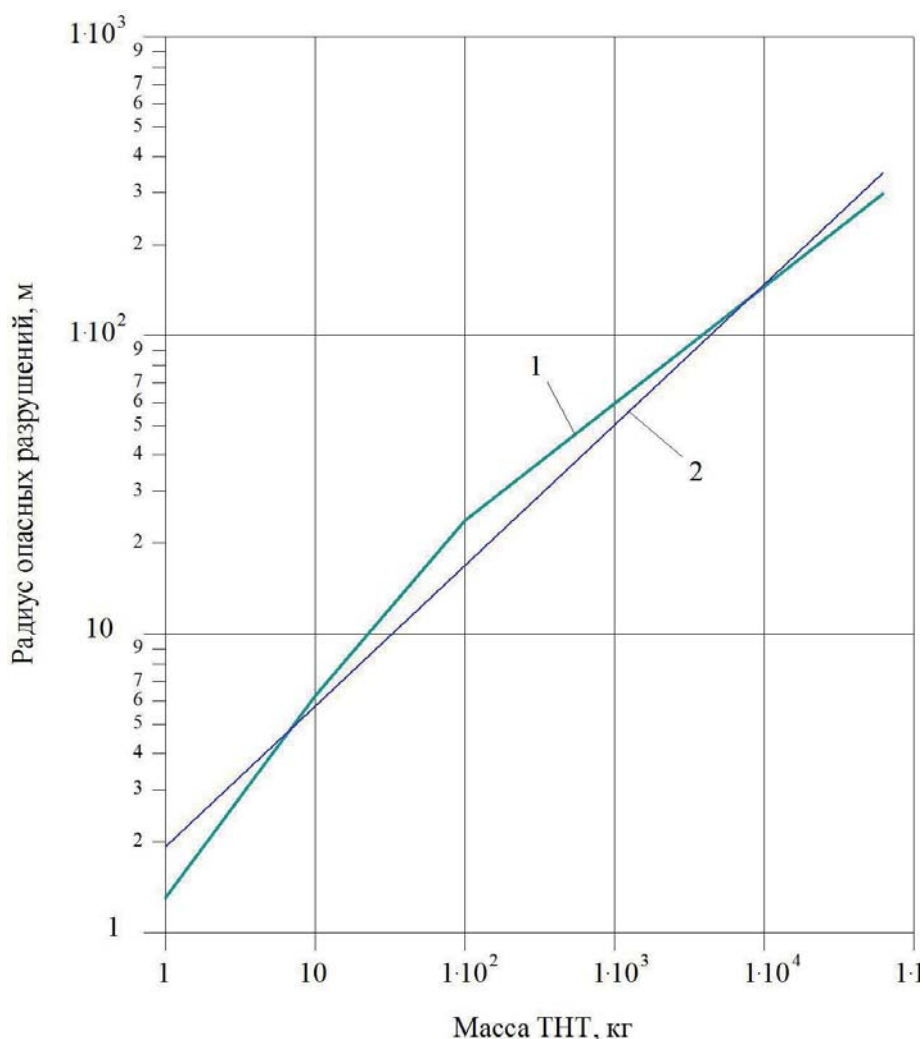


Рис. 4. Радиус зоны сильных разрушений:  
 1 - расчеты по предлагаемой методике; 2- линия регрессии, построенная по результатам расчетов с применением известных методик

ритории комплекса «Байконур»;

- приказа Федерального космического агентства от 08.02.2011 №23 «Об утверждении Положения об эксплуатации изделий РКТ (ПЭ-2010)».

Таким образом, применение предлагаемого научно-методического аппарата позволяет повысить

безопасность наземных комплексов для ракет-носителей сверхтяжелого класса и сократить расходы на эксплуатацию объектов наземной космической инфраструктуры космодрома с учетом результатов их эксплуатации и анализа нештатных ситуаций на космодромах «Байконур», «Плесецк» и других космодромах мира.

*Литература*

1. Основы эксплуатации космических средств: учебник/ Е.С. Александров и др.; – СПб: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2000. – 499 с.
2. Костиков В.А. Надежность технических систем и техногенные риски. М: МГТУ ГА, 2008. – 136 с.
3. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов: утв. Госгортехнадзором России 10.07.2001г. №30: введ. в действие с 01.10.2001. – М.: БИ, 2001. – 18 с.

Материал поступил в редакцию 20. 06. 2014 г.