

№3, март, 2012

НАУКА И БЕЗОПАСНОСТЬ

Ежеквартальный научный журнал

Выпуск приурочен к юбилею ООО «ВЕЛД»



ВЕЛД

Разделы номера

Информационная
безопасность
стр.3

Военная безопасность
стр.7

Комплексная
безопасность
стр.30

Безопасность техни-
ческих устройств
стр.114

Экологическая
безопасность
стр.153



ISSN 2225-0360

Информационная безопасность

- Ю. В. Буланова*
«Информационная безопасность Российских предприятий» 3

Военная безопасность

- И.А. Андриевский*
«Некоторые аспекты современных форм и способов враждебного противостояния и вооруженного противоборства» 7

Комплексная безопасность

- Ш.Ш. Исхаков*
«Развитие теории спектрального анализа в вибрационной диагностике состояния строительных объектов при случайных динамических воздействиях» 30

- Ш.Ш. Исхаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалев, В.Ю. Рыжиков*
«Методика оценивания рисков недопустимых состояний строительных объектов и эффективности применения систем мониторинга их состояния» 57

- О. Г. Кумпяк, З.Р. Галяутдинов, О. Р. Пахмурин, Д. Н. Кокорин*
«Комплексная проработка усиления строительных конструкций» 68

- В. Г. Казачек*
«Проблемы совершенствования системы надзора за зданиями и сооружениями в Республике Беларусь» 72

- Н.П. Четверик*
«Характеристика инновационного проекта» 85

- Н.П. Четверик*
«Оценка и отбор инновационных проектов» 94

- Г. А. Павлова*
«Роль технического аудита в обеспечении промышленной безопасности» 110

Безопасность технических устройств

- М.А. Пономарева*
«Анализ работоспособности магистрального трубопровода» 114

- В.А.Котляревский*
«Контроль ресурса прочности магистральных трубопроводов на трассах со сложными геологическими условиями» 127

Экологическая безопасность

- Б.С.Баталин*
«Строительные материалы и экологическая безопасность жилища» 153

- В.А.Котляревский*
«Сейсмическая опасность падения астероидов на земную поверхность» 159

Информационная безопасность

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

THE INFORMATION SECURITY OF RUSSIAN COMPANIES

УДК 004.56

Буланова Ю.В.

Московский Государственный Технический Университет Радиотехники, Электроники и Автоматики (МГТУ МИРЭА), аспирант

*Научно-исследовательский институт дальней радиосвязи (ОАО НПК НИИДАР), инженер
Bulanova U.V.*

*Moscow State Technical University of Radio engineering, Electronics and Automatics (mgtu mirea)
post-graduate student*

Scientific-research institute of long-distance radio (oao npk niidar), engineer

Аннотация

Развитие российской экономики тесно связано с использованием современных информационных и коммуникационных технологий. Однако, с ростом значимости ИТ в промышленности, увеличением сложности и глобализацией информационных технологий резко возрастает и проблема защиты информационных и интеллектуальных ресурсов предприятий, которая стала на текущий момент одной из наиболее актуальных. В настоящей статье описаны основные ИТ угрозы, меры по обеспечению политики ИБ российских предприятий а также рассмотрены существующие системы ИТ безопасности.

Summary

The development of the Russian economy is tied closely with the use of modern information and communication technologies. However, with the rising importance of IT in the industry and the increased complexity and globalization of the information technologies, the problem of protecting information and intellectual resources of enterprises has become one of the most pressing issues. This article highlights the main IT threats, measures to ensure the information security policies of Russian companies, and reviews the existing systems of IT security.

Ключевые слова:

информационная безопасность предприятий, политика информационной безопасности, системы ИТ безопасности, программные системы управления безопасностью

Key words:

information security companies, information security policy, system of IT security, software, safety management system

Развитие российской экономики тесно связано с использованием современных информационных и коммуникационных технологий. Однако, с ростом значимости ИТ в промышленности, увеличением сложности и глобализацией информационных технологий резко возрастает и проблема защиты информационных и интеллектуальных ресурсов предприятий, которая стала на текущий момент одной из наиболее актуальных.

Сегодня внимание компаний к ИТ-угрозам неуклонно растет, а их руководство все больше осознает важность грамотной политики информационной безопасности. Правильная реализация политики информационной безопасности современного промышленного предприятия предполагает применение комплексного подхода, в основе которого лежат технические, программные, правовые, организационные и социальные меры и средства защиты. Эти меры направлены на обеспечение целостности и конфиденциальности информационных ресурсов, а также их доступности для сотрудников предприятия в соответствии с их полномочиями.

Как правило, к основным направлениям мер по обеспечению политики ИБ предприятия относят:

- работа с персоналом;
- обеспечение защиты интеллектуальной собственности;

- идентификация, проверка подлинности и контроль доступа к ресурсам автоматизированной системы, администрирование компьютерных сетей;
- защита пользователей, коммуникационных средств, серверов, внешних носителей информации, данных и программ в процессе обмена;
- обеспечение физической безопасности оборудования;
- обеспечение безопасности при разработке и сопровождении информационных подсистем;
- обеспечение безопасности при взаимодействии с внешними системами и сторонними организациями;
- организация контроля эффективности принимаемых мер защиты.

Перечень ИТ угроз для каждого предприятия является уникальным, но как правило самой распространенной из них принято считать «боязнь утечки конфиденциальной информации». Недавно проведенное исследование одной из компаний аутсорсинга показало что, 59% конфиденциальной информации теряется по вине штатных сотрудников компаний, а 41% информации был потерян и вовсе по причинам бытовой халатности, как-то: потеря ноутбуков, документации и т. п. Штатными сотрудниками предприятия функция защиты информации часто воспринимается как навязанная и необязательная. Бывает, что на предприятии права доступа также нарушаются из-за неформальных дружеских связей ИТ-специалистов с сотрудниками других подразделений предприятия.

Широкий спектр потенциальных ИТ-угроз и разнообразие типов источников данных, привели к разработке различных системы информационной безопасности.

Системы ИТ безопасности в промышленных компаниях разного масштаба реализованы по-разному — с применением программных или аппаратно-программных средств. К таким средствам можно отнести антивирусные решения, межсетевые экраны, системы фильтрации сетевого трафика, защита от спама, средства аутентификации и контроля доступа, системы предотвращения сетевых атак, средства шифрования каналов связи и др.

Как правило, каждая компания на основе разработанной самостоятельно или с привлечением сторонних экспертов концепции информационной безопасности предприятия определяет для себя требования к подобной системе. Тем не менее, можно выделить два существенных варианта построения систем безопасности: на базе решений одного или нескольких производителей. Сегодня с учетом тенденции специализации производителей на определенных участках защиты второй подход более распространен. В базовой схеме системы ИБ можно условно выделить несколько уровней защиты: защита внешнего периметра (Интернет и почтовые шлюзы передачи данных) и защита внутреннего периметра (сервера приложений и данных, компьютеры сотрудников).

Системы ИТ безопасности могут разрабатываться, внедряться и поддерживаться как собственными ИТ-подразделениями, так и сторонними организациями, специализирующимися на предоставлении соответствующих услуг. Поэтому рынок ИТ-безопасности условно можно разделить на три основных сегмента: рынок услуг управления ИТ-безопасностью рынок программных средств ИТ-безопасности и рынок аппаратных систем ИТ-безопасности. Область пересечения последних двух рынков достаточно широка, так как зачастую сложно однозначно отнести ту или иную систему или технологию к чисто программным или аппаратным средствам.

Единого мнения о структуре рынка ПО для обеспечения ИТ-безопасности не существует. Основными сегментами этого рынка принято считать: системы для управления идентификацией и доступом, системы управления безопасностью контента и программные продукты для управления угрозами. Доля ПО для оценки уязвимостей и обнаружения вторжений, а также сегмента программных брандмауэров и VPN гораздо ниже и составляет порядка 10-15%.

Системы управления идентификацией и доступом объединяют решения для аутентификации, авторизации и администрирования. Данные программные продукты позволяют идентифициро-

вать пользователей в системе и управлять их доступом к системным ресурсам в соответствии с предоставляемыми им правами.

Программные системы управления безопасностью контента и управления угрозами предлагают решения, обеспечивающие защиту от вирусов, спама, хакерских атак и внешних вторжений, а также предотвращающие раскрытие конфиденциальной информации. К ним относятся:

- системы управления сетевой безопасностью;
- решения для обеспечения безопасности и контроля рабочих мест, файловых серверов и мобильных устройств;
- инструментарий для достижения web-безопасности;
- системы обеспечения безопасности коммуникаций;
- ПО для оценки уязвимостей и обнаружения вторжений.

К остальным видам ПО относится различное криптографическое ПО, приложения безопасности в беспроводных соединениях, системах хранения данных и базах данных, а также приложения, отвечающие за безопасность и входящие в состав операционных систем. Правда, из вышеперечисленных ПО в данную категорию попадают лишь те программные продукты, которые нельзя отнести к системам управления безопасностью контента и угрозами. Доля данного сегмента в общем объеме рынка ПО невелика и в зависимости от региона не превышает 5%.

Разумеется, на выбор конкретных средств информационной безопасности оказывает влияние существующая инфраструктура предприятия и бюджет компании на ИТ-безопасность. Как правило, система защиты информации, интегрируются в существующую ИТ-инфраструктуру либо являются ее частью. Размеры предприятия, несомненно, также имеют значение. Методы и средства ИТ безопасности предприятия изменяются вместе с изменением ее масштабов. В небольших компаниях, в которых, как правило, финансовые потери от сбоев в работе ПК незначительны - уровень ИТ-безопасности довольно низок. На крупных же предприятиях. ИТ-безопасность выходит в первые ряды. Возникает необходимость в реализации профильной структуры с взаимодействием между собой, а также необходимость в работе штатных ИТ-специалистов.

Поскольку количество ИТ-угроз растет, а компании обязывают обеспечивать защиту персональных данных сотрудников и клиентов, то в ближайшее время расходы на безопасность во многих организациях останутся приоритетными. К сожалению, на текущий момент большая часть организаций в действительности не имеет специального бюджета на ИТ-безопасность. Так обстояло дело даже в самых крупных компаниях. Последствия ясны: без специальных ресурсов для обеспечения ИТ защиты невозможно оценить риск, проанализировать сценарии возникновения потерь или определить необходимый размер инвестиций.

По проведенным исследованиям изданием «Компьютерная неделя» там, где имеются централизованные бюджеты безопасности, значительная доля средств, выделяется на оплату труда ИТ-специалистов. Хотя 48% затрат приходится на оборудование, ПО и сервисы, на зарплату тратится 34%. Очевидно, что подбор специалистов так же является первоначально задачей ИТ-безопасности на предприятии.

Подводя итоги можно сказать что, информационная безопасность является одним из ключевых факторов успешного функционирования предприятия, поскольку любое нарушение ее защиты может привести к повреждению или потери данных, а, следовательно, и к финансовым потерям, утрате доверия партнеров и пр. Поэтому задача внедрения и поддержки системы обеспечения ИТ-безопасности, базирующейся на тщательно разработанной политике ИТ безопасности, встает перед каждой организацией.

Военная безопасность

Библиографический список

1. Кёрриер Г. Тенденции развития расходов предприятий на безопасность. Журнал «Компьютерная неделя», 22.03.2011
2. Васильева Е. Технические аспекты построения системы информационной безопасности на промышленном предприятии. Журнал «Rational Enterprise Management», №2/2008
3. Шляхтина С. ИТ-безопасность: сегодня и завтра. Журнал «КомпьютерПресс» №3/2008
4. Астахов А. Мониторинг действий пользователей корпоративной сети. Журнал «Мир и безопасность» №1/2008



НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СОВРЕМЕННЫХ ФОРМ И СПОСОБОВ ВРАЖДЕБНОГО ПРОТИВОСТОЯНИЯ И ВООРУЖЕННОГО ПРОТИВОБОРСТВА

SOME ASPECTS OF MODERN FORMS AND METHODS OF HOSTILE CONFRONTATION AND ARMED CONFLICTS

УДК 355.43

Андриевский И. А.

Вице-президент «Российского союза инженеров», кандидат экономических наук.

Andriyevsky I. A.

Vice president of all-russian public organization Russian Union of Engineers

Аннотация

В статье отмечается наличие военных угроз в современном мире. Военно-политическое руководство некоторых стран склонно решать различные проблемы военным путем. На примере войн, которые вели США, страны НАТО против Ирака, Югославии стало ясно, что нам продемонстрировали облик войны нового поколения, когда политические цели могут быть достигнуты только ударами высокоточного оружия по военным, объектам экономики и инфраструктуры. Страны не располагающие соответствующей космической группировкой и высокоточным оружием не могут рассчитывать на благоприятный исход в войне со странами, которые этим располагают.

Предлагается рассмотреть возможность использования научно обоснованной комплексной количественной оценки важности стационарных военных объектов стратегического потенциала страны-агрессора для эффективного использования имеющихся оперативно-стратегических средств поражения и разведки.

Summary

The article notes the existence of military threats in the modern world. Military and political leaders in some countries tend to solve various problems by military means. In terms of wars waged by the United States, NATO countries against Iraq and Yugoslavia, it became clear that we have been demonstrated the appearance of a new generation of war, when political goals can be achieved only by precision weapons strikes on military targets of economy and infrastructure. Countries without the appropriate space grouping and precision weapons cannot count on fortunate result in the war with countries that have it.

It is proposed to consider the use of evidence-based comprehensive assessment of the importance of fixed military installations of the strategic potential of the aggressor country for effective use of existing operational and strategic weapon systems and intelligence.

Ключевые слова:

новое поколение войн, высокоточное оружие, воздушно-космическая операция, космическая инфраструктура, военно-экономический потенциал, объекты стратегического потенциала, эффективное использование оперативно-стратегических средств поражения и разведки, неприемлемый ущерб, комплексная количественная оценка важности объектов стратегического потенциала зарубежных стран, построение приоритетных (ранжированных) рядов объектов, расположенных на территории зарубежных стран

Key words: *a new generation of warfare, precision weapons, air and space operations, space infrastructure, military and economic potential, the objects of strategic potential, the effective use of operational and strategic weapon systems and intelligence, unacceptable damage, comprehensive quantitative assessment of the importance of strategic facilities*

Анализ современной военно-политической обстановки в мире показывает, что в основе тенденций развития геополитических процессов в ближайшие 10 – 20 лет возможна борьба между государствами мира, главные причины которой: политические, экономические, сырьевые, энергетические, территориальные, национально-этнические, религиозные, другие противоречия и стремление разрешить их с использованием различных средств, в том числе с использованием военной силы(17).

Россия в итоге распада СССР и глубокого экономического кризиса занимает очень скромное место в глобальном экономическом пространстве. Представляя 2,3 % населения мира, она производит всего 1,8 % мирового валового внутреннего дохода, занимает 1,7 % в мировом экспорте, 0,5% в прямых иностранных инвестициях. Из второй державы мира она превратилась в источник минерального сырья, топлива, необработанной древесины и рынок сбыта готовой продукции для ТНК и монополий других стран. Страна не в состоянии оказывать сколько-нибудь существенное влияние на процессы, происходящие в глобальном экономическом пространстве. **Вооруженные Силы, оборонно-промышленный комплекс страны находятся в стадии реформирования, так как не соответствуют вызовам времени.**

Военная доктрина Российской Федерации определяет, что мировое развитие на современном этапе характеризуется ослаблением идеологической конфронтации, снижением уровня экономического, политического и военного влияния одних государств (групп государств), союзов и ростом влияния других государств, претендующих на всеобъемлющее доминирование, многополярностью и глобализацией разнообразных процессов. Не урегулированными остаются многие региональные конфликты. Сохраняются тенденции к их силовому разрешению, в том числе в регионах, граничащих с Российской Федерацией. Существующая архитектура (система) международной безопасности, включая ее международно-правовые механизмы, не обеспечивают равной безопасности всех государств (4).

Из-за существующих опасностей и угроз Россия вынуждена принимать соответствующие защитные меры, чтобы обезопасить себя от возможных вооруженных конфликтов и войн. Эффективно противостоять спектру угроз враждебного противостояния, вооруженного противоборства она может только располагая соответствующим военным потенциалом, который представляет систему интегрирующую в себе собственно военный, военно-экономический, военно-научно-технический потенциал и т.д.

При решении задач обеспечения военной безопасности страны, защиты ее суверенитета и территориальной целостности, кроме желания необходимы экономика и армия, сравнимые с возможностями вероятного противника. Вооруженные силы России по своим боевым возможностям на земле, в воздухе, на море и в космосе должны быть сопоставимы с **армиями развитых зарубежных стран, иметь современное вооружение, быть обеспечены всем необходимым, иметь ядерное оружие и средства его доставки к целям.**

Эффективное управление процессом обеспечения государственной безопасности подразумевает постоянное совершенствование и развитие системы - военной организации государства, для которой задача обеспечения вооруженной защиты является прямым

функциональным предназначением. Военная организация РФ включает в свой состав **Вооруженные Силы, другие войска, часть промышленного (военно-промышленного) и научного (военно-научно-технического) комплексов, работающих на оборону.**

Вооруженные силы РФ нуждаются в реформировании. Основными критериями оценки их возможностей при ведении вооруженной борьбы должны стать не численное превосходство над противником в мотострелковых, танковых войсках и артиллерии, а принципиально новые виды высокоточного, роботизированного, высокотехнологичного информационного оружия, использование глобальных систем наблюдения и целеуказания, применения систем управления войсками и оружием, действующих по сетцентрическому принципу.

