

МОНИТОРИНГ РИСКА ПОВЫШЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В АРКТИЧЕСКОМ И ПРИАРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНАХ ИЗ-ЗА ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ШЕЛЬФЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

Исхаков Ш.Ш.

Доцент кафедры «Специальные сооружения ракетно-космических комплексов» факультета наземной космической инфраструктуры ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», г. Санкт-Петербург, кандидат технических наук, доцент, академик МАНЭБ

Ковалев Ф.Е.

Старший преподаватель кафедры «Специальные сооружения ракетно-космических комплексов» факультета наземной космической инфраструктуры ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», г. Санкт-Петербург, кандидат технических наук

Косенков Р.Э.

Инженер отделения вычислительной техники, Войсковая часть 14058, г. Енисейск-4, Красноярский край

Мохнаткин А.П.

Начальник лаборатории, кафедра «Специальные сооружения ракетно-космических комплексов» факультета наземной космической инфраструктуры ФГБОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского», г. Санкт-Петербург

Из мировой практики известно, что образование пустот в земной коре из-за добычи углеводородов может провоцировать повышение сейсмоактивности в прилегающих регионах. В Российской Федерации таковым является северо-западный регион ввиду добычи углеводородов на шельфе Северного Ледовитого океана [1]. В этой связи в соответствии с принятой в 2002 году программой подразделениями Российской академии наук (РАН) ведётся установка сейсмических станций в Арктической и Приарктической зонах северо-западного региона РФ, с помощью которых ведётся сейсмический мониторинг путём регистрации сейсмических волн, источниками которых являются землетрясения в Арктической зоне (рис. 1) [1] и техногенные воздействия (рис. 2) [1].

Одними из видов техногенных воздействий (см. рис. 2) являются падения первых ступеней ракет-носителей (РН), а также сами пуски РН с космодрома «Плесецк».

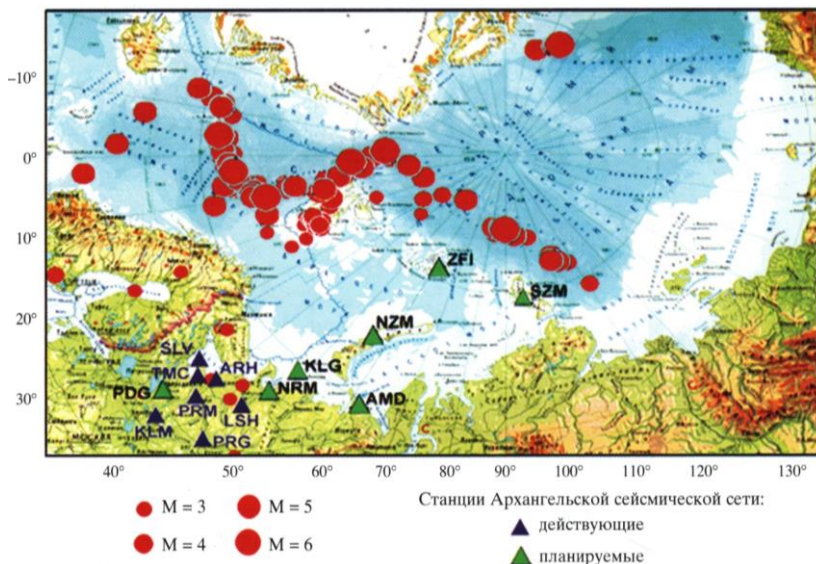


Рис. 1. Карта эпицентров ощутимых землетрясений Арктики, зарегистрированных Архангельской сетью в 2004 – 2009 гг. [1]

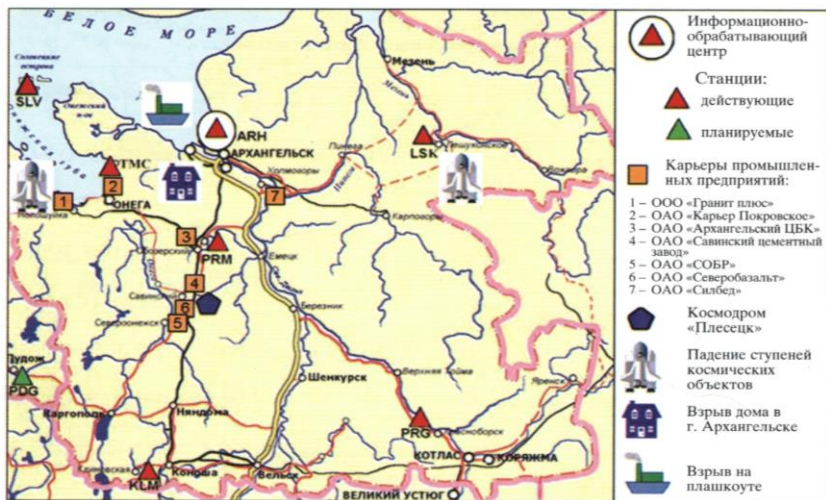


Рис. 2. Карта расположения регистрирующих станций Архангельской сети и источников техногенных воздействий [1]