В военной теории это означает переход от крупномасштабных оперативных действий, ведущихся массовыми армиями на широких тысячекилометровых фронтах, к мобильным действиям небольших оперативных группировок на отдельных операционных направлениях, перенос центра тяжести стратегических усилий в воздушно-космическую сферу, нацеленность на завоевание информационного пространства, обеспечение надежной защиты объектов и войск, государственной системы управления, инфраструктуры страны и функционирования экономики, стратегического, оперативного и войскового тыла.

Научное определение сущности такого сложного общественно-политического явления в жизни человеческого сообщества, каким является война, связывают с продолжением политики правящих кругов иными, насильственными средствами. Война включает совокупность различных **видов борьбы**: политической, экономической, информационной, вооруженной и т.д., которые вели, ведут и, видимо, будут вести между собой государства, общественные силы.

Основным элементом содержания войны является вооруженная борьба. В войне, как и в вооруженной борьбе, **все основное и главное обуславливается политикой**, ибо она **выбирает противника, союзников, определяет цели борьбы, общее соотношение сил и средств, задачи вооруженных сил, условия их выполнения, начало войны и ее конец.** Следовательно, **со сменой политического режима в стране возможна смена внешнеполитического курса и прекращение вооруженного противоборства!!!**

Вооруженная борьба ведется специально созданными и подготовленными для этого **группировками сил и средств**, представляет собой совокупность боев, сражений, стратегических действий войск, стратегических ударов. **Реализация политических целей** обеспечивается постановкой и достижением **стратегических целей.** В вооруженной борьбе стратегическая цель – это **предусматриваемый результат военных действий** в войне или

стратегической операции, достижение которой приводит к **коренным изменениям военно-политической, стратегической обстановки**, способствует дальнейшему успешному ведению войны и победоносному ее завершению. Стратегические цели сейчас могут достигаться путем *одновременного воздействия по объектам на всей территории вражеского государства и крупным группировкам вооруженных сил!!!*

В выступлении начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Российской Федерации, первого заместителя министра обороны РФ генерала армии Н.Е. Макарова в марте 2011 года на общем собрании **Академии военных наук** была озвучена важнейшая задача военной науки на современном этапе: **разработка концепции нетрадиционных войн и вооруженных конфликтов, форм и способов вооруженного противоборства, теории управления войсками с учетом нового облика Вооруженных Сил, внедрение в повседневную практику боевой и оперативной подготовки автоматизированных систем управления, средств связи, построенных на основе компьютерных сетей(9).**

Решение этих проблем происходит в условиях, когда активно развивается теория **информационного общества**, под которой понимается концепция постиндустриального общества, историческая фаза возможного эволюционного развития цивилизации, в которой **информация и знания соединяются и умножаются в едином информационном пространстве.**

Главными продуктами производства **информационного общества** становятся **информация и знания.** Информационно-технологическая революция быстро превращается в новую силу и делает возможным **массовое производство информации, новых технологий и знаний.** Ведущей отраслью экономики становится **интеллектуальное производство**, продукция которого аккумулируется и распространяется с помощью **новых телекоммуникационных технологий.** Стремительное развитие новых информационных и телекоммуникационных технологий приобретает характер **глобальной информационной революции**, которая затрагивает все сферы жизнедеятельности общества – **политику, экономику, управление и, конечно, военное дело.**

Информационные ресурсы становятся одним из ценнейших элементов как национального, так и общечеловеческого достояния. Результатом разворачивающейся информационной революции является **формирование нового типа общества – информационного.** Если учесть, что к настоящему времени объемы потоков информации удваиваются менее чем за пять лет, то **стратегически важным становится уже не столько владение информацией, сколько умение быстро ее обрабатывать, систематизировать и получать от нее новые актуальные знания с помощью информационно-интеллектуальных систем!!!**

Решать такие задачи не просто, поскольку **процессы принятия управленческих решений**

в областях политики, экономики, военного дела и т.п. имеют ряд особенностей:

- изменчивость характера процессов (политических, экономических, военных и т.п.) **во времени;**

- отсутствие достаточной количественной информации о состоянии и динамике процессов, что в реальной жизни часто вынуждает переходить **к качественному (иногда даже интуитивному) анализу этих процессов;**

- многоаспектность происходящих процессов и их взаимосвязанность, в силу чего невозможно вычисление и детальное исследование отдельных явлений – все происходящие в них **явления должны рассматриваться в совокупности и т.д.**

В силу указанных особенностей политические, экономические, военные и др. **системы** являются **слабоструктурированными**. Число факторов, описывающих состояние таких систем, может измеряться десятками. При этом все они вплетены в паутину меняющихся во времени и пространстве причин и следствий. **Увидеть и осознать логику развития событий на таком многофакторном поле крайне сложно**. Приходится использовать **компьютерные средства моделирования ситуации**. Подобные подходы в развитых странах используются уже десятки лет, в том числе и в военном деле. Сегодня они стали **основой управления в ходе враждебного противостояния и противоборства!!!**

Сейчас область разведки, планирования операций (боевых действий) стратегического, оперативного и тактического уровня стала важнейшей компонентной, определяющей военно-стратегический потенциал страны и ее способность защищать свой суверенитет. Информационные технологии ориентированы на то, чтобы помочь человеку в **постановке задач на решение слабо формализованных проблем** (политических, экономических, военных и т.д.), на выявление и эффективное использование имеющегося потенциала. Это обусловило то, что **война будущего становится войной интеллекта, технологий, противостояние на основе информационного и технологического превосходства!!!**

Степень развития технологий в первую очередь отражается на **облике вооружения и военной техники**. Появление технологий нового поколения существенным образом влияет на военную область. **Говорить по этому о будущих войнах только как о столкновении вооруженных сил, оснащенных новейшим оружием, сейчас уже не совсем корректно**.

Мы являемся свидетелями того, как **вооруженное насилие** в чистом виде все в большей степени уступает место. Появляются порождаемые новыми технологиями **другие формы и способы враждебного противостояния**, что подчеркивает значимость глубоких изменений сущности современной войны, в которой вооруженной борьбе **предшествует политико-дипломатическая игра, экономическая, информационная, информационно-психологическая и другие виды противоборства(7)**.

Значимость **нетрадиционных форм противоборства** особенно наглядно иллюстрирует развитие **способов информационной борьбы** в современных условиях. **Средства информационного воздействия** в настоящее время достигли такого развития, что способны решать **стратегические задачи геополитического уровня**. Современные информационные технологии позволяют **перестраивать сознание людей**. Это значит, что войны теперь будут проходить не только **в пространстве и во времени**, но и в ином измерении – **в сознании людей**.

Стратегическую роль информационной борьбы подтверждает и такой факт. С конца 90-х годов XX века основной тенденцией в развитии понимания роли и места информационного противоборства, утверждает специалисты американской корпорации «Рэнд», становится осознание того, что ***стратегическое информационное противоборство, является самостоятельным видом стратегического противоборства, которое способно разрешать конфликты даже без применения военной силы!!!***

В оборот введено понятие **стратегическое информационное противоборство «второго поколения»**. Если **информационное пространство** «первого поколения» решало задачи огневого подавления элементов структуры военного и государственного управления, ведения радиоэлектронной борьбы, получения разведывательной информации, осуществления доступа к информационным ресурсам противника с последующим их искажением и т. д., то **информационное противоборство «второго поколения»** предусматривает: ***создание атмосферы бездуховности и безнравственности, негативного отношения к культурному наследию противника; манипулирование общественным сознанием и политической дезориентацией социальных групп населения; политического напряжения и хаоса; дестабилизация политических отношений между партиями, движениями и объединениями с целью разжигания розни, противоречий; провокации конфликтов и порождения недоверия; обострение политической борьбы; проведение репрессий против оппозиции и даже гражданской войны и т.д.!!!***

Возрастание роли информационного противоборства в ходе вооруженной борьбы происходит по следующим направлениям:

- ***навязывание противнику своих правил ведения военных действий*** за счет возможности информационного обеспечения массированных высокоточных ударов по всем азимутам;
- ***единые унифицированные средства поражения различной дальности*** и различного базирования, использующие единую навигационную систему для нанесения ударов по любому объекту в любом регионе планеты;
- ставка на ***информационное обеспечение военно-технического превосходства;***
- ***создание сложной информационной и помеховой обстановки*** в воздушно-космическом

пространстве в районе боевых действий и на всем театре войны (военных действий);

- **сокращение использования активной радиолокации** в стратегических ударных и оборонительных силах.

В конце XX – начале XXI века мы отмечаем **трансформацию сущности войны и вооруженной борьбы**. Это потребовало изменения традиционных представлений о войнах прошлых поколений, а так же приведения системы обеспечения **национальной безопасности государства** в состояние адекватное изменившимся условиям, **глубоких преобразований военной организации государства, реформирования Вооруженных Сил**.

Значительные трансформации вооруженной борьбы произошли, начиная с последнего десятилетия XX века, когда обозначился своего рода **рубеж в развитии теории современной войны, средств вооруженной борьбы и военного искусства**. В современной вооруженной борьбе приоритеты отдаются **неконтактным действиям**, когда удары наносятся без входа носителей в зону поражения, а так же **действиям сил специальных операций, иррегулярным войскам, террористическим акциям!!!**

Основными признаками бесконтактных способов вооруженной борьбы являются следующее:

- **локальный или региональный размах** с основными военными действиями в воздушно-космическом пространстве;
- **использование разведывательно-ударных боевых систем** в формах воздушно-космическо-морских операциях **для разрушения военного и экономического потенциала противника**, находящегося на межконтинентальной дальности;
- **единая** для всех стратегических ударных и оборонных сил **координатная система**;
- **борьба между ударными и оборонительными средствами сторон**;
- **борьба с системами управления** стратегических ударных и оборонительных сил различного уровня;
- **радиоэлектронное подавление** (вплоть до перехода из обеспечивающего вида вооруженной борьбы в самостоятельный вид противоборства).

Средства вооруженной борьбы достигли в своем развитии такого уровня, что все чаще позволяют избегать в вооруженном столкновении непосредственного физического соприкосновения личного состава воюющих сторон. Это означает, что **человек**, участвующий в вооруженной борьбе, из простого воина **превращается в военного специалиста, управляющего сложной системой вооружения**. Возросла роль автоматизации практики управленческой деятельности в вооруженном противоборстве и автоматизированной подготовки и ведения боевых действий. Таким образом, в современных условиях **сущность войны радикально трансформировалась**. Сегодня война – **это продолжение политики**

средствами духовного, политического, экономического, других видов подавления и уничтожения противника, где вооруженная борьба не всегда может иметь определяющее, первостепенное значение(7)!!!

Новый взгляд на обеспечение военной безопасности страны заключается в том, что в будущем *угроза государству может исходить* не только от регулярной армии, *но и от всевозможных террористических, криминальных и других организаций, участники которых объединены в некие сетевые структуры, которые получили название «полицентрическая, идеологизированная сеть».* В условиях действия подобных угроз акцент может делаться на проведение невоенных, в обычном понимании этого слова, операций.

В конце 90-х годов XX века после окончания «холодной войны» **в целях поддержания военного превосходства США** над существующими и предполагаемыми в будущем соперниками **была разработана новая концепция применения вооруженных сил, ориентированная прежде всего на ограниченные (локальные и региональные) войны в различных регионах мира.** Отмечалась важность поддержания способности реагировать на весь спектр угроз. Особо выделялись **боевые действия «низкой интенсивности».** К этим действиям относились: **миротворческие операции, эвакуация мирного населения, морская блокада, установление бесполетных зон, нанесение авиаударов и ряд др.**

Эта концепция подразумевала широкое использование прежде всего **высокоточного оружия, сетецентрических систем управления и новых средств связи!!!**

В качестве приоритетной была выбрана **концепция «сетецентрической войны»,** которая стала одной из ключевых в строительстве вооруженных сил. Она предполагала **развертывание цифровых сетей с целью обеспечения вертикальной и горизонтальной интеграции всех участников вооруженной борьбы (операции), изменение тактики действий воинских формирований с рассредоточенными боевыми порядками, оптимизацию способов разведывательной деятельности, упрощение процедур согласования и координации огневого поражения, а также некоторое нивелирование разграничения средств по звеньям управления!!!**

Появился новый термин – **«сетевая война».** Основные моменты, которые отличают «сетевую войну» от войны традиционной: **первый** - заключается в использовании географически **распределенной силы;** **второй** - в том, что силы, участвующие в «сетевой войне», - **высокоинтеллектуальны;** **третий** – **наличие развитых и надежных коммуникаций (связей) между их элементами в боевом пространстве, что позволяет им осуществлять совместные действия, быстро приспосабливаясь ко вновь возникающей ситуации(7).**

Инструментом достижения новых боевых возможностей (повышения степени реализуемости боевых потенциалов) в «сетевой войне» стали современные

информационно-коммуникационные технологии, которые не только определяют новые **принципы управления силами и средствами** в зависимости от выбора **сетевой архитектуры**, но и рассматривают **боевые формирования, средства поражения** (группы военнослужащих, танки, самолеты, корабли, средства управления, разведки, наблюдения и т.д.), как **своеобразные устройства подключенные к сети и их комбинацию**. *В этом случае возможности боевых формирований определяются не столько индивидуальными ТТХ отдельных образцов ВВТ, сколько возможностями всей группы подключенных к сети средств, как единого целого.* Так решается задача **получения эффекта от совместного действия объединенных в сеть средств вооруженной борьбы**, который по совокупному результату *превышает сумму эффектов от применения тех же средств по отдельности.* **Решение таких задач** без широкого использования возможностей современных научных знаний (руководствуясь только здравым смыслом) – **невозможно, т.к. не позволяет получить нужного эффекта!!!**

В средствах вооруженной борьбы сегодня происходит неуклонное **увеличение числа применяемых высокоточных средств поражения**. Таким образом, **приоритет отдается точечному, заранее выверенному воздействию** на военные и гражданские объекты противника. **Выверенность** достигается с помощью решения информационно-расчетных задач, позволяющих провести научно обоснованную **количественную оценку важности объектов** вероятного противника, находящихся в боевом пространстве, для решения задач **определения объектов поражения**.

Условия, формы и способы противоборства существенно изменились. Перспективными являются: более гибкие и разнообразные формы построения боевых порядков; готовность подразделений и воинских частей к самостоятельным высокоманевренным рейдовым действиям; развитие тактики оперативных маневренных групп и т.д. *Будущее вооруженной борьбы за новейшими технологиями, усиливается роль миниатюрных, компьютеризированных, роботизированных вооружений на пересечении нанотехнологии, робототехники и биотехнологии!!!*

Появилось много нового и в формах, способах использования сил и средств в вооруженном противоборстве. Если прежде **успешность боевых действий** оценивалась **числом потеть противника в живой силе и ВВТ, размерами захваченной (удерживаемой) территории** при условии сохранения боеспособности своих войск, **то в основу современной концепции вооруженной борьбы закладывается идея**, состоящая в том, что в ходе боевых действий **необходимо добиваться поражения** не вообще живой силы и ВВТ противника, захват его территории, **а определенных компонентов потенциалов противника**, обеспечивающих выполнение в вооруженной борьбе (операции) **задач (прежде всего оперативно-**

стратегического уровня) без обязательного разгрома группировок войск (сил) противника.

Такой результат предполагается достичь путем поражения критически важных (ключевых) объектов системы государственного и военного управления, экономики, инфраструктуры и объектов в составе группировок войск противника. Своевременным подавлением, выведением из строя (хотя бы на некоторое время) таких объектов решается задача принуждения агрессора к отказу от реализации намеченных планов в виду снижения потенциалов противника до *уровня не позволяющего достичь целей военных действий или по причине неприемлемости полученного ущерба(15)!!!*

В ряде источников содержание сетевых войн, которые вели США, и их союзники по НАТО, определяется как последовательное решение частных задач по поражению объектов противника прежде всего высокоточным оружием. Однако анализ показывает, что решение задач в сетевых действиях не спонтанный процесс, как его иногда представляют. Он четко направлен на достижение конкретных целей, которые определяются исходя из реальной обстановки, а объекты для поражения выбираются исходя из поставленных задач. Выбор объектов для поражения может производиться только на основе их предварительной оценки. Так в операции «Союзническая сила» (1999г.) войсками США и стран НАТО последовательно уничтожались средства ПВО, затем мосты, предприятия военно-промышленного комплекса, позже нефтеперерабатывающие заводы, объекты энергетической системы и т.д.

На первом этапе всех локальных войн, которые вели многонациональные силы в последнее время, было *выполнение заранее спланированных операций по поражению разведанных и хорошо изученных объектов на территории противника*. Четко просматривается тенденция первоочередного поражения средств массовой информации и ПВО. В дальнейшем выбирались объекты, для поражения исходя из требуемой последовательности решения задач военных действий.

На втором этапе сетевых действий – *последовательное поражение обнаруженных объектов*. Так в операции «Буря в пустыне» (1991г.) войска США и стран НАТО последовательно решали задачи по поражению *обнаруженных пусковых установок баллистических ракет, подавлению средств ПВО и других объектов (15)*.

Для планирования операций, решения задач сетевых действий, поражения объектов, расположенных на территории зарубежных стран, должны заблаговременно изучаться имеющиеся группировки ВС (воинские формирования, их вооружение и военная техника, состояние боевой готовности и боевые возможности, возможные способы использования сил и средств в вооруженном противоборстве и т.д.).

Для подготовки и ведения возможных военных действий необходимо располагать базами данных по группировкам сил и средств, объектам оперативного оборудования территории, объектам экономики, инфраструктуры и т.д. Информацию из баз данных с помощью аналитического аппарата (информационно-расчетных задач) перерабатывают и получают значительное количество **оценочных показателей**. Наличие такой информации обеспечивает проведение **оценки военной обстановки** различного масштаба (стратегического, оперативного, тактического), оказывает **поддержку при принятии решения на операцию (боевые действия)** и обеспечивает планирование, разработку способов действий для всех сил и средств, моделирование военных и других действий!!!

Сетецентрическая операция должна быть адаптивна к условиям конкретной обстановки, а ее план должен быть приспособлен к возможным вариантам начала и развития операции (боевых действий). В планах должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие возможность **целенаправленных действий воинских формирований и боевых систем** различного назначения.

При выработке замысла боевого применения сил и средств в операциях (боевых действиях) прежде всего стратегического уровня необходимо учитывать значительное число неопределенных и случайных факторов, характеризующих военно-политические, военно-технические и оперативно стратегические аспекты условий, которые определяют доступность, целесообразность и возможность применения, боевого использования тех или иных средств поражения в военных действиях различного масштаба и интенсивности.

Сетецентрические действия должны тщательно готовиться так же, как и традиционные операции, иначе невозможно обеспечить с самого начала их высокую активность. Для их подготовки обязательно должен быть разработан **общий план**. В содержание такого плана должны включаться традиционные элементы: *цель и задачи; общие способы решения задач; привлекаемые для этого войска (силы); ресурсы боевых и материальных средств; вопросы управления, взаимодействия, всестороннего обеспечения и т.д.*(15).

В начале планирования должна проводиться детальная **разработка возможных способов действий противника и способов применения войск в вооруженной борьбе (операции), их моделирование и анализ результатов** по критериям эффективности и ожидаемым потерям сил и средств, выбираются варианты действий войск (сил) для принятия решения на операцию (боевые действия).

Для адаптивных сетецентрических действий важно, чтобы было предусмотрено **несколько возможных вариантов начала и развития военных действий**. Изменяя исходные данные, нужно рассмотреть **несколько вариантов развития операций** и соответственно – **вариантов решения и плана**, что позволит динамично управлять ходом операции.

С началом военных действий на основе сравнения развития реальных и вариантов планируемых действий можно **оперативно ставить задачи на поражение разведанных объектов противника, на перенацеливание средств поражения, на сбор дополнительной информации по важным целям и т.п.** Это все требует быстрой комплексной количественной оценки важности объектов, расположенных на территории зарубежных стран.

Основу современных способов ведения вооруженного противоборства составляет организация поражающего воздействия, которая должна быть ориентирована, в первую очередь на вывод из строя критически важных (ключевых) объектов противника и достижение требуемой степени поражения его потенциалов. *Под критически важными (ключевыми) понимаются объекты политического, военного управления, инфраструктуры, экономики и жизнеобеспечения государства (региона), а также объекты в составе боевых и обеспечивающих систем группировок войск (сил) противника, определяющие их боеспособность.*

Причислять объекты к критически важным (ключевым) следует на том основании, что их поражение (нарушение нормального функционирования на определенное время) может привести к существенному нарушению функционирования всей системы: государственного и военного управления; экономики государства (региона); инфраструктуры; резкому увеличению степени поражения группировки войск (сил) и прекращению на какое-то время ее активных боевых действий и т.д. *Критически важные (ключевые) объекты определяются на всех уровнях командных инстанций противника и своих войск (стратегическом, оперативном и тактическом)(15)!!!*

В современных условиях важнейшим элементом формирования перечня целей для поражения при выполнении стратегических, оперативных и тактических задач является не только **выделение** в составе группировок войск противника **критически важных (ключевых) объектов** но и **выделение** других объектов противника для приоритетного поражения. *К ним относятся стационарные объекты оперативного оборудования территории зарубежных стран (стратегического, операционного направления), объекты экономики (прежде всего производство оперативно-стратегических средств вооруженной борьбы, средств, обеспечивающих их боевое использование) и инфраструктуры, а также пожаро-, взрыво-, химически-, радиационно и другие потенциально опасные объекты. Здесь требуется комплексная количественная оценка их важности. Последовательность и порядок выведения из строя объектов для поражения устанавливается с учетом их важности (степени опасности) для реализации избранного способа ведения вооруженного противоборства.*

Оценки важности объектов, расположенных на территории зарубежных стран (театров войны, военных действий, зарубежной части стратегических, операционных направлений) **должна производиться до начала военных действий**. Этому предшествует большая работа по *изучению объектов, их классификации, поиску критериев оценки, разработки математического аппарата, позволяющего рассчитывать числовые значения показатели важности и т.д.!!!*

Такая работа всегда проводилась и ведется в настоящее время. Трудности заключаются в том, что **на территории ЗС находится большое количество объектов различных классов** (военные, объекты экономики, инфраструктуры и т.д.). Эти объекты вносят различный вклад в **военный потенциал страны** (коалиции стран), **боевой потенциал группировок сил и средств**, использующих эти объекты для решения стоящих перед ними задач с началом военных действий. Характеристики свойств объектов могут быть количественными и качественными, иметь различную размерность и т.д.

В следствии этого результаты оценки чаще всего носят **качественно-количественный характер**, что для широкого использования их в **автоматизированных систем управления** вооруженными силами, боевыми действиями войск **крайне затруднительно**. Нужна комплексная **количественная оценка объектов**, расположенных на территории зарубежных стран. Желательно, чтобы оценка производилась по **одному критерию**, а результат оценки - **показатель их важности** был одинаковым хотя бы для одного класса объектов. В этом случае появляется возможность построения **приоритетного (ранжированного) ряда объектов** с их приоритетами важности и **выделение из этого ряда объектов, обеспечивающих вооруженную борьбу** (боевые действия) **наиболее опасных группировок сил и средств** (располагающих наибольшими возможностями по нанесению ущерба)!!!

Реальные воздушно-космические операции, проведенные вооруженными силами США и стран НАТО против Ирака (1991), Югославии (1999) показали, что вооруженное противоборство вступило в новое поколение войн и государства не подготовленные к ведению войны нового поколения обречены на поражение, так как для противостояния массированному удару высокоточных воздушно-космических средств надо иметь совершенно другие вооруженные силы. Они должны создаваться не на базе крупных сухопутных группировок войск, а прежде всего, на базе эффективной стратегической системы воздушно-космической обороны, способной отражать длительные массированные удары высокоточных средств противника и на базе достаточного количества собственных высокоточных средств поражения различной дальности действия, а также средств на новых физических принципах, действующих в соответствии с законами войны нового поколения.

Особенности боевого применения высокоточного оружия привели к необходимости

интеграции различных средств вооруженной борьбы в единые системы высокоточного оружия – разведывательно-ударные комплексы (РУК). РУК представляют собой сложные системы функционально взаимосвязанных средств разведки, управления, обеспечения и поражения. Высокоточное оружие требует серьезного навигационного обеспечения. Необходимо располагать радионавигационными системами на базе искусственных спутников земли. В ряде стран разрабатывается и используется общеземная система координат. В этом случае расстояние между взаимно расположенными различными объектами (например, стартовой позицией ракет и целями), находящимися друга от друга на десятки тысяч километров, можно определять с точностью 10 – 20 см. Сейчас это обеспечивают спутниковые навигационные системы. Решение таких задач позволяет с высокой точностью рассчитывать дальность и направление стрельбы (пуска) и как следствие с высокой точностью рассчитывать параметры настройки системы управления ракетного оружия. Широкое применение находят оригинальные методики, технологии, приборы высокоточной обработки космических снимков, которые открыли перспективу создания геоинформационных систем проектирования трехмерных моделей местности, создания и обновления топографических карт, планов городов, отдельных военных объектов (аэродромов, военно-морских баз, военных arsenалов и т.д.), объектов экономики, инфраструктуры (транспортные узлы, мосты, тоннели и т.д.), цифровых моделей местности, электронных карт и т.д.

Исключительно важной и многоплановой стала роль космоса, космических сил и средств. Из приземного космоса ведется непрерывная разведка, через космос обеспечивается управление, связь, метеообеспечение, навигация, радиоэлектронная борьба и др., а также будут наноситься высокоточные удары по целям на земле.

Существующие и разрабатываемые в ведущих странах мира высокоточные крылатые и другие ракеты наземного, воздушного и морского базирования могут быть эффективным оружием только в условиях информационного превосходства. Сейчас требуется с помощью средств информатики, разведки и связи быстро получать точную, своевременную и защищенную информацию. Правильно реагировать на любой конфликт с целью немедленного овладения ситуацией и принятия необходимых решений. Для этого нужны совершенно иные, глобальные военные системы командования, управления, разведки и связи. Необходимо иметь коммуникации информационных сетей, перекрывающих все сферы вооруженной борьбы практически по всему земному шару!!!

Для решения **широкого спектра задач** в возможных вооруженных конфликтах будущего США и страны НАТО создают **единую глобальную систему сбора, обработки информации за счет интеграции средств космической, авиационной, морской, наземной разведки, обеспечения целераспределения и целеуказания в реальном масштабе времени для**

ударов по важнейшим военным, экономическим объектам возможного противника, что представляется ВПР США и НАТО совершенно необходимым для ведения стратегической воздушно-космической операции на различных ТВД при управлении из одного центра с помощью глобальной системы оперативного управления, стратегической целью развития которой является создание единого информационного пространства для всех участников вооруженной борьбы!!!

В результате стремительного развития **информационных технологий** на рубеже XX – XXI веков в передовых странах запада **повысился уровень автоматизации управления подготовкой и ведением военных действий**, что потребовало внесения соответствующих изменений в теорию и практику военного управления. Сегодня от качества учета этих изменений в практике управления вооруженными силами (войсками) в значительной степени зависит *обеспечение достижения, как целей вооруженной борьбы, так и иных форм противоборства!!!*

Критическое рассмотрение проблем **подготовки и ведения военных действий** со времен «холодной войны» по настоящее время показало, что **организация управления вооруженными силами (войсками) у нас** давно кардинально не изменялась. По-прежнему осталось огромное количество задач, требующих своего решения. Вместе с тем современные информационные технологии позволяют существенно их сократить.

В 2010 году в России в рамках формирования нового облика Вооруженных Сил были сформированы четыре военных округа (**Западный, Восточный, Южный и Центральный**) и, соответственно, межвидовые органы управления – **объединенные стратегические командования (ОСК) как организационная система управления на ТВД**. Практически это **ставки на ТВД**, перед которыми стоит главная задача – **руководство крупномасштабными действиями, региональными или локальными войнами**. В прошлом система управления в нашей стране развивалась как ствольная конструкция. В каждом виде Вооруженных Сил, роде войск создавалась своя система (на флоте – АСУ «Море», в Сухопутных войсках – «Акацмя», в ВВС, РВСН похожая ситуация), которые не сопрягаются между собой (различный понятийный аппарат, различные подходы, методики решения одних и тех же задач и т.д.). В то же время остается проблемным вопросом разработка технической основы перспективной **информационно-управляющей системы**, в рамках **единого информационного пространства**, в котором должны быть интегрированы **подсистемы разведки, наблюдения, навигации, опознавания, целеуказания, наведения, боевого управления и ряд других (9)**.

Вполне очевидно, что сложные и разноплановые задачи **автоматизации управления вооруженными силами (войсками)** в современных условиях могут быть решены лишь на

основе **глубокой теоретической проработки**. Научные основы управления вооруженными силами (войсками), которые сформировались в 80-е годы XX столетия, **не отражают в настоящее время возросшего влияния современных информационных технологий на подготовку и ведение военных действий**.

В решении этой проблемы западные специалисты делают ставку на широкое использование моделирования и имитации для поддержки принятия решения, определения возможного развития событий, планирования выполнения задач на тренировках и в ходе операции (боевых действий).

Анализ результатов совершенствования **автоматизированного управления в Вооруженных Силах Российской Федерации** показывает, что в настоящее время не обеспечивается своевременность сбора, анализа и доведения информации; достаточность проводимых расчетов и моделирования при принятии решений и планировании операций (боевых действий); контроль разработки оперативных (боевых) документов; полноты учета изменений обстановки в ходе военных действий и т.д., что значительно *снижает эффективность подготовки и ведения вооруженного противоборства (11)!!!*

При решении проблем автоматизации основных информационных процессов приходится создавать **системы обеспечения автоматизированного управления**: интеллектуальные системы поддержки военных действий (ИСПВД); информационно-телекоммуникационные системы (ИТКС); системы поиска (добывания) информации. В системе автоматизированного управления **в качестве важной составной части** рассматривается ИСПВД, которая с соответствующим специальным программно-математическим обеспечением призвана адаптировать автоматизацию управления вооруженными силами (войсками) к целям и задачам действия войск. При этом наряду с задачами оптимизации действий войск (эффективного использования сил и средств) должны применяться многоуровневые системы (на стратегическом, оперативном, и тактическом) **комплексного моделирования противоборства сторон**, включающие моделирование систем всестороннего обеспечения и обслуживания (11).

Но моделирование противоборства сторон не должно быть **единственным способом решения задач оптимизации действий войск** (эффективного использования сил и средств) тем более, что этот подход на всех уровнях планирования (особенно оперативно-тактическом) по ряду причин (в том числе их большой сложности) весьма затруднителен!!!

Актуальность заблаговременной оценки объектов, расположенных на территории **зарубежных стран** определяется тем, что сегодня надо быть готовыми к тому, что **вооруженное противоборство** может начаться без вторжения сухопутных сил, нарушения воздушного или морского пространства самолетами ВВС, кораблями ВМС агрессора, а с

массированных ударов высокоточным оружием по военным, объектам экономики и инфраструктуры, на всю глубину территории страны, с различных направлений с целью **нанесения неприемлемого ущерба стране, ее вооруженным силам** с тем, чтобы обеспечить **достижение военно-политических целей** ВПР страны (коалиции стран) - **агрессора**.

Самой опасной (губительной для нашей страны) представляется **крупномасштабная война между коалициями государств или крупными государствами мирового сообщества**, в которой стороны будут преследовать **радикальные военно-политические цели**. Она может стать результатом эскалации **вооруженного конфликта, локальной или региональной войны с вовлечением значительного количества государств, различных регионов мира**. *Такая война потребует мобилизации всех имеющихся материальных ресурсов и духовных сил государств-участников (4).*

США в настоящее время в соответствии с **Единым стратегическим планом ведения глобальной ядерной войны**, который еще никто не отменял, держат под **ракетно-ядерным прицелом до 3200 военных и гражданских объектов на российской территории**. Существует **инициатива ВС США** по разработке системы, позволяющей нанести быстрый и точный удар (**быстрый глобальный удар**) обычным вооружением по любой точке планеты в течении 1 часа (по аналогии с ядерным ударом при помощи МБР) **в случае конфликта или чрезвычайной ситуации**.

В ближайшем будущем даже развитые в военно-экономическом отношении страны, видимо, не будут располагать для ведения крупномасштабной войны **необходимым количеством высокоточного оружия**. Поэтому вполне вероятно, что современная крупномасштабная война будет иметь как минимум два этапа. **На первом этапе** - может быть реализована **война нового поколения**, а если военно-политические цели не будут достигнуты, наступит **второй этап - вооруженная борьба предшествующих поколений с применением как обычных, так и ядерных средств поражения**. Другими словами **необходимо быть готовыми к противоборству как с высокотехнологичным противником, так и к традиционным формам и способам вооруженной борьбы!!!**

Всегда утверждалось в военной науке, что **достойный отпор агрессору** в войне (особенно крупномасштабной) может быть **гарантирован**, если **предпринятыми мерами будет подорван его военный потенциал (ВП)**. Важнейшей частью ВП государства, как системы потенциалов, является **стратегический потенциал** - это та часть военных возможностей государства, которая может обеспечить **в современной вооруженной борьбе решение задач стратегического масштаба**. Важнейшей составной частью стратегического потенциала государства являются **объекты стратегического потенциала**. К ним принято относить:

- объекты военно-политического руководства страны и вооруженными силами; объекты, обеспечивающие боевое использование оперативно-стратегических средств вооруженной борьбы;
- объекты военно-экономического и экономического потенциалов, обеспечивающие производство оперативно-стратегических средств вооруженной борьбы и средства, обеспечивающие их боевое использование;
- объекты, обеспечивающие всем необходимым для эффективного использования стратегических группировок сухопутных войск, ВВС, ВМС, а также позволяющие произвести оперативное и мобилизационное развертывание ВС.

Количество объектов стратегического потенциала государства определяется масштабом самого государства, его собственно военным, военно-экономическим, военно-научно-техническим потенциалами. Если речь идет о коалиции государств, то объектов может быть в разы больше и достигать десятков тысяч.