Последний из типов техногенных воздействий в виде пусков боевых РН и ракет космического назначения (РКН) с космодрома «Плесецк», регистрируемых на сейсмостанциях Архангельской сети (рис. 2 и 3) [1], позволяет существенно модифицировать методику сейсмомониторинга за счёт установки на стартовых сооружениях (СС) РН и РКН комплектов вибрационного контроля (ВК), традиционно используемых ранее Военно-космической академией (ВКА) имени А.Ф. Можайского в системах испытания и долговременного контроля (ИДК) на СС под тяжёлые и сверхтяжёлые РКН на космодроме «Байконур» (рис. 4) [2, 3].

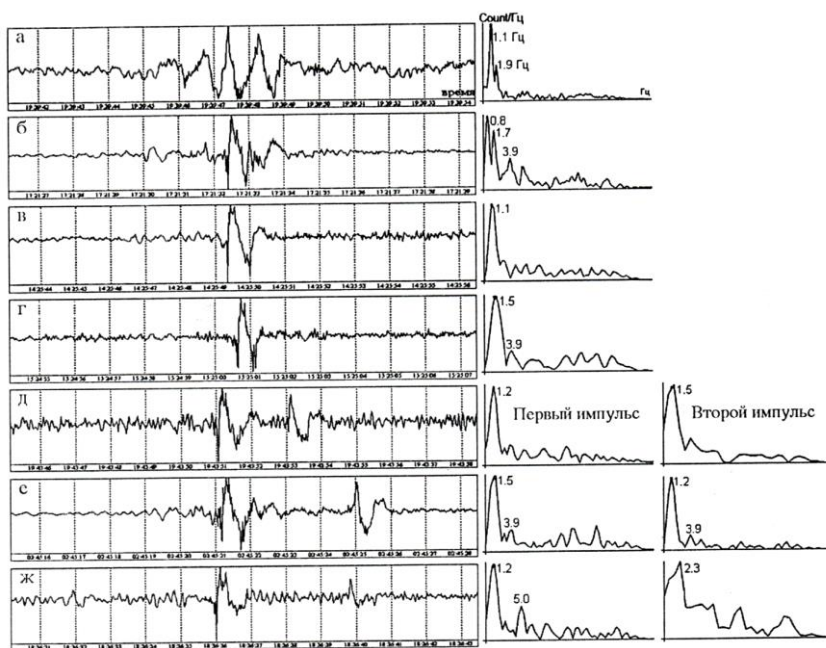


Рис. 3. Волновые формы и спектры акустических сигналов, индуцированных при запусках ракет с космодрома «Плесецк»:

а – 21.12.05 «Космоч-3М»;

б – 27.03.08 «Космос-3М»;

в – 17.03.09 «Рокот»;

г – 23.05.08 «Рокот»;

д – 02.07.07 «Космоч-3М»;

е – 22.07.08 «Космоч-3М»;

ж – 26.07.08 «Союз-2.1б» (спектры располагаются в правой части рисунка) [1]

Использование комплектов ВК позволяет фиксировать колебания (акселерограммы) основания СС непосредственно в источнике возникновения этих колебаний на СС при пусках РН и РКН. Периодическое сравнение характеристик этих акселерограмм (спектров вибрационных ускорений и перемещений), получаемых на СС при пусках РН и РКН, с характеристиками сигналов, получаемых на сейсмостанциях (см. рис. 2, 3), позволяет судить об изменениях геологической структуры в данном районе и прогнозировать повышение сейсмоактивности в регионе.

Важность получения подобной информации об угрозе землетрясения в данном регионе как результате вызванной или наведённой сейсмичности из-за добычи углеводородов на шельфе Северного Ледовитого океана (СЛО) – очевидна, поскольку обеспечивает своевременное предупреждение о надвигающейся угрозе органов местной администрации, МЧС, руководства предприятий, населения, в том числе командования космодрома «Плесецк».