При планировании необходимых мер в вооруженном противоборстве с вероятным противником приходится решать **задачи оптимального использования имеющихся возможностей, т.е. располагаемым количеством сил и средств нанести максимальный ущерб стратегическому потенциалу агрессора** с тем, чтобы лишить его возможности по крайней мере **вести операции стратегического масштаба, т.е. на первом этапе решить задачу нанесению противнику неприемлемого ущерба !!!**

Такую задачу можно решить, если провести **комплексную количественную оценку военного значения объектов стратегического потенциала вероятного противника и построить на ее основе приоритетный (ранжированный) ряд объектов со своими приоритетами важности.**

В начале этого ряда должны находиться объекты, обеспечивающие боевое использование сил и средств, располагающих **наибольшими возможностями для нанесения ущерба** (обеспечивающие решение задач **стратегического уровня**), а **в конце** - объекты, обеспечивающие боевое использование сил и средств **тактического уровня**. Между ними будут находиться объекты обеспечивающие боевое использование сил и средств **оперативного масштаба.**

В результате **имеется возможность выделить** из полученного приоритетного (ранжированного) ряда **группу объектов**, расположенных на территории вероятного противника, **поражение которых в первую очередь может обеспечить нанесение наибольшего ущерба его стратегическому потенциалу** (вплоть до неприемлемого), что и позволяет в принципе решить задачу **оптимального использования имеющихся сил и средств в вооруженном противоборстве!!!**

*Оценка объектов страны (коалиции стран) вероятного противника должна проводиться заблаговременно еще в мирное время при оценке военной обстановки, планировании операций, для поддержки принятия решений на операцию, моделировании военных и других действий, разработке способов действий всех сил и средств **прежде всего на стратегическом уровне (11).***

Задачу оценки объектов **стратегического потенциала страны** (коалиции стран) вероятного противника и **выделение перечня наиболее важных** (опасных объектов, обеспечивающих боевые действия сил и средств, располагающих наибольшими возможностями по нанесению ущерба в вооруженной борьбе) **можно назвать базовой**, т.к. на практике приходится решать значительное количество **частых задач оценки объектов** расположенных на территории вероятного противника. Так, например, при решении задач **нанесения ущерба системам вероятного противника**: военного и государственного управления; собственно военной; военно-экономической; военно-научно-технической и т.д. может быть поставлена **задача поиска** в названных системах **уязвимых мест (критически важных объектов)**, нанесение ущерба которым **можно обеспечить потерю нормального функционирования этих систем** хотя бы на какое-то время.

Во всех случаях оперативного планирования (особенно на стратегическом уровне) решение базовой задачи оценки объектов (комплексной количественной оценки военного значения объектов стратегического потенциала ЗС (коалиции стран) вероятного противника) **всегда полезна, в том числе и при решении частных задач – поиска ключевых (критически важных) объектов**, так как позволяет **увидеть проблему вооруженного противоборства в целом** (имеется возможность получить **перечень объектов, характеризующих важнейшую часть военного потенциала страны** (коалиции стран).

Располагая перечнем объектов, характеризующих важнейшую часть военного потенциала страны (коалиции стран) вероятного противника, **имеется возможность представить –** поражая критически важные (ключевые) объекты и нанося ущерб системам государства (коалиции государств) (политического и военного управления, экономики, инфраструктуры, группировкам вооруженных сил и т.д.) **в какой мере наносится ущерб стратегическому потенциалу страны** (коалиции стран) **вероятного противника**. Это может подтвердить правильность выбранного подхода в определении перечня объектов для поражения путем **выбора критически важных (ключевых) объектов** или вызвать **сомнения и неуверенность в результатах первого этапа крупномасштабной войны!!!**

Вариант комплексной количественной оценки важности стационарных военных объектов (СВО), расположенных на территории зарубежных стран ЗС предложен группой авторов (Андриевский А.И, Андриевский И.А, Сидоров О.М) и опубликован в 2008г. в ВАГШ ВС РФ.

В предлагаемой методике использован системный подход, что позволило принять в качестве **объекта исследования систему «силы-средства-СВО»** и исследовать военное значение СВО ЗС в этой системе, *основанным и самым главным свойством которой является способность наносить ущерб в вооруженном противоборстве.*

Масштаб такого ущерба косвенно определяет **военное значение СВО ЗС**. В этом случае **военное значение любого стационарного военного объекта** оценивается как бы *в единой системе измерения*, что дает в последствии основание для их сравнения между собой (например, аэродром - с военным складом или пунктом управления, объектом связи и т.д.) и *построения единого приоритетного (ранжированного) ряда стационарных военных объектов, расположенных на территории страны (коалиции стран) вероятного противника.*

В качестве критерия оценки этой системы приняты **«возможности системы по нанесению ущерба в вооруженной борьбе»**. Аналитический аппарат, позаимствованный в квалиметрии (оценка качества продукции), позволяет довольно полно (комплексно) описать объект исследования через присущее ему дерево свойств, выбранное в связи с целями оценки, оценить количественно характеристики свойств с помощью экспертов, а затем эти оценки обобщить по методике принятой в квалиметрии.

Полученное **числовое значение обобщенного показателя военного значения системы «силы-средства-СВО»** связано с возможностями системы по нанесению ущерба в вооруженной борьбе и отражает ее **важность**, которую можно отнести на счет оцениваемого СВО ЗС, т.к. СВО обеспечивает боевое использование (применение) системы и без него эта система в боевой обстановке в принципе функционировать не может.

Такой подход позволяет для всех **СВО оперативного оборудования территории ЗС** получить *один общий показатель в единой форме выражения* – **обобщенный показатель важности (ОПВ) СВО ЗС**. Это делает возможным построить **единый приоритетный (ранжированный) ряд для всех СВО зарубежных стран (коалиции стран)**, из которого можно выделить **группу наиболее опасные СВО ЗС, представляющих важнейшую часть военного потенциала страны (коалиции стран)** т.к. их использует для решения стоящих в вооруженной борьбе задач **силы и средства возможного противника, располагающие наибольшими возможностями по нанесению ущерба и в силу этого способные решать задачи стратегического масштаба (18).**

Полученный приоритетный (ранжированный) ряд СВО ЗС с их приоритетами важности дает возможность **видеть во сколько раз один СВО опаснее другого, что является надежной научно-обоснованной базой исключаящей неопределенность, субъективизм, волюнтаризм, принятие грубых ошибочных решений в случае оперативного**

планирования, принятия решений на операцию, определения объектов поражения, моделировании военных и других действий, разработки способов действий всех сил и средств и т.д.

Методический подход предполагает иметь **базовую методику комплексной количественной оценки важности стационарных военных объектов, расположенных на территории зарубежных стран**, которая содержит исходные теоретические положения и основные понятия комплексной количественной оценки военного значения СВО ЗС.

На основании базовой методики можно подготовить нужное количество **частных методик комплексной количественной оценки важности объектов оперативного оборудования территории зарубежных стран** (военно-воздушных баз и аэродромов, военно-морских баз, пунктов базирования ВМС, портов, военных складов (складов ядерных боеприпасов, складов обычных боеприпасов, складов вооружения и военной техники, складов материально-технического снабжения и т.д.), пунктов управления, объектов связи и других).

Предлагаемый методический подход дает возможность, на ЭВМ меняя только весовые коэффициенты свойств (коэффициенты важности факторов), проводить многовариантные расчеты, строить приоритетные (ранжированные) ряды СВО ЗС под различные задачи оценки, что повышает значение предлагаемой методики, как исследовательской, поисковой.

Все это имеет исключительно важное значение при решении задач эффективного использования прежде всего оперативно-стратегических средств вооруженной борьбы, оптимизации мероприятий прежде всего стратегической разведки и решении целого ряда других задач, связанных с повышением эффективности планирования мероприятий, обеспечивающих военную безопасность страны как в мирное так и в военное время.

Рассмотренный методический подход комплексной количественной оценки военного значения СВО имеет широкий диапазон использования, в том числе **может быть использован и для оценки военного значения СВО, расположенных на территории Российской Федерации**. Оценка и построение приоритетных (ранжированных) рядов СВО, расположенных на территории РФ, позволяет выделить со своими приоритетами важности наиболее важные объекты, которые требуют, в целях обеспечения военной безопасности страны, дополнительного внимания при планировании мероприятий по защите (усиления охраны, маскировки, инженерной защиты, защиты от ударов с воздуха и космоса (воздушно-космическая оборона), оружия массового поражения, внимания разведывательно-диверсионных служб и т.д.).

Предлагаемый методический подход позволяет таким же образом оценивать объекты военного производства, что дает **возможность строить единые приоритетные ряды**

военных и объектов военной экономики!!!

Предлагаемый методический подход получения объективной, научно-обоснованной, комплексной, количественной оценки военного значения (важности) СВО ЗС позволяет в мирное и военное время во всех звеньях (стратегическом, оперативном и тактическом), при оперативном планировании во всех видах вооруженных сил и родах войск иметь общую платформу для единого понимания в практике оценки военного значения СВО оперативного оборудования территории ЗС, т.к. позволяет по единому критерию, в единой системе измерения, в единой форме выражения показателя военного значения (важности) оценивать ожидаемые промежуточные и конечные результаты планируемых мероприятий.

Библиографический список

1. Зарубежное военное обозрение, 2005г. №9,12; 2006г. №1,3,6,7,8,10; 2007г. №1,2,3,4,6
2. Гордиевский А. Вооруженные силы РФ, журнал «Ориентир» №2, 2004г.
3. Энциклопедия современного оружия и военной техники. Том 1 «Политика», С-Петербург, 1997г.
4. Военная доктрина Российской Федерации, Российская газета от 10 февраля 2010
5. Тараканов К.В. Математика и вооруженная борьба, М.: Воениздат, 1977
6. Баскаков В.Н. К вопросу об общей теории вооруженной борьбы, «Военная мысль» №7, 1985
7. Мальцев Л. Сущность войны и вооруженной борьбы: взгляд в будущее, МО Республики Беларусь, Официальный сайт, 09.04.2007
8. Макаров Н.Е. Характер вооруженной борьбы будущего, актуальные проблемы строительства и боевого применения Вооруженных Сил РФ в современных условиях, Вестник АВН №2, 2010
9. Макаров Н.Е. Важнейшая задача военной науки – разработка концепции нетрадиционных войн и вооруженных конфликтов. Вестник АВН № 2(35), 2010
10. Муравьев В.К., Андриевский И.А. Некоторые подходы к решению проблемных вопросов, связанных с оценкой важности стационарных военных объектов, расположенных на территории зарубежных стран. Вестник АВН, №2/(35), 2011
11. Скоков С.И., Выговский И.И., Проблемы и направления совершенствования автоматизированного управления подготовкой и ведением военных действий, Военная мысль №9, 2011
12. Копытко В.К., Шептура В.Н. Проблемы построения единого информационного пространства Вооруженных Сил РФ и возможные пути их решения, Военная мысль №10, 2011
13. Ляпин В.Р., Зимин В.Н., Барвиненко В.В. О построении комплексов средств автоматизации в АСУ войсками (силами) для ведения сетевых действий, Военная мысль №11, 2011
14. Дульнев П.А., Ковалев В.Г., Ильин Л.Н. Ассиметричное противодействие в сетевых действиях, Военная мысль №10, 2011
15. Бобриков А.А. Методика обоснования решений по огневому поражению противника, Военная мысль №11, 2011
16. Протасов А.А., Соболевский В.А., Сухорутченко В.В., Борисенко А.С. Методическое обеспечение выработки замысла применения ВТО большой дальности в операциях (боевых действиях), Военная мысль №10, 2011
17. Останков В.Н. Военная безопасность России в начале XXI столетия. М.: Вече. 2007

18. Андриевский А.И, Андриевский И.А, Сидоров О.М. Исследование важности стационарных военных объектов, расположенных на территории зарубежных стран. М.: ВАГШ ВС РФ, 2008



Безопасность в строительстве

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ВИБРАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ DEVELOPMENT OF THE THEORY OF SPECTRAL ANALYSIS VIBRATION DIAGNOSIS OF OBJECTS IN CONSTRUCTION RANDOM DYNAMIC EFFECTS

УДК 624.01.004.58

Исхаков Ш.Ш.

Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации

Iskhakov Sh.Sh.

Federal state educational institution of higher military professional education "Military Space Academy named A.F.Mozhayskogo" Ministry of Defence

Аннотация

Излагаются теоретические основы анализа спектров вибрационных сигналов при мониторинге технического состояния зданий и сооружений при воздействии случайных динамических нагрузок по критериям трансформации резонансных пиков в спектрах вибрационных сигналов.

Summary

The theoretical framework for the analysis of vibration signals in the spectra monitoring of approved technical condition of buildings and structures under the influence of random dynamic loads on the criteria of transformation of the resonance peaks in the spectra of vibration signals.

Ключевые слова:

ИСПЫТАНИЕ, КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА, ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, СПЕКТРЫ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ, МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ, НЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Key words:

TESTING, CONTROL, DIAGNOSTICS, DYNAMIC IMPACT SPECTRA OF VIBRATION SIGNALS, MONITORING BUILDINGS AND STRUCTURES-MAKING, TECHNICAL CONDITION, BEARING ELEMENTS, MONITORING SYSTEM

Введение

Здания и сооружения, испытывающие на себе воздействие случайных динамических нагрузок, представляют собой достаточно обширный класс строительных объектов различного назначения.

Для подобных объектов динамические нагрузки в общем случае являются нестационарными функциями времени $P(t)$, результирующие характеристики которых, как правило, не поддаются аппаратной регистрации. В лучшем случае удается регистрировать реализации

$P_i(t)$ этих случайных нагрузок в отдельных i -х точках динамического (пульсационного) поля, нестационарного по пространству и времени. К числу таких нагрузок относятся пульсационные составляющие турбулентных потоков ветрового напора [3] и технологических воздействий газовой струи реактивных двигателей [1, 13] (рис.1 и 2).

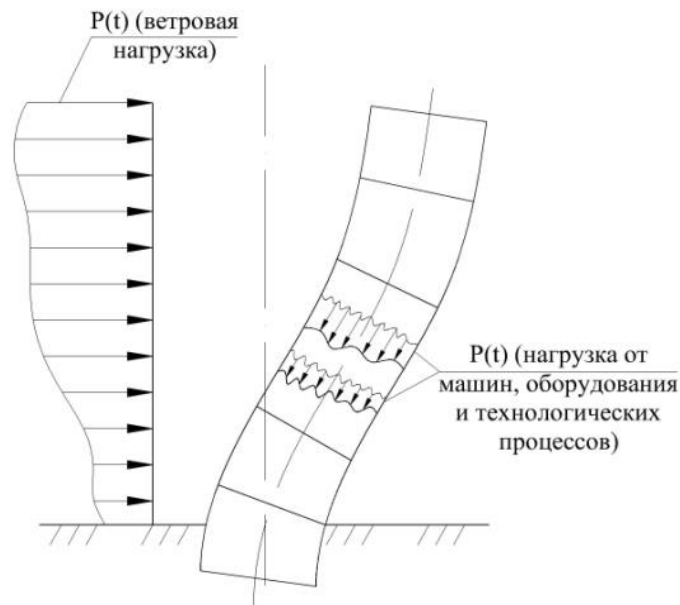


Рис. 1. Схема работы высотного здания при воздействии ветровых нагрузок.

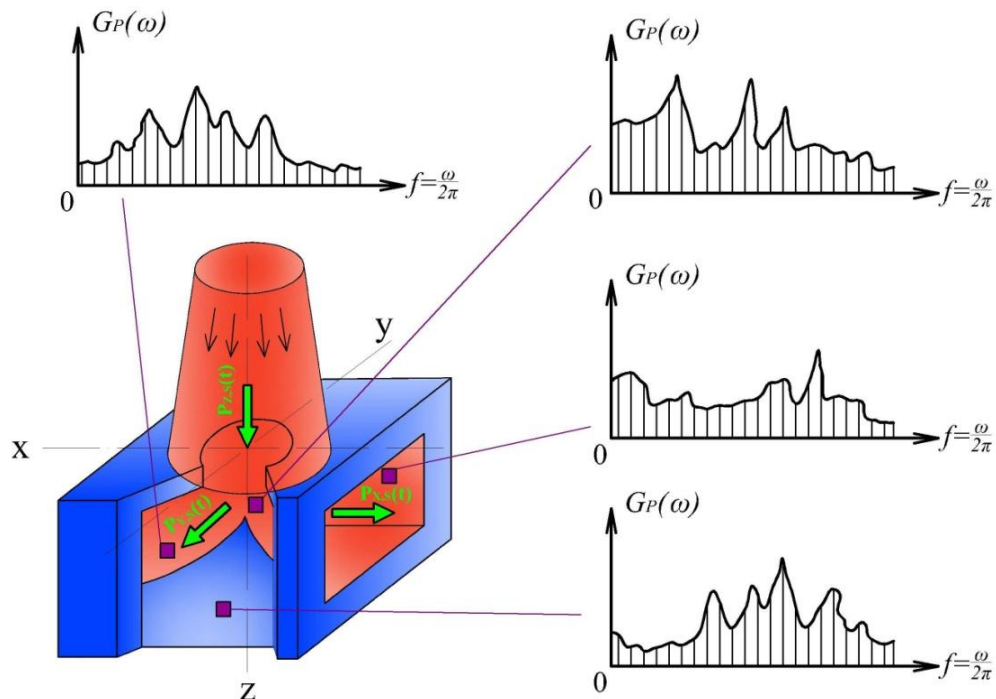


Рис. 2. Воздействие газовой струи на специальное сооружение [13].

Случайный нестационарный характер носят также сейсмические нагрузки природного происхождения (от землетрясений) и техногенной сеймики (рис. 3), вызываемой движением

транспорта, взрывами на карьерах при добычи камня и полезных ископаемых, а также от боевых зарядов при ведении военных действий.

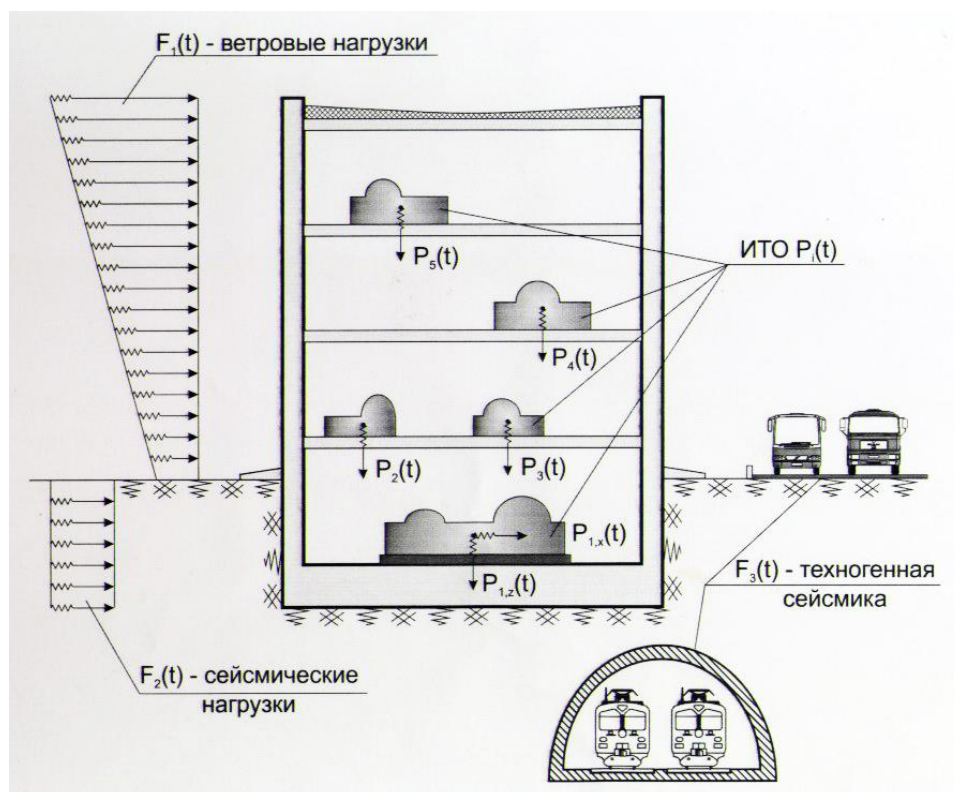


Рис. 3. Общий случай воздействия динамических нагрузок на здания и сооружения.

Очевидно, что здания и сооружения, подпадающие под действие указанных нагрузок, испытывают динамические перемещения и деформации (вибрации) $V(t)$, которые в общем случае также носят случайный нестационарный характер.

Невозможность регистрации результирующих нагрузок $P(t)$, вызывающих колебания $V(t)$ эксплуатируемых строительных объектов, создает известные трудности в диагностировании технического состояния несущих элементов (строительных конструкций и грунтового основания) зданий и сооружений [1, 9 – 11, 13], поскольку при неизвестных входных нагрузках $P(t)$, нереализуемой оказывается традиционная процедура получения **передаточных функций** $\eta_j(\omega)$ [3, 5] указанных j -х несущих элементов строительных объектов, которые в общем случае могут содержать в себе диагностические признаки $ДП_{i,j}$ изменения состояния несущих элементов зданий и сооружений:

$$V(t)P(t) = \eta_j \omega \subset ДП_{i,j}, \quad (1)$$

$$P_t = ? \quad (2)$$

При условиях (1), (2) и общей нестационарности входных P_t и выходных $V(t)$ процессов задачу обнаружения диагностических признаков $ДП_{i,j}$ изменения состояния j -х несущих

элементов строительного объекта при i -х формах их колебаний приходится решать на основе анализа характеристик только выходных вибрационных сигналов $V(t)$ в предположении, что хотя бы на ограниченных временных интервалах Δt процессы P_t и $V(t)$ носят стационарный и достаточно эргодичный характер [3 – 5]. В этом случае возможно использование спектральных представлений процессов P_t и $V(t)$ в виде функций спектральных плотностей (спектров Фурье) соответственно $GP(\omega)$ и $GV(\omega)$ и выполнять процедуру поиска передаточных функций $\eta_j\omega$ j -х динамических систем по модели «черного ящика» [5, 12], используя вместо (1), (2) традиционные зависимости вида:

$$\eta_j\omega = GV(\omega)GP(\omega), \quad (3)$$

$$GP\omega = ? \quad (4)$$

Однако и в этом случае из-за незнания энергических спектров входных воздействий $GP\omega$ (4) традиционный поиск передаточных функций $\eta_j\omega$ (3) и содержащихся в них диагностических признаков $ДП_{i,j}$ (1) изменения состояния j -х динамических систем, входящих в состав строительного объекта, оказывается также нереализуемым. В этой связи возникает нетрадиционная задача распознавания диагностических признаков $ДП_{i,j}$ изменения состояния j -х динамических систем на основе анализа спектров выходных вибрационных сигналов $GV(\omega)$,

$$GV\omega \subset ДП_{i,j}, \quad (5)$$

при неизвестных, но априорно предполагаемых спектрах входных нагрузок $GP\omega$ (4). При этом, практическое решение задачи (5) требует детального анализа возможных форм неизвестных спектров входных нагрузок $GP\omega$ (4) и генерируемых ими спектров выходных сигналов $GV(\omega)$ по алгоритму функционирования модели «черного ящика» (рис. 4), записываемого в традиционном виде (6) [3, 5, 9 - 11]:

$$GP\omega \cdot \eta_j\omega = GV\omega. \quad (6)$$

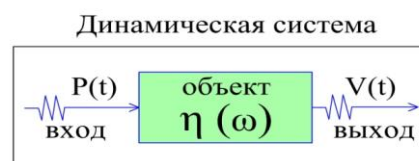


Рис. 4. Модель «чёрного ящика».

Таким образом, диагностирование состояния несущих элементов строительных объектов при воздействии случайных динамических нагрузок $P(t)$ (рис. 1 – 4) возможно лишь на основе совместного рассмотрения процедур (5) и (6) с использованием основ **спектрального анализа** случайных процессов, теория которого для рассматриваемых динамических систем (рис. 1 – 3) до настоящего времени недостаточно разработана.

1. Возможности реализации нетрадиционного вибрационного диагностирования состояния строительных объектов

В силу условий (2) и (4) практическая реализация процедуры (5) на основе алгоритма (6) требует предварительного обоснования проявления возможных диагностических признаков $ДП_{i, j}$ изменения состояния строительных конструкций и грунтового основания зданий и сооружений при воздействии на них динамических нагрузок $P(t)$ (рис. 1 – 3). При этом приходится учитывать тот факт, что в соответствии с действующей нормативной базой по диагностированию технических состояний зданий и сооружений [8, 17] основным критерием при идентификации этих состояний является изменение (снижение) **несущей способности** (НС) грунтовых оснований и строительных конструкций. В тоже время в нормативных документах [8, 17] отсутствуют количественные показатели снижения НС элементов строительных объектов при переходе их технических состояний от высших (исправных, нормативных, проектных) к низшим (недопустимым и аварийным) классам состояний, что затрудняет на практике диагностирование этих состояний только по качественным признакам НС, декларируемым в [8, 17]. В этой связи для реализации процедуры (5) необходимо найти такие диагностические признаки $ДП_{i, j}$, которые позволяют выявлять **количественные** показатели $\Delta(НС)$ снижения несущей способности грунтовых оснований и строительных конструкций:

$$ДП_{i, j=f\Delta(НС)}. \quad (7)$$

Очевидно, что в общем случае для нахождения зависимости (7) могут быть использованы общеизвестные положения таких отраслей знания, как сопротивление материалов и строительная механика, в которых несущая способность элементов зданий и сооружений может оцениваться либо по фактическим нагрузкам R_f , которые не должны превосходить критические нагрузки $R_{кр}$, либо по фактическим напряжениям σ_f , которые не должны превосходить предел прочности R строительных материалов грунтовых массивов:

$$R_f \leq R_{кр}; \quad (8)$$

$$\sigma_f \leq R. \quad (9)$$

В эксплуатируемых строительных объектах использование критерия (9) требует измерения фактических напряжений σ_f в материале строительных конструкций и в грунтовом основании, что возможно при использовании тензометров, устанавливаемых в процессе возведения зданий и сооружений в составе стационарных (желательно автоматизированных) систем мониторинга состояния инженерных конструкций (СМИК) [7, 13]. Если же комплекты тензометрического контроля (ТК) не используются в составе СМИК, то оценивание снижения НС грунтовых оснований и строительных конструкций по критерию

(9) практически невозможно.

Очевидно, что использование критерия (8) требует измерения (регистрации) фактических, а не прогнозируемых (проектных), нагрузок R_f , которые могут носить как статический (от собственного веса конструкций и оборудования), так и динамический (рис. 1 – 3), характер. При этом следует иметь в виду, что в эксплуатируемых зданиях и сооружениях регистрация фактических статических нагрузок R_f , как правило, не производится. В следствие этого не возможно использовать критерий (8). По этой причине нахождение однозначных и достоверных диагностических признаков $ДП_{i, j}$ снижения НС грунтовых оснований и строительных конструкций (7) является одной из нерешенных проблем в области технической диагностики состояния зданий и сооружений при действии **статических нагрузок**.

При действии **динамических нагрузок $P(t)$** (тестовых и функциональных, рис. 1 – 4) ситуация, как показано в работах [1, 9 – 11, 13, 14], оказывается более оптимистичной. Связано это с тем, что не смотря на то, что результирующие параметры функциональных динамических нагрузок $P(t)$ мы, как правило, также регистрировать не можем [см. Введение, рис. 1 – 3 и условия (2), (4)], тем не менее, как показывают теоретические и натурные исследования [1, 13, 14], в спектрах $GV\omega$ выходных вибрационных сигналов $V(t)$ в некоторых случаях удается обнаруживать информативные диагностические признаки $ДП_{i, j}$ (5), содержащие в себе показатели снижения несущей способности $\Delta(НС)$ (7) грунтовых оснований и строительных конструкций. При этом в качестве интегрального показателя НС элементов зданий и сооружений приходится использовать пространственную жесткость C j -х динамических систем, входящих в состав строительного объекта в виде его грунтового основания и несущих строительных конструкций (рис. 5). Показано [1, 9 – 11, 13, 14], что в качестве показателя жесткости грунтовых оснований могут быть использованы коэффициенты упругости равномерного и неравномерного сжатия и сдвига грунта K_z, K_x, K_y, K_ϕ [15], регламентируемые в СНиП 2.02.05-87 [16] (см., например, рис. 5, п.п. 1.1: коэффициент K_z при вертикальных колебаниях сооружения на грунтовом основании).

Для несущих пролётных конструкций в качестве параметра C следует использовать изгибную жёсткость этих конструкций (см. рис. 5, п. 2).

Теоретические исследования, подтверждённые многолетними натурными данными на специальных сооружениях (СС) (рис. 2 и 6) с помощью комплектов вибрационного контроля (ВК), входящих в состав систем испытания и долговременного контроля (ИДК) (рис. 7), научная школа разработки и применения которых основана в ВКА имени А.Ф.Можайского с конца 60-х годов прошлого столетия [1, 13], позволили выявить два информативных диагно-

стических признака **снижения** жёсткости C (несущей способности) грунтовых оснований и строительных конструкций (см. рис. 5, п.п. 1.1) [9 – 11]:

- снижение собственной (резонансной) частоты j -ой динамической системы на некоторую величину $\Delta\lambda$ при снижении жёсткости системы на некоторую величину ΔC :

$$\Delta\lambda \Leftrightarrow f\Delta C; \tag{10}$$

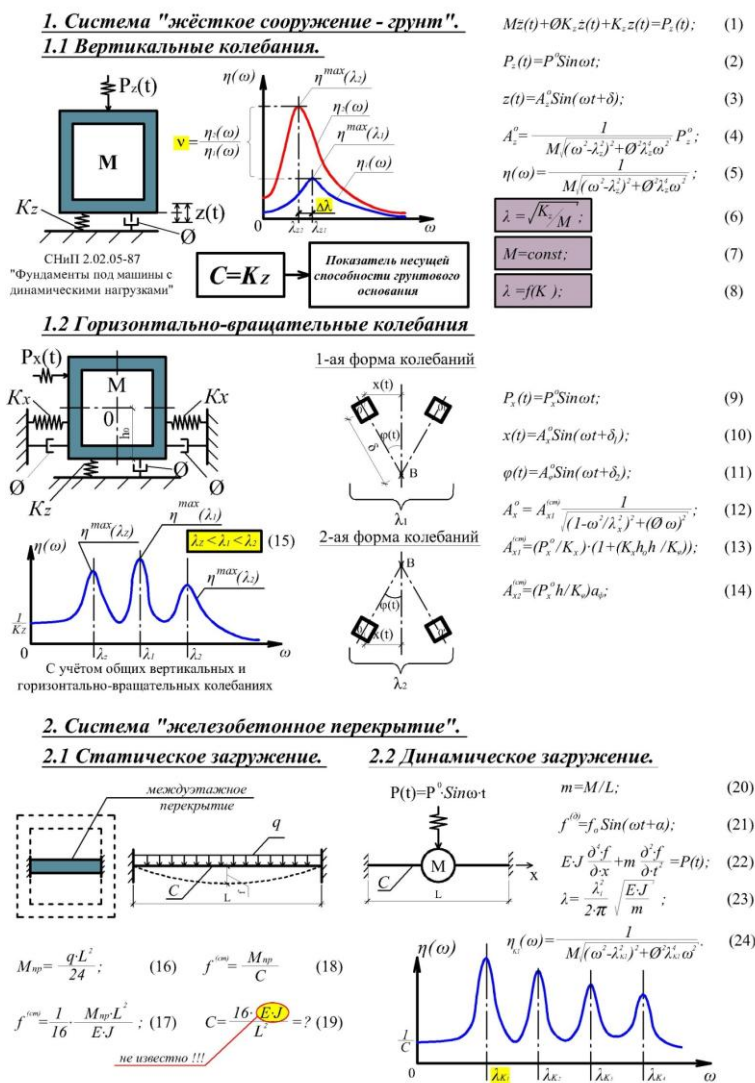


Рис. 5. Теоретическая идентификация условно дискретных j -х динамических систем, входящих в состав сооружения.

- увеличение пикового (резонансного) значения передаточной функции j -ой динамической системы $\eta_j \omega$ в некоторое v раз при снижении жёсткости системы на некоторую величину ΔC :

$$v \Leftrightarrow f\Delta C. \tag{11}$$

Таким образом в общем случае мы можем пользоваться двумя диагностическими признаками снижения НС (7) грунтовых оснований и строительных конструкций при воздействии динамических нагрузок (рис. 1 – 6), основанных на зависимостях (10) и (11):

$$\Delta(НС) = f\Delta\lambda, v. \tag{12}$$

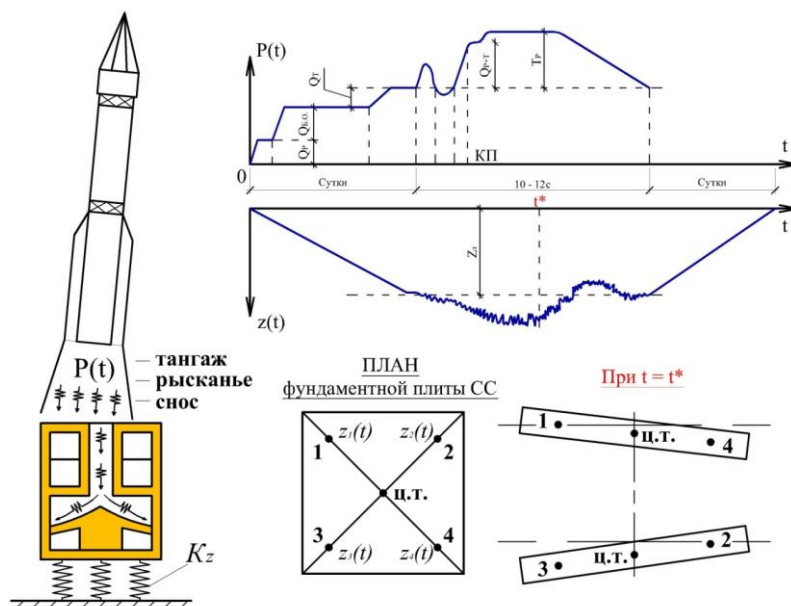


Рис. 6. Исследование динамики специальных сооружений.

Однако, основным (однозначным) диагностическим признаком в (12) является первый, то есть (10) [2, 9 – 11], так как второй диагностический признак (11) может проявляться не только при снижении жёсткости динамической системы С, но и при возрастании энергии в спектре динамической нагрузки $GP(\omega)$ (6) (рис. 5).



Рис. 7. Структурная блок-схема системы ИДК на СС.