Рис. 4. Использование систем ИДК на СС РКН [2, 3]

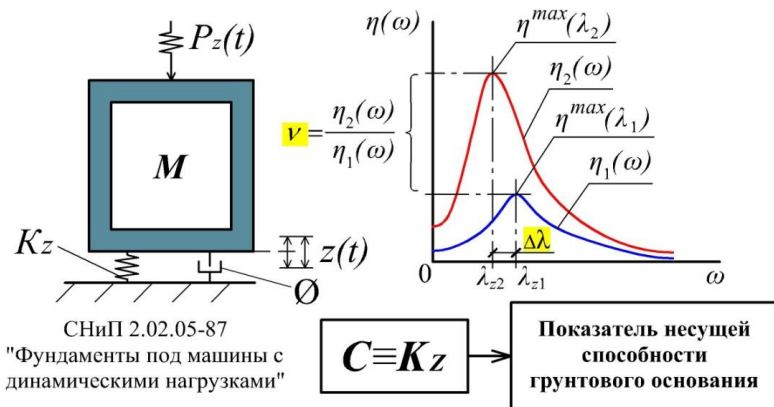
С учётом изложенного Институт экологических проблем Севера Уральского отделения РАН (г. Архангельск) обратился в 2013 году к руководству ВКА имени А.Ф. Можайского с предложением проведения совместной НИР по сесмомониторингу в регионе с использованием данных вибрационного контроля на СС при пусках РКН с космодрома «Плесецк». Принятию такого решения препятствует реорганизация войск воздушно-космической обороны, которым подведомственен космодром «Плесецк».

Оснащение СС для РКН «Ангара» комплектом ВК позволяет решать не только вышеуказанные задачи сейсмомониторинга района базирования космодрома «Плесецк» (рис. 1, 2), но и мониторинга технического состояния самого СС для РКН «Ангара». С учётом уникальности данного типа СС, унифицированного для пуска целого семейства РКН «Ан-

гара» лёгкого, среднего и тяжёлого класса, проектным решением было предусмотрено использование на данном СС комплекта ВК в составе систем ИДК (рис. 4). При этом в ВКА имени А.Ф. Можайского разработаны методологические основы «обучения» комплектов ВК с целью их функционирования в режиме вибрационных диагностических систем (ВДС) [2-5], обеспечивающих решение следующих задач:

1. Идентификация снижения несущей способности (НС) грунтового основания и строительных конструкций зданий и сооружений, подверженных воздействию динамических нагрузок (в том числе воздействию на СС случайного поля пульсаций давления газовой струи РКН), по диагностическим признакам (D_{Π_i}) снижения жёсткости C основания и конструкций строительных объектов (рис. 5) [2-5].

Модель динамической системы "жёсткое сооружение - грунт"



$\eta(\omega)$ - передаточная функция динамической системы

D_{Π_i}	$\Delta\lambda > 0$	Снижение НС
	$\nu > 1$	
	$\Delta\lambda = 0$	Стабильное состояние
	$\nu = 1$	

Рис. 5. Диагностические признаки снижения НС грунтового основания

2. Разработка программно-методического обеспечения мониторинга (ПМОМ) диагностирования технических состояний несущих элементов зданий и сооружений, регламентируемых в СП 13-102-2003 [6] и в ГОСТ 31937-2011 [7] («нормативное (проектное)», «работоспособное», «ограниченно работоспособное», «недопустимое», «аварийное») (рис. 6), по критерию снижения их НС [4, 5].

3. Идентификация вышеуказанных технических состояний зданий и сооружений (рис. 6) по количественным показателям их надёжности [8] в виде вероятности $p = \{0, \dots, 1\}$ возникновения аварийного состояния (рис. 7) [9].

Технические состояния зданий и сооружений					
СП 13-102-2003	Исправное	Работоспособное	Ограниченно работоспособное	Недопустимое	Аварийное
ГОСТ Р 53778-2010 ГОСТ 31937-2011	Нормативное (проектное)	+	+	-	+