Диагностические признаки (10) – (12) физически проявляются в виде изменения передаточной функции $\eta_j\omega$ j -х динамических систем (рис. 5). Однако непосредственно выявить графическую (аналоговую) форму этих функций $\eta_j\omega$ при вибрационном диагностировании состояния натуральных строительных объектов по традиционному алгоритму (3) никогда не удаётся ввиду трудностей регистрации входных воздействий $P(t)$ и их спектров $GP(\omega)$ [см. условия (2) и (4)]. В этой связи приходится реализовывать условно «нетрадиционный» метод вибрационного диагностирования состояния несущих элементов строительных объектов на основе диагностических признаков (10) – (12), выявляя их непосредственно в спектрах $GV(\omega)$ (5) выходных вибрационных сигналов $V(t)$ [1, 9 – 11, 13]. Новизна данного метода подтверждена авторским свидетельством на изобретение [2].

Однако возможность практической реализации данного метода вибрационной диагностики требует всякий раз спектрального анализа выходных вибрационных сигналов $V(t)$ (рис. 4) на предмет выявления в их спектрах $GV(\omega)$ (5) проявления диагностических признаков $ДП_{i,j}$ (10) – (12) при неизвестном спектре входных нагрузок $GP(\omega)$ (4).

2. Постановка задачи спектрального анализа выходных вибрационных сигналов

Теоретической основой спектрального анализа выходных вибрационных сигналов $V(t)$ с целью выявления в их спектрах $GV(\omega)$ (5) диагностических признаков (10) – (12) снижения несущей способности элементов строительных объектов является алгоритм (6) функционирования динамических систем по модели «чёрного ящика» (рис. 4). При этом, ввиду того, что спектр входной нагрузки $GP(\omega)$ в алгоритме (6) неизвестен [см. (4)], то приходится обосновывать ряд принципов [11], позволяющих выявлять диагностические признаки (10) – (12) непосредственно в спектре $GV(\omega)$ выходного вибрационного сигнала $V(t)$.

Проблема заключается в том, что традиционное использование алгоритма (6) (рис. 4) предполагает, что при трёх функциях, входящих в (6) в виде спектров случайных процессов $GP(\omega)$, $GV(\omega)$ и передаточной функции динамической системы $\eta_j\omega$, по двум любым известным из этих функций можно всегда найти третью неизвестную функцию. Нетрадиционность ситуации в диагностировании состояния строительных объектов (рис. 1 – 6), в отличие от других технических устройств и систем, заключается в том, что в алгоритме (6) применительно к диагностированию состояния несущих элементов зданий и сооружений искомым (неизвестным) является передаточная функция j -х несущих элементов $\eta_j\omega$, но в то же время есть ещё один неизвестный параметр – энергетический спектр случайных динамических нагрузок $GP(\omega)$ (4). Таким образом, очевидно, что при двух неизвестных

функциях $[\eta_j(\omega)$ и $GP(\omega)$] одной известной (регистрируемой) функции спектральной плотности выходного вибрационного сигнала $GV(\omega)$ недостаточно для определения по традиционному алгоритму (6) искомой передаточной функции $\eta_j(\omega)$ несущих элементов строительных объектов. Возможности же распознавания параметров передаточных функций $\eta_j(\omega)$ [в частности, в виде зависимостей (10) – (12)] путём решения задач (5) и (7) в теории спектрального анализа случайных процессов при неизвестных спектрах входных процессов до настоящего времени мало исследованы.

Если логический алгоритм (6) [12] использовать как обычное математическое уравнение, то его решение при двух неизвестных функциях $\eta_j(\omega)$ и $GP(\omega)$ возможно лишь в случае, если на основании каких-либо физических представлений нам удаётся полагать, что одна из этих неизвестных функций может быть априорно задана. С этой точки зрения полезно иметь в виду, что передаточные функции $\eta_j(\omega)$ строительных систем всегда могут быть определены теоретическим путём по правилам строительной механики и динамики сооружений [3, 5], как это, например, представлено на рис. 5 для системы «жёсткое сооружение – грунт» (рис. 5, п.п. 1.1 и 1.2) и пролётных конструкций (рис. 5, п. 2). Понятно, что теоретические (расчётные) передаточные функции $\eta_j(\omega)$, определяемые на стадии **проектирования** строительных объектов, всегда в той или иной степени отличаются от **фактических** передаточных функций несущих элементов эксплуатируемых строительных объектов. Поэтому задачей технической диагностики как раз и является **«распознавание фактических состояний»** объектов по их фактическим (а не прогнозируемым) физическим параметрам [6].

Вместе с тем использование расчётных передаточных функций $\eta_j(\omega)$ (рис. 5) – это лучше, чем не использовать вообще никакую информацию о физических свойствах диагностируемых объектов.

При этом с диагностической точки зрения нас должна интересовать не столько явная, аналоговая (графическая) форма передаточных функций $\eta_j(\omega)$, сколько информативные физические параметры, содержащиеся в этих функциях $\eta_j(\omega)$ и являющиеся диагностическими признаками интересующих нас свойств объекта. В данном случае, как было показано выше, нас прежде всего должен интересовать такой физический параметр передаточных функций, как собственная (резонансная) частота j -х динамических систем $\lambda_{i,j}$ по их возможным i -м формам колебаний (рис. 5), поскольку снижение этих резонансных частот колебаний $\Delta\lambda$ является основным диагностическим признаком снижения жёсткости C (а следовательно и снижения HC) интересующих нас динамических систем (10), (12). Из этого становится понятным, что при использовании расчётных (проектных) значений составленных (резонансных) частот колебаний $\lambda_{i,jp}$ при диагностировании состояния натуральных эксплуатируемых строительных объектов всегда есть почти стопроцентная вероятность того,

что эти расчетные значения $\lambda_{i, jр}$ никогда точно не совпадут с фактическими значениями резонансных частот колебаний $\lambda_{i, jф}$:

$$\lambda_{i, jф} \neq \lambda_{i, jр}. \quad (13)$$

Вместе с тем мы должны представлять себе, что при достаточно детальном обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений, если нам удастся получить достаточно точные данные по их физическим параметрам (весовым, габаритным, прочностным и т. п. характеристикам), то расхождение в соотношении (13) могут оказаться не столь уж значительными. Так, для динамической системы «жёсткое сооружение – грунт» при чисто вертикальных колебаниях всего сооружения в целом на грунтовом основании (рис. 5, п.п. 1.1.) собственная частота вертикальных колебаний этой системы λ_z , как известно, равна:

$$\lambda_z = \sqrt{C/M}, \quad (14)$$

где $C=K_z$ – жёсткость грунтового основания, оцениваемая коэффициентом упругого равномерного сжатия грунта K_z [15, 16];

M – масса сооружения.

В случаях, если в процессе длительной эксплуатации строительного объекта его весовые (массовые) характеристики не изменялись,

$$M = \text{const}, \quad (15)$$

то изменение (снижение) собственной частоты колебаний $\Delta\lambda_z$ на основании (14) является функцией снижения только жёсткости (несущей способности) грунтового основания $\Delta C = \Delta K_z$:

$$\Delta\lambda_z = f(\Delta C) = f(\Delta K_z). \quad (16)$$

Следовательно, при использовании расчетных значений резонансной частоты колебаний $\lambda_{зр}$ (14) (рис. 5, п.п. 1.1) для целей диагностирования состояния грунтового основания по критерию (16) мы рискуем лишь тем, что фактическая резонансная частота $\lambda_{зф}$ колебаний всего сооружения в целом не будет совпадать с расчетной $\lambda_{зр}$ (13) лишь по той причине, что при обследовании сооружения нам не удалось достаточно точно установить его фактические массовые характеристики (M) и характеристики жесткости грунта (K_z), используемые в известной зависимости (14) [15, 16] (рис. 5). В этой связи следует проанализировать, как несовпадение (13) может сказываться при использовании зависимости (16) в качестве основного диагностического признака (10), (12) снижения НС грунтового основания, который должен обнаруживаться нами согласно нетрадиционного метода вибрационной диагностики [1, 2, 9 – 11] в спектрах $GV(\omega)$ выходных вибрационных сигналов $V(t)$ (рис. 4) в соответствии с (5) и (7).

Для ответа на этот вопрос необходимо прежде всего теоретически исследовать на сколько в принципе энергетические спектры $GV(\omega)$ вибрационных **перемещений** $V(t)$ могут быть информативными с точки зрения возможностей выявления в них:

во-первых, резонансных частот колебаний $\lambda_{i,j}$, например, λ_z (14);

во-вторых, смещений этого резонансного пика на некоторую величину $\Delta\lambda_z$ при снижении жесткости грунтового основания на некоторую величину ΔK_z (16).

Для исследования первого из этих вопросов рассмотрим гипотетический случай, когда нам удалось (пусть даже случайно) добиться совпадения расчетного и фактического значений резонансной частоты колебаний λ_z (14):

$$\lambda_{z\phi} = \lambda_{zp}. \quad (17)$$

Тогда мы можем достаточно точно построить график передаточной функции $\eta z \omega$, по зависимостям (5), (6) на рис. 5. При этом мы должны иметь ввиду, что в реальной динамической системе «жесткое сооружение – грунт» (см. рис. 2, 5 и 6) независимо от того, известен нам спектр $GP(\omega)$ входного воздействия $P(t)$ или нет (4), алгоритм (6) реализуется в любом случае. Из этого следует, что при условии (17) при гипотетически известной аналитической [(5), (6) на рис. 5] и графической форме передаточной функции $\eta z \omega$ мы можем задавать различные формы спектра $GP(\omega)$ входного воздействия $P(t)$ и по алгоритму (6) получать спектры $GV(\omega)$ динамических перемещений $V(t)$ сооружения на грунтовом основании с целью исследования вопроса о том, проявится ли в спектре $GV(\omega)$ выходного вибрационного сигнала пиковый экстремум передаточной функции $\eta z \omega$ на резонансной частоте $\omega = \lambda_z$ (17).

Аналогичная задача должна решаться не только для системы «жесткое сооружение – грунт» в целях исследования возможностей проявления диагностических признаков (10), (12), (16) в спектрах вибрационных перемещений $GV(\omega)$ всего сооружения в целом (см. рис. 5, п. 1), но и для несущих (например, балочных) конструкций зданий и сооружений (см. рис. 5, п. 2), собственная частота колебаний которых по их 1-ой (основной) форме колебаний λ_1 также, как известно, вычисляется по формуле (14), где M – масса балки, а C – изгибная жесткость балки, которая в общем случае является функцией ряда физических параметров:

$$C = fE, I, L, K, \quad (18)$$

где E – модуль упругости (Юнга) материала балки;

I – момент инерции сечения балки;

L – пролет балки;

K – коэффициент, зависящий от условий закрепления концов балки.

3. Исследование влияния формы спектра входных динамических нагрузок на возможности реализации вибрационного метода диагностирования состояния несущих элементов строительных объектов

Для решения задачи, сформулированной в разделе 2, следует рассмотреть характерные случаи возможных форм энергетического спектра $GP(\omega)$ случайной динамической нагрузки $P(t)$ (рис. 1, 2 и 4), влияющих на форму спектра вибрационных перемещений $GV(\omega)$ по алгоритму (6), анализ которых позволяет выявить их чувствительность (информативность) к проявлению в них диагностических признаков (10), (12), (16).

Первоначально рассмотрим решение этой задачи применительно к динамической системе «жесткое сооружение – грунт» при чисто вертикальных колебаниях сооружения (рис. 5 п.п. 1.1). При этом будем исходить из условия (17), полагая, что передаточная функция $\eta\omega$ этой системы точно описывается известной зависимостью (5) на рис. 5. Из этого следует, что если графическая (аналоговая) форма передаточной функции $\eta\omega$ известна (задана), то, задавая различные формы спектра входной нагрузки $GP(\omega)$, мы можем чисто графическим перемножением ординат графиков функций $GP(\omega)$ и $\eta\omega$ по алгоритму (6) строить графики спектра выходного вибрационного сигнала $GV(\omega)$.

Пользуясь указанным приёмом, рассмотрим решение задачи при следующих гипотетических **случаях** возможных форм спектра входной нагрузки $GP(\omega)$.

Случай 1. Основная энергия динамической нагрузки $P(t)$ [по её энергетическому спектру $GP(\omega)$] концентрируется в некотором диапазоне частот

$$0, \dots, \omega_k, \quad (19)$$

когда ω_k ниже собственных частот колебаний λ_i любой из j -х динамических систем (рис. 8):

$$\omega_k < \lambda_i. \quad (20)$$

Прежде всего, следует отметить, что исходная реализация, например, вертикальных виброперемещений $z(t)$ (рис. 5, п.п. 1.1) при случайных нагрузках $P(t)$ выглядит графически как «пила» (рис. 9) и выявить в ней резонансные частоты λ_i в принципе невозможно. Поэтому остаётся выяснить, могут ли быть выявлены собственные (резонансные) частоты λ_i в энергетическом спектре $Gz(\omega)$ виброперемещений $z(t)$ при чисто вертикальных колебаниях (рис. 5, п.п. 1.1) или горизонтально-вращательных колебаниях (рис. 5, п.п. 1.2) с резонансными частотами λ_1 и λ_2 (рис. 8).

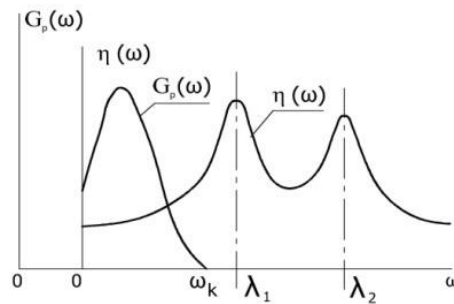


Рис. 8. Иллюстрация к случаю 1 (19), (20).

Однозначный ответ такой: при означенных условиях (19), (20) выявить резонансные частоты λ_i в энергетическом спектре $G_z(\omega)$ виброперемещений $z(t)$ невозможно по следующим причинам.

Ранее было показано (6), что в реальных динамических системах энергетический спектр $G_z(\omega)$ выходного сигнала (виброперемещений) $z(t)$ формируется как произведение передаточной функции $\eta(\omega)$ на энергетический спектр $G_P(\omega)$ входного воздействия (динамической нагрузки) $P(t)$:

$$G_z(\omega) = \eta(\omega) \cdot G_P(\omega). \quad (21)$$

Рис. 9. Пример реализации виброперемещений $z(t)$.

Из рис. 8, который графически иллюстрирует условия (19), (20) для случая $\lambda_i = \lambda_1, \lambda_2$, следует, что энергетический спектр динамической нагрузки $G_P(\omega)$ концентрируется в диапазоне частот (19) в дорезонансной зоне (20) передаточной функции $\eta(\omega)$. При этом в диапазоне частот (19) передаточная функция $\eta(\omega)$ почти линейна. Поэтому в результате перемножения $\eta(\omega)$ на $G_P(\omega)$ в правой части (21) энергетический спектр виброперемещения $G_z(\omega)$ по своей графической форме будет схож с энергетическим спектром динамической нагрузки $G_P(\omega)$ (см. рис. 8), но увеличенным на множитель $\eta(\omega)$ в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$ (19). В диапазоне же частот $\omega > \omega_k$ ординаты энергетического спектра виброперемещений $G_z(\omega)$ будут равны нулю, так как в этом диапазоне частот $\omega > \omega_k$ не действует динамическая нагрузка $P(t)$ (рис. 8):

$$G_P(\omega) = 0, \text{ при } \omega > \omega_k. \quad (22)$$

Следовательно, резонансные пики на частотах λ_i , которые имеют место в передаточной функции $\eta(\omega)$ (см. рис. 8), никак не проявятся в энергетическом спектре виброперемещений $Gz\omega$.

Случай 2. Динамическая нагрузка $P(t)$ является широкополосной в диапазоне частот (19) (в частном случае близка к «белому шуму») [4] (рис. 10) и при этом собственные (резонансные) частоты λ_i входят в диапазон частот (19):

$$\lambda_i > 0, \dots, \omega_k. \quad (23)$$

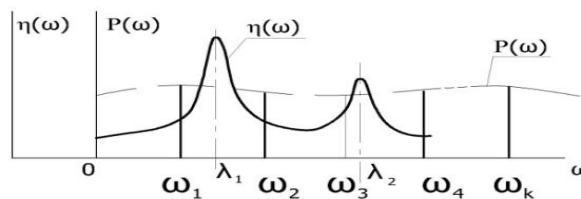


Рис. 10. Наложение расчётной передаточной функции $\eta\omega$ на спектр $Gp\omega$ динамической нагрузки Pt .

В этом случае очевидно, что при процедуре (21), когда энергетический спектр динамической нагрузки Pt постоянен в диапазоне частот (19),

$$\begin{aligned} GP\omega &= \text{const}, \\ \omega &= 0, \dots, \omega_k, \end{aligned} \quad (24)$$

пиковые значения на резонансных частотах λ_i передаточной функции $\eta(\omega)$ (рис. 10) проявятся в явном виде в графическом отображении энергетического спектра виброперемещений $Gz\omega$ (21), и, таким образом, будут выявлены резонансные частоты λ_i .

Случай 3. Динамическая нагрузка $P(t)$ является широкополосной в диапазоне частот (19), собственные частоты колебаний λ_i входят (23) в диапазон частот (19), но основная энергия $\text{ЭП1}\omega$ нагрузки $P(t)$ концентрируется в дорезонансном диапазоне частот $\omega_1 = 0, \dots, \omega_1$,

$$\text{ЭП1}\omega = GP\omega \cdot 0, \dots, \omega_1, \quad (25)$$

где

$$\lambda_i > \omega_1, \quad (26)$$

а в диапазоне частот

$$\omega_2 = \omega_1, \dots, \omega_k; \quad (27)$$

$$\lambda_i > \omega_1, \dots, \omega_k, \quad (28)$$

энергия $\text{ЭП2}\omega$ нагрузки $P(t)$ существенно меньше энергии $\text{ЭП1}\omega$ (25):

$$\text{ЭП}2\omega \ll \text{ЭП}1\omega. \quad (29)$$

Графически данный случай 3 представлен на рис. 11.

В этом случае при процедуре (6) пиковые образования на резонансных частотах λ_i могут проявиться, а могут и не проявиться достаточно контрастно (информативно) в энергетическом спектре виброперемещений $G_z\omega$ (21): всё зависит от того, насколько велика энергия $\text{ЭП}2\omega$ (29) нагрузки $P(t)$ в диапазоне частот (27). Если энергия $\text{ЭП}2\omega$ нагрузки в диапазоне частот (27) будет очень мала, то это будет равносильно случаю 1 (см. рис. 8).

Теоретически могут иметь место и другие случаи формирования энергетических спектров случайных динамических нагрузок, отличных от вышерассмотренных случаев 1 – 3, или сочетающих их элементы. Но для практических целей нас интересуют прежде всего такие случаи, которые наиболее характерны для реальных физических процессов как природного, так и технологического происхождения.

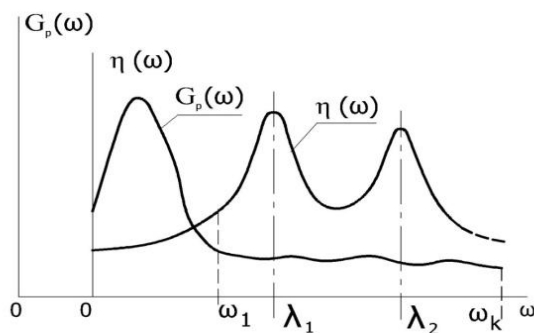


Рис. 11. Иллюстрация к случаю 3 (25) – (29).

В этой связи следует иметь в виду, что для большинства природных явлений и технологических процессов наиболее характерным является случай 3 [1,3,9 – 11, 13]. Данное обстоятельство является принципиальным для практики проектирования и диагностики технического состояния зданий и сооружений. При этом на стадии проектирования зданий и сооружений, когда расчётным путём определяются параметры их колебаний (см. рис. 5), бывает удобно использовать не реальные энергетические спектры нагрузки $G_P\omega$ нелинейного вида (рис. 8, 11), а линейризованные (приведённые) к «белому шуму» по принципу равенства энергии ЭП реальной динамической нагрузки и нагрузки, приведённой к «белому шуму». Например, случай 3 (см. рис. 11), отличается тем, что имеется два характерных диапазона частот энергетического спектра динамической нагрузки (26) и (27) с энергиями соответственно $\text{ЭП}1\omega$ (25) и $\text{ЭП}2\omega$ (29) и общая энергия ЭП такого спектра равна:

$$\text{ЭП} = \text{ЭП}1 + \text{ЭП}2, \quad (30)$$

(в формуле (30) зависимость энергии от частоты ω (25) и (29) условно не записана). Для реального спектра, нелинейного в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$, (рис. 11) его энергия ЭП, очевидно, равна:

$$\text{ЭП} = \int_0^{\omega_k} G P \omega \cdot d\omega. \quad (31)$$

Понятно, что использование процедур интегрирования типа (31) создаёт определённые неудобства на стадии проектирования зданий и сооружений, подверженных случайным динамическим нагрузкам. Поэтому реальный нелинейный спектр $G P \omega$ (см. рис. 11) нередко приводят к «белому шуму» с ординатой спектра $G P \omega$, постоянной в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$,

$$\begin{aligned} G P \omega &= \text{const}, \\ \omega &= 0, \dots, \omega_k \end{aligned} \quad (32)$$

из условия:

$$\text{ЭП} = \int_0^{\omega_k} G P \omega \cdot d\omega = G P \omega \cdot \Delta\omega, \quad (33)$$

где $\Delta\omega$ – интересующий нас диапазон частот, в данном случае $0, \dots, \omega_k$, численно равный ω_k .

На основании (33) ордината «белого шума» $G P \omega$ равна:

$$G P \omega = \frac{\text{ЭП}}{\omega_k}. \quad (34)$$

Удобство использования результата линеаризации (34) при проектировании зданий и сооружений заключается в том, что вместо переменного в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$ энергетического спектра $G P \omega$ (рис. 11) используют постоянную ординату $G P \omega$ «белого шума» (34), эквивалентного по общей энергии ЭП (30) динамической нагрузки.

Удобство использования в теоретических расчётах эквивалентного «белого шума» с постоянной ординатой $G P \omega$ (34) особенно очевидно, если учитывать тот факт, что в теории случайных функций [3,5] известно, что среднеквадратическое значение выходного сигнала виброперемещения $z_t - \sigma_z$ равно:

$$\sigma_z = \sqrt{12\pi} \int_0^{\omega_k} \eta(i\omega)^2 \cdot G P \omega \cdot d\omega, \quad (35)$$

где $\eta(i\omega)^2$ называют квадратом модуля передаточной функции, который в общем случае может быть комплексной (индекс i) математической функцией, но в данном случае есть просто квадрат от передаточной функции динамической системы типа (5) на рис. 5.

Понятно, что интегрировать произведение двух сложных функций в аналитическом виде, входящих в правую (интегральную) часть равенства (35), бывает достаточно трудоёмко. Куда проще, если предварительно выполнена процедура линеаризации энергетического спектра динамической нагрузки $G P \omega$ (34) под «белый шум». Тогда равенство (35) принимает более простой вид:

$$\sigma_z = \sqrt{12\pi} \frac{\text{ЭП}}{\omega_k} \int_0^{\omega_k} \eta(i\omega)^2 \cdot d\omega. \quad (36)$$

Однако эта «эквивалентность» приведения реального энергетического спектра нагрузки $G_P\omega$ к «белому шуму» (34) для получения более простого решения (36) в сравнении с (35) оказывается в действительности мнимой (обманчивой) в следующем физическом смысле.

Если в расчётах колебаний зданий и сооружений вместо реального энергетического спектра $G_P\omega$ (рис. 11) динамической нагрузки P_t использовать эквивалентный «белый шум» с ординатой $G_P\omega$ (34) во всём диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$, то это становится адекватным случаю 2, а следовательно в расчёте колебаний зданий и сооружений в выходном энергетическом спектре виброперемещений $G_z\omega$ (21) в диапазоне частот $\omega^2 = \omega_1, \dots, \omega_k$ (27) в явном виде проявятся «опасные» резонансные пики на частотах λ_i , в то время как в действительности при условии $\mathcal{E}P_2\omega \ll \mathcal{E}P_1\omega$ (29) эти резонансы на частотах λ_i могут быть очень слабыми, а потому и не представляющими опасности для зданий и сооружений. Однако если ориентироваться на линейризованный по «белому шуму» результат (34), дающий при расчёте наличие опасных резонансов на частотах λ_i (рис. 10), то это требует на стадии проектирования зданий и сооружений принятия специальных мер по усилению несущих конструкций на случай их резонанса (что нередко и регламентируется в ведомственных нормативных документах) в то время, как в действительности эти резонансы не представляют собой какой-либо серьёзной опасности.

Если же речь идёт о вибрационной диагностике технического состояния зданий и сооружений и при этом предполагается, что динамическая нагрузка $P(t)$ близка к «белому шуму» и следовательно резонансы несущих элементов на частотах λ_i (рис. 10) должны проявляться в энергетических спектрах виброперемещений $G_z\omega$ в явном виде, то в случаях, когда эти резонансы в спектрах $G_z\omega$ при диагностике зданий и сооружений не проявляются (как в случае 3), исследователи оказываются в «тупиковой» ситуации.

Таким образом, из изложенного следует, что если динамическая нагрузка $P(t)$, как в случае 3, имеет слабую энергию (29) в диапазоне резонансных частот λ_i (27), (28) несущих элементов зданий и сооружений, то энергетический спектр виброперемещений – $G_z\omega$ (21) оказывается неинформативным параметром вибраций, в том смысле, что в ситуациях (29) эти спектры $G_z\omega$ могут вообще не содержать явно выраженных пиковых образований на резонансных частотах λ_i на фоне общих нелинейных флуктуаций спектра $G_z\omega$ в диапазоне частот (27) (рис. 11). При этом на практике следует иметь в виду, что динамические нагрузки от большинства природных явлений и современных технологических процессов как раз и подпадают под случай 3 [1,3,9 – 11, 13]. Так, пульсационная составляющая газодинамической нагрузки, регистрируемая в отдельных точках случайного поля (рис. 2), может давать спектр в очень широком диапазоне частот, захватывая и диапазон резонансных частот λ_i специальных сооружений (27), (28). Однако, ввиду слабой пространственной корреляции

случайных высокочастотных пульсаций (в том числе, например, и в ветровой нагрузке) их результирующее действие оказывается низкочастотным, что вызывает и низкочастотные колебания высотных зданий (рис. 1) и СС (рис. 2 и 6). Поэтому в таком низкочастотном энергетическом спектре виброперемещений при спектре нагрузки, как на рис. 2.11, резонансные пиковые образования на частотах ω_i могут отсутствовать.

Аналогичным образом дело обстоит и в отношении результирующей нагрузки от поля пульсаций давления большинства технологических газодинамических процессов, включая турбулентные газодинамические потоки (см. рис. 6), в том числе при истечении газовых струй ракетных двигателей.

При сейсмических воздействиях (рис.3) также возникают низкочастотные колебания зданий и сооружений, и зафиксировать их резонансы в режиме виброперемещений также достаточно проблематично, за исключением случаев, когда при землетрясениях здания и сооружения совершают затухающие колебания на собственных частотах ω_i , которые и фиксируются СМИК, если СМИК установлена на объекте.

Совершенно иным образом обстоит дело, если при вибрационной диагностике технического состояния зданий и сооружений регистрируются с помощью акселерометров вибрационные (например, вертикальные) ускорения $z(t)$, что позволяет для реализаций акселерограмм получать их энергетические спектры $G_z\omega$.

Случайные широкополосные динамические нагрузки $P(t)$ имеют большое число гармоник, которые могут быть представлены рядами Фурье в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$. Реализации акселерограмм $z(t)$ также могут быть представлены рядом Фурье в диапазоне частот $0, \dots, \omega_k$ с гармониками на частотах ω_i :

$$z(t) = \sum_{i=1}^k A_{0z i} \sin \omega_i t \quad (37)$$

где $A_{0z i}$ - амплитуда i -той гармоники вибрационных ускорений.

При этом поскольку ускорения являются второй производной от перемещений, то гармоники виброускорений (37) по амплитуде отличаются от гармоник виброперемещений ($z(t)$) на квадрат своей частоты ω_i :

$$A_{0z i} = \omega_i^2 \cdot A_{0z i} \quad (38)$$

где $A_{0z i}$ - амплитуда i -той гармоники вибрационных перемещений.

Поэтому в случае 3 в диапазоне частот $\omega_2 = \omega_1, \dots, \omega_k$ (27), где нагрузка $P(t)$ обладает малой энергией (рис. 11), и потому малы и виброперемещения, спектр ускорений имеет очень большие ординаты за счёт квадрата частот ω_i своих гармоник, преобладавая над ординатами спектра ускорений в диапазоне $\omega_1 = 0, \dots, \omega_1$ (25). Это вызвано тем, что квадраты частот в диапазоне ω_1 (25) существенно меньше, чем квадраты частот в диапазоне ω_2 (27). В силу

этого, когда процедура (21) выполняется в режиме вибрационных ускорений и в левой части равенства (21) присутствуют квадраты частот ω_i , пиковые образования в передаточной функции $\eta\omega$ на резонансных частотах λ_i контрастно проявляются в энергетическом спектре виброускорений $G_z\omega$ (за счёт квадрата частот λ_i). Таким образом, квадраты частот вибрационных ускорений ω_i (в том числе и резонансных частот λ_i), в своих гармониках (37) графически отображаемые в энергетическом спектре $G_z\omega$, играют роль, своего рода, «усилителей», позволяющих контрастно выявлять пиковые образования на резонансных частотах λ_i . Для иллюстрации такого эффекта «усиления» на рис. 12 (для случая 3 по рис. 11) показано, как будут выглядеть в соответствии с процедурой (21) энергетические спектры виброперемещений $G_z\omega$, не фиксирующие резонансные пики на частотах λ_i , и виброускорений $G_z\omega$, контрастно фиксирующие резонансные пики на частотах λ_i (на рис. 12 графики функций $GP\omega$, $\eta\omega$, $G_z\omega$, $G_z\omega$ построены каждый в своём масштабе по оси ординат с единой осью частот ω).

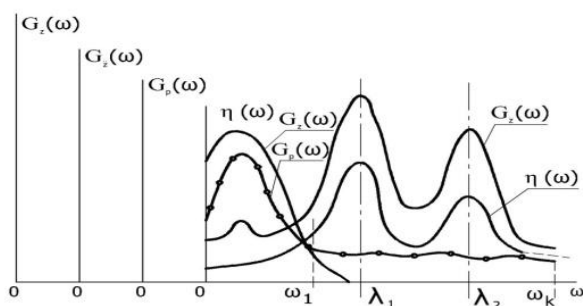


Рис. 12. Формы энергетических спектров нагрузки $GP\omega$, вибрационных перемещений $G_z\omega$ и ускорений $G_z\omega$ и передаточной функции $\eta\omega$.

Из приведённых примеров следует, что для случая 3 (29) (см. рис. 11) энергетические спектры вибрационных ускорений $G_z\omega$ (рис. 12) являются весьма информативными параметрами, содержащимися в выходном вибрационном сигнале z_t в отличие от энергетических спектров виброперемещений $G_z\omega$. При этом случай, представленный на рис. 12, физически означает, что хоть скоро резонансные пики на частотах λ_i не фиксируются в энергетическом спектре виброперемещений $G_z\omega$, следовательно данные резонансы [при этом спектре динамической нагрузки $GP\omega$] весьма слабые и проявляются они только в спектрах виброускорений $G_z\omega$. Этот пример показывает, что **выявление** при вибрационной диагностике технического состояния зданий и сооружений резонансов несущих элементов на частотах λ_i при низкочастотном энергетическом спектре динамической нагрузки $GP\omega$ типа (29) (рис. 11 и 12) необходимо не по той причине, что эти резонансы представляют серьёзную угрозу для несущей способности здания (сооружения), а по той причине, что установление в процессе дли-

тельной эксплуатации объекта факта **изменения** или **неизменения** резонансных частот колебаний λ_1 на основании зависимости (14) (при $M=\text{const}$) позволяет установить факт **изменения** или **стабильности** технического состояния несущих элементов по их параметру пространственной жёсткости «С» (16).

При этом нет необходимости определять абсолютное значение самой жёсткости «С» (что практически сделать невозможно). Достаточно в процессе длительной эксплуатации зданий и сооружений контролировать факт стабильности (или нестабильности) пространственной жёсткости «С» как показателя несущей способности конструкций и грунтового основания по такому диагностическому признаку, как изменение (или стабильность) резонансных частот колебаний λ_1 (14) несущих элементов здания или сооружения (при условии, что $M=\text{const}$).

При указанной методологии вибрационного диагностирования состояния зданий и сооружений искусство их мониторинга сводится к физической идентификации форм колебаний несущих элементов, которым соответствуют выявляемые резонансные частоты λ_1 , что само по себе на практике является достаточно проблемной задачей и требует специальной разработки методических подходов, основанных на детальном анализе динамики зданий и сооружений как на стадии проектирования, так и на стадии мониторинга при их длительной эксплуатации.

4. Принципы спектрального анализа функционирования несущих элементов строительных объектов при случайных динамических воздействиях

Из результатов физико-математического исследования, приведённых в разделе 3 данной статьи, вытекает ряд основополагающих **принципов**, использование которых может быть положено в основу методического подхода к выполнению спектрального анализа случайных входных и выходных процессов при выяснении вопроса о реализуемости «нетрадиционного» метода вибрационной диагностики состояния несущих элементов строительных объектов [9 – 11] при неизвестной функции спектральной плотности входного процесса $GP(\omega)$ (4).

К числу **первого** из этих принципов следует отнести постулирование того факта, что вибрационная диагностика состояния несущих элементов зданий и сооружений, при действии неизвестных (нерегистрируемых) (4) случайных динамических нагрузок, должна выполняться на основе одновременного анализа спектров вибрационных **перемещений** $GV(\omega)$ и **ускорений** $GV(\omega)$, которые при случайном (даже стационарном и эргодичном) их характере всегда существенно отличаются друг от друга в силу вышеуказанного в разделе 3 наличия в ординатах спектра вибрационных ускорений квадрата частот всех регистрируемых в вибрационном сигнале гармоник [см. (37) и (38)]. При этом по спектру вибрационных

перемещений следует судить о характере колебаний несущих элементов строительного объекта, что может дать один из двух эффектов:

1-ый эффект – в спектре вибрационных перемещений $GV(\omega)$ не проявляются резонансные пики передаточной функции $\eta\omega$ j -х несущих элементов строительного объекта на собственных частотах их колебаний λ_i, j (рис. 12);

2-ой эффект – резонансные пики на частотах λ_i, j достаточно информативно (явно) проявляются в спектрах вибрационных перемещений $GV(\omega)$.

Из указанных эффектов вытекают **следствия** (выводы) следующего содержания.