Рис. 6 Классификация технических состояний зданий и сооружений

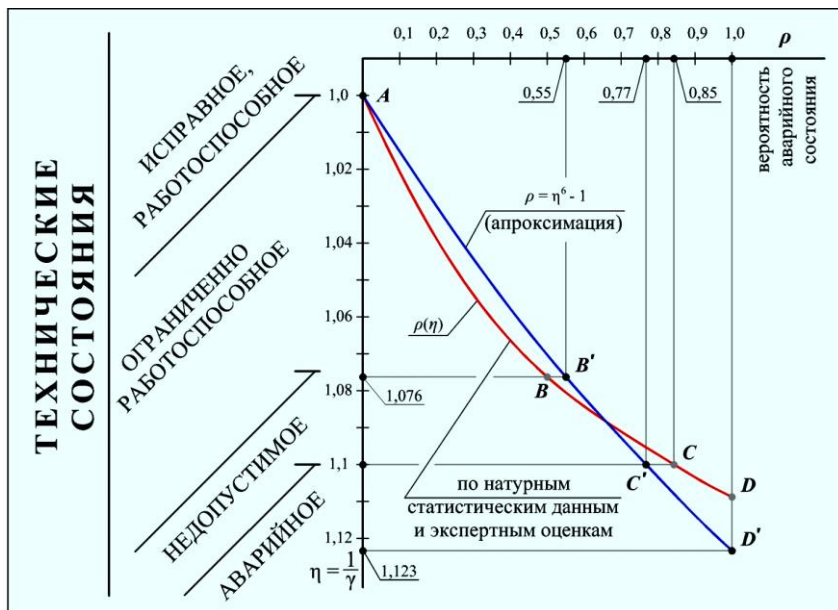


Рис. 7. Вероятностная структура технических состояний

4. Исследование с помощью ВДС:

4.1. Физики поведения полускального основания под СС для РКН «Ангара» с карстовыми пустотами, заполненными бетоном, с неизвестной степенью заполненности бетоном карстовых пустот, что создаёт риски снижения несущей способности и надёжности основания (рис. 7) при длительном сроке эксплуатации СС и многочисленных пусках РКН (рис. 4).

4.2. Физики поведения несущих пролётных железобетонных конструкций (ЖБК) СС при их вибрациях, возникающих при каждом пуске РКН.

5. Выдача заключений о техническом состоянии основания и несущих ЖБК СС по результатам регистрации вибраций с помощью ВДС по интегральному показателю «стабильности – снижения» НС основания и несущих ЖБК (рис. 5-7).

Решение задач по п. 4 является важным не только для оценивания технического состояния строительной части (СЧ) СС (см. задачи по п.п. 1 – 3, 5), но актуально и с общенаучной точки зрения в области механики оснований (скальных, полускальных и грунтовых) (см. задачу по п. 4.1) и в области проектирования и эксплуатации несущих ЖБК (см. задачу по п. 4.2), подверженных динамическим воздействиям, на основе уникальной возможности исследования данных вопросов на натурном объекте, каковым является СС для РКН «Ангара». В частности, весьма актуальным с общенаучной точки зрения является исследование чувствительности (разрешающей способности) метода вибрационной диагностики (рис. 5) по идентификации снижения НС грунтовых оснований и несущих ЖБК, что требует использования ВДС на натуральных строительных объектах, подверженных воздействию динамических нагрузок. С этой точки зрения СС являются идеальными объектами для выполнения подобных исследований, в которых поле пульсаций давления газовой струи РКН используется как функциональное динамическое воздействие. При этом становится возможным решать целый комплекс актуальных научных проблем и задач в области определения количественных показателей надёжности (рис. 7), идентификации технических состояний зданий и сооружений (рис. 6, 7) не только на основе трудоёмких поверочных расчётов НС элементов строительных объектов по требованиям СП 13-102-2003 [6] и ГОСТ 31937-2011 [7], а аппаратурным (вибрационным) методом, используя НС конструкций и грунтовых оснований как **интегральный** показатель их технического состояния без трудоёмкого выявления всех ФМХ, определяющих НС (рис. 8), требующих использования неразрушающих методов контроля (НМК). На практике это обеспечивает получение объективных заключений о техническом состоянии зданий и сооружений, оснащённых вибрационными диагностическими системами (см. задачу по п. 5, рис. 8).

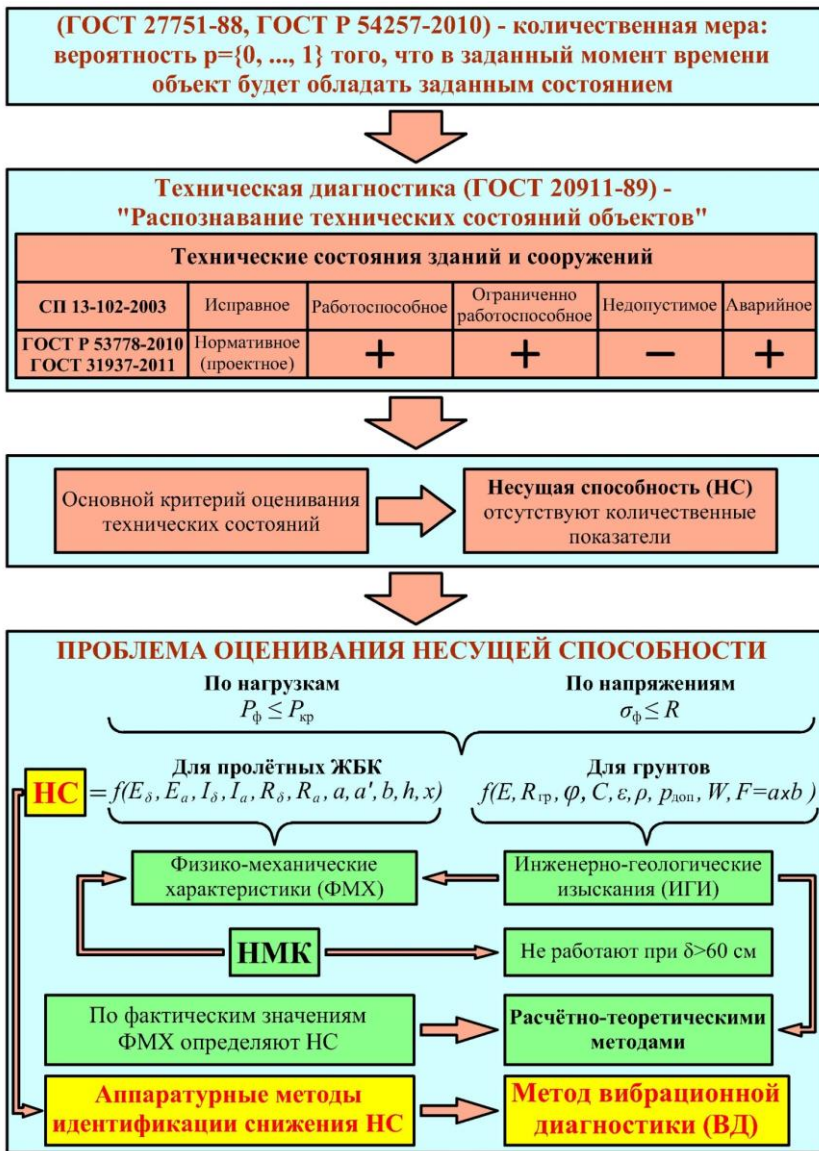


Рис. 8. Комплексный подход к решению задач надёжности и технической диагностики состояний зданий и сооружений

Таким образом, использование в соответствии с проектом вибрационной диагностической системы на СС для РКН «Ангара» на космодроме «Плесецк» позволяет обеспечить:

- повышение эффективности мониторинга сейсмичности в районе базирования космодрома «Плесецк» (см. рис. 1-3), активизация которой в ближайшие годы возможна из-за добычи углеводородов на шельфе СЛО;
- мониторинг технического состояния строительной части СС, актуальность которого обусловлена наличием карстовых пустот в основании СС, технической сложностью конструктивного устройства самого СС, рисками появления недопустимых дефектов и повреждений в несущих конструкциях СС;
- решение общенаучных задач путём выполнения уникальных исследований динамики зданий и сооружений (рис. 4-8) на базе действующего натурального строительного объекта, каковым является стартовое сооружение для РКН «Ангара».

Библиографический список

1. Сейсмологические исследования в Арктических и Приарктических регионах / Коллектив авторов. Под. ред. чл.-корр. РАН Ф.Н.Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2011.
2. Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок / А.П. Козин, Ш.Ш. Исхаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалев; под ред. К.И. Еремина // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М.: ООО «ВЕЛД» и др., 2010. – №9.
3. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса; под ред. Н.А. Махмутова /В.М. Васкевич, Н.Н. Гусев, Ш.Ш. Исхаков, Ф.Е. Ковалёв, В.А. Рудаков//Разделы 5, 7, 8 в главе , раздел 3 в главе . – М.: МГОФ «Знание», 2012 – 798 с.
4. Исхаков Ш.Ш. Вибрационная тестово-функциональная диагностика состояния строительных конструкций при мониторинге зданий и сооружений для предупреждения чрезвычайных ситуаций: монография / Ш.Ш. Исхаков. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011. – 163 с.
5. Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалев Ф.Е. Проектирование и применение систем мониторинга инженерных (строительных) конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. – СПб.: ВКА, 2013. – 158 с.

6. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ГОССТРОЙ РФ, 2004. – 32 с.
7. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 89 с.
8. ГОСТ Р 54257-2010. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2011. – 17 с.
9. Исхаков Ш.Ш., Ковалев Ф.Е., Мохнаткин А.П. Интегральный показатель свойств функциональной вибрационной диагностики снижения несущей способности элементов зданий и сооружений: Труды Всероссийской НТК «Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения». – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014. – С. 86-91.