Из **1-ого эффекта** вытекают однозначные выводы:

а) основная энергия в неизвестном спектре $GP(\omega)$ входного воздействия концентрируется в низкочастотном (дорезонансном) диапазоне частот колебаний j -х динамических систем (см. рис. 12);

б) в силу вывода а) j -ые несущие элементы испытывают главным образом **вынужденные** колебания в низкочастотном (дорезонансном) диапазоне частот;

в) в силу выводов а) и б) сами по себе резонансы на частотах λ_i, j не представляют опасности для j -х несущих элементов [из этого однако не следует, что вынужденный режим колебаний j -х несущих элементов (см. вывод б) не может представлять угрозы для их несущей способности при значительной энергии неизвестной входной нагрузки (см. вывод б)];

г) из выводов а) и б) также следует, что в случае проявления 1-ого эффекта реализовать вибрационный метод диагностирования состояния j -х несущих элементов невозможно, поскольку в спектрах вибрационных перемещений $GV(\omega)$ не проявляются информативно резонансные пики на частотах λ_i, j (см. рис. 12);

д) из вывода г) следует, что для реализации «нетрадиционного» метода вибрационной диагностики необходимо использовать спектры вибрационных **ускорений** $GV(\omega)$.

Из **2-ого эффекта** вытекают следующие выводы:

е) на основе анализа спектров вибрационных **перемещений** «нетрадиционный» метод вибрационной диагностики в принципе **реализуем**;

ж) если [несмотря на вывод е)] в спектрах вибрационных перемещений резонансные пики на частотах λ_i, j проявляются не очень контрастно, то следует пользоваться выводом д);

и) резонансы, проявляющиеся в спектре вибрационных перемещений могут представлять собой значительную опасность для снижения НС j -х элементов строительного объекта в процессе его длительной эксплуатации.

В разделе 3 было отмечено, что для большинства строительных объектов динамические нагрузки природного, технологического и техногенного характера имеют спектры с основной

энергией в низкочастотном диапазоне, характерном для вышеприведённых выводов а) – д) и ж). Кроме того, для несущих строительных конструкций зданий и сооружений, запроектированных и построенных с достаточно высокой степенью надёжности, начальный период их эксплуатации могут вообще не проявляться резонансные эффекты в спектрах вибрационных перемещений (см. рис. 12). Поэтому, в указанных случаях, следует пользоваться выводами д) и ж), то есть необходимо использовать спектры вибрационных ускорений $GV(\omega)$ (см. рис. 12), спектральный анализ которых, в свою очередь, также может дать два эффекта, которые соответственно обозначим 2.1 и 2.2:

Эффект 2.1 – в энергетических спектрах вибрационных ускорений информативно (контрастно) проявляются резонансные пики на собственных частотах колебаний λ_i , j j -х несущих элементов строительного объекта;

Эффект 2.2 – резонансные пики на частотах λ_i , j не проявляются в спектрах вибрационных ускорений j -х несущих элементов строительного объекта.

Из **эффекта 2.1** вытекает следующий вывод:

к) идентификацию снижения НС j -х элементов строительного объекта следует выполнять по «нетрадиционному» методу вибрационной диагностики на основе диагностических признаков (10) – (12).

Из **эффекта 2.2** вытекают следующие выводы:

л) энергия воздействия неизвестной динамической нагрузки $P(t)$ (2), (4) на всё сооружение в целом (см., например, рисунки 2 и 6) настолько мала, что вообще не возбуждаются резонансные колебания всего сооружения в целом на грунтовом основании по каким-либо формам (см. рисунок 5, п. п. 1.1 и 1.2);

м) если эффект 2.2 проявляется в отношении j -х несущих строительных конструкций сооружения (см. рисунок 5, п. 2), то это, в дополнение к выводу л) о малой энергии динамической нагрузки $P(t)$, означает, что данная конструкция не испытывает резонансных колебаний в своём пролёте относительно опорных узлов и в силу вывода б) испытывает динамические перемещения вместе со всем несущим остовом сооружения.

Очевидно, что случаи, когда проявляются выводы л) и м), определяют область применения вибрационного метода диагностики состояния несущих элементов зданий и сооружений, который неэффективно использовать при слабых динамических воздействиях.

Рассмотренные выше эффекты с выводами а) – к) проявляются в случаях, если информативно проявляются резонансные пики на частотах λ_i , j в спектрах вибрационных либо ускорений, либо (что бывает значительно реже на практике) перемещений. Из этого следует, что на стадии проектирования вибрационной диагностической системы (ВДС) в составе СМИК [7] или системы ИДК, рис. 7 [1, 13] при разработке программно-

методического обеспечения мониторинга (ПМОМ) состояния строительных объектов всегда желательно знать возможный диапазон резонансных частот λ_i, j всех диагностируемых j -х элементов объекта независимо от того, проявится ли на стадии применения ВДС в эксплуатируемых зданиях и сооружениях эффект (13). В этой связи второй **принцип**, который обеспечивает применимость вибрационного метода диагностирования, заключается в том, что на стадии проектирования ВДС в обязательном порядке должны быть получены расчётные значения резонансных частот колебаний j -тых несущих элементов объекта $\lambda_i, jр$. Использование этого принципа позволяет правильно подобрать номенклатуру вибродатчиков в ВДС для регистрации вибраций на резонансных частотах колебаний диагностируемых j -х элементов. В процессе же самого вибрационного диагностирования в спектрах вибрационных ускорений и перемещений следует выявлять пики на фактических резонансных частотах $\lambda_i, jф$ независимо от того, совпадают ли они с расчётными $\lambda_i, jр$.

Вместе с тем, выявление резонансных пиков на частотах $\lambda_i, jф$, может быть сопряжено с определёнными трудностями связанными с тем, что в силу репродуцирования алгоритма (6) в реальных динамических системах в случаях, если в неизвестном спектре входной нагрузки $GP(\omega)$ (4) имеются собственные пики на некоторых частотах ω_p , то может возникнуть ситуация, затрудняющая выявление резонансных пиков на частотах $\lambda_i, jф$ на фоне пиков на частотах ω_p в спектрах выходных вибрационных сигналов ускорений $GV(\omega)$ или перемещений $G_v(\omega)$. Поэтому третий **принцип** касается того, что в необходимых случаях в спектрах вибрационных ускорений и перемещений должна производиться **фильтрация** пиков на частотах ω_p как побочных «шумов» в выходных вибрационных сигналах ускорений $V(t)$ или перемещений $V(t)$ (рис. 4). Методика фильтрации подобных «шумов» на частотах ω_p достаточно детально изложена в монографии автора [11].

Заключение

Использование прикладной теории случайных процессов [3 – 5] в практике анализа реальных случайных физических процессов нередко приводит к выявлению специфических случаев, ранее неисследованных в общей теории спектрального анализа случайных динамических процессов [4]. В подобных случаях практикам приходится выполнять детальный анализ и исследования специфических случайных динамических процессов на основе общей теории случайных процессов [4]. При этом результаты таких исследований вносят свою лепту в развитие общей теории спектрального анализа случайных процессов. В этой связи рассмотренная в данной работе область динамики строительных объектов, подверженных воздействию различных динамических нагрузок, также является достаточно

специфической областью общей теории спектрального анализа случайных процессов, которая до настоящего времени недостаточно изучена для практических целей диагностирования технического состояния зданий и сооружений, подверженных динамическим воздействиям.

Поскольку класс таких зданий и сооружений (см. рис.1 – 3, 6), в том числе ответственных и уникальных, достаточно обширен, то автор выражает надежду, что приведенные в данной работе результаты представят интерес для специалистов в области мониторинга технического состояния строительных объектов, выполняемого методом вибрационного диагностирования.

Получение изложенных в работе результатов стало возможным благодаря многолетнему исследованию динамики специальных сооружений (рис. 2 и 6) с помощью систем испытания и долговременного контроля (ИДК) (см. рис. 6, 7), проектируемых и используемых ВКА имени А.Ф.Можайского с начала 70-х годов прошлого века [1, 11, 13] и являющихся по существу, аналогами современных СМИК, применение которых регламентируется современной нормативной базой в нашей стране [7, 8]. При этом автор стремился акцентировать внимание на той специфике применения общей теории спектрального анализа случайных процессов [4], когда традиционные методы [3, 5] вибрационного диагностирования состояния строительных объектов нереализуемы в условиях отсутствия информации о параметрах случайных динамических нагрузок, которые, как правило, не регистрируются в процессе длительной эксплуатации зданий и сооружений при мониторинге их технического состояния. Вместе с тем, указанные специфические особенности требуют дальнейшего исследования рассматриваемой области мониторинга технического состояния зданий и сооружений как на основе накопления натурных данных, так и общей теории спектрального анализа случайных процессов.

Библиографический список

1. Исхаков, Ш.Ш. Адаптация результатов вибрационного мониторинга массивных специальных сооружений к сейсмическим исследованиям динамики зданий и сооружений в плотной застройке городов / Ш.Ш. Исхаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалев; под ред.чл.-корр.РАН Ф.Н. Юдахина // Сейсмологические исследования в арктических и приарктических регионах: коллективная монография.- Екатеринбург: ИЭПС УрО РАН, 2011.- Гл.19. с. 220-234.
2. А. с. RU(21) 2008 147445/28(13)А. Метод функциональной вибрационной диагностики изменения несущей способности грунтового основания и строительных конструкций зданий и сооружений / Н.Н. Гусев, Ш.Ш. Исхаков. – № 2008147445; заявл. 01.12.2008; опубл. 2010,

- Бюл. №16 ФГУ по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. – 3 с.
3. Барштейн, М.Ф. Динамический расчет высоких сооружений на действие ветра / В Справочнике по динамике сооружений; под ред. проф. Коренева Б.Г. и Рабиновича И.М.- М.: Стройиздат, 1972. с. 286-321.
 4. Бендат, Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол.- М.: «Мир», 1974.- 464 с.
 5. Болотин, В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин.- М.: Стройиздат, 1965. 256 с.
 6. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.- М.: ГОССТАНДАРТ, 1989.-8 с.
 7. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М.: МЧС РФ, 2005. – 22 с.
 8. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 60 с.
 9. Исхаков, Ш.Ш. Вибрационная диагностика сооружений в условиях низкой информативности данных по параметрам случайных входных воздействий// Программа Всесоюзной конференции по транспортным сооружениям: тез.док.– Л., 1988. – 2 с.
 10. Исхаков, Ш.Ш. К вопросу о прогнозировании выявления информативных диагностических признаков состояния зданий и сооружений при динамических воздействиях // Белые ночи – 2008: сб. док. юб. науч. чт. в 2 ч. Ч2. – СПб.: МАНЭБ, 2008. – с. 346 – 350.
 11. Исхаков, Ш.Ш. Вибрационная тостово-функциональная диагностика состояния строительных конструкций при мониторинге зданий и сооружений для предупреждения чрезвычайных ситуаций / Монография.- СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011.-226 с.
 12. Кондаков, Н.И. Логический словарь-справочник / Н.И. Кондаков.- М.: Наука, 1975.-717 с.
 13. Козин, П.А. Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок / П.А. Козин, Ш.Ш. Исхаков, В.М. Васкевич, Ф.Е. Ковалев; под рук. д.т.н., проф. К.И. Еремина // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч.тр.- М.: ООО «Велд» и др., 2010.-№ 9. с. 404-414.
 14. Суцев, С.П. Мониторинг технического состояния несущих конструкций высотного здания/ С.П. Суцев, И.А. Адаменко, В.В. Самарин, В.И. Сотин В.И.; под ред. К.И. Еремина // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сб. науч. тр. – М.: ООО «ВЕЛД» и др., 2009. – №8. – с.15 – 26.

15. Савинов, О.А. Фундаменты под машины / О.А. Савинов. - Л., М.: Стройиздат, 1955.-292 с.
16. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. - М.: ГОССТРОЙ, 1988.-52 с.
17. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений.- М.: ГОССТРОЙ РФ, 2004.-32 с.



МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ НЕДОПУСТИМЫХ СОСТОЯНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИХ СОСТОЯНИЯ

METHOD OF ESTIMATING THE RISK IN A VALID STATE FACILITIES CONSTRUCTION AND PERFORMANCE OF MONITORING OF THE STATE

УДК 624.01.004.58

Исхаков Ш. Ш.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. оцент кафедры «Инженерно-строительного обеспечения эксплуатации наземных комплексов» ВКА имени А.Ф. Можайского.

Iskhakov Sh.Sh.

Military Space Academy named AFMozhaisky. Assistant Professor of "Engineering and construction support the operation of ground-based" CPA named AF Mozhaisky

Ковалев Ф.Е.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Преподаватель кафедры «Инженерно-строительного обеспечения эксплуатации наземных комплексов» ВКА имени А.Ф. Можайского

Kovalev F. E.

Military Space Academy named AFMozhaisky. Teacher of "Engineering and construction support the operation of ground-based" CPA named AF Mozhaisky

Васкевич В. М.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Начальник кафедры «Инженерно-строительного обеспечения эксплуатации наземных комплексов» ВКА имени А.Ф. Можайского

Vaskevich V. M.

Military Space Academy named AFMozhaisky. Head of the Department of "Engineering and construction support the operation of ground-based" CPA named AF Mozhaisky.

Рыжиков В. Ю.

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского. Инженер ВКА имени А.Ф. Можайского.

Ryzhikov V.Y.

Military Space Academy named AFMozhaisky. Engineer of the Military Space Academy A.F.Mozhayskogo.

Аннотация

На основе многолетнего опыта применения систем мониторинга на специальных сооружениях излагается методика оценивания рисков недопустимых (в том числе и аварийных) состояний подобных сооружений, а также оценивания технико-экономической эффективности применения систем мониторинга.

Summary

Based on years of experience in the application of monitoring systems at special coop-zheniyah presents unacceptable risk assessment methodology (including accident-valued) states of similar structures, as well as technical and economic evaluation of the effectiveness of monitoring systems.

Ключевые слова:

ИСПЫТАНИЕ, КОНТРОЛЬ, РИСКИ, ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА, МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СОСТОЯНИЯ, НЕСУЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Key words:

TESTING, CONTROL, RISKS, VIBRATION DIAGNOSTICS, MONITORING BUILDINGS AND STRUCTURES, TECHNICAL CONDITION, BEARING ELEMENTS, MONITORING SYSTEM

Известно, что оценивание количественных показателей надёжности зданий и сооружений в соответствии с ГОСТ 27751-88 и ГОСТ 27002-89 как вероятности $P=0, 1$ того, что в заданный момент времени строительный объект будет обладать (или уже обладает) заданным состоянием, трудно реализуемо в практике эксплуатации зданий и сооружений из-за отсутствия нужного количества информации о параметрах состояния строительных объектов [1]. В этой связи альтернативным методом оценивания надёжности зданий и сооружений может являться оценивание вероятности риска возникновения какого-то числа N недопустимых (аварийных) состояний объекта за заданный период его эксплуатации $TЭ$:

$$P=NTЭ . \quad (1)$$

Теория оценивания рисков по зависимости (1) достаточно хорошо развита для технологических и технических систем и устройств [5] и находится в стадии становления для строительных объектов [4]. При этом для технических систем под N понимается число возможных отказов системы [5], а сама зависимость (1) формируется либо на основе статистических данных по работе реальных объектов – аналогов, либо зависимость (1) используется на основе экспертных оценок или на основе методов логического анализа.

Для строительных объектов число отказов [недопустимых (аварийных) состояний] целесообразно принимать равным $N=1$. При этом для практики было бы полезным, если хотя бы для каких-то отдельных (особенно технически сложных и уникальных объектов) показатели надёжности $P=0, 1$ и риска Π (1) были бы взаимосвязаны некоторыми обоснованными зависимостями типа:

$$f(P) \Leftrightarrow f(\Pi). \quad (2)$$

Для обеспечения надёжности строительных объектов повышенной ответственности нормативная база [2, 3, 6] требует применения систем мониторинга (СМ) их технического состояния, позволяющих своевременно оценивать снижение несущей способности (НС) грунтовых оснований и строительных конструкций и выполнять комплекс ремонтно-восстановительных работ (РВР) для поддержания работоспособного состояния объекта. В этой связи наличие зависимости (2) могло бы являться основой для оценивания технико-экономической эффективности применения СМ в целях повышения надёжности строительных объектов. Для этого целесообразно ввести показатель обеспеченности несущей способности (НС) строительного объекта η :

$$\eta=НСНСф , \quad (3)$$

где $НСф$ - фактическая несущая способность объекта (в том числе конструкций и грунтового основания), исчисляемая в процентах от начальной (сто процентной) $НС$, равной $НС=100\%$.

Введение показателя η (3) позволяет графически отображать взаимосвязь вложения денежных средств C на выполнение РВР на временных интервалах $\Delta T_{\text{Э}}$ и поддержания показателя η на некотором заданном уровне в течение периода эксплуатации строительного объекта $T_{\text{Э}}$, как это показано на рис. 1.

На рис. 1 представлен случай, когда максимальное значение показателя $\eta T_{\text{Э}}$ (3) нормируется значением

$$\eta_{\text{max}}=1,123, \quad (4)$$

что соответствует снижению несущей способности объекта до (с округлением) 89%,

$$HC_{\text{фmin}}=89\%, \quad (5)$$

или **снижению** несущей способности от начального значения HC на 11%:

$$\Delta HC=HC-HC_{\text{фmin}}=11\%. \quad (6)$$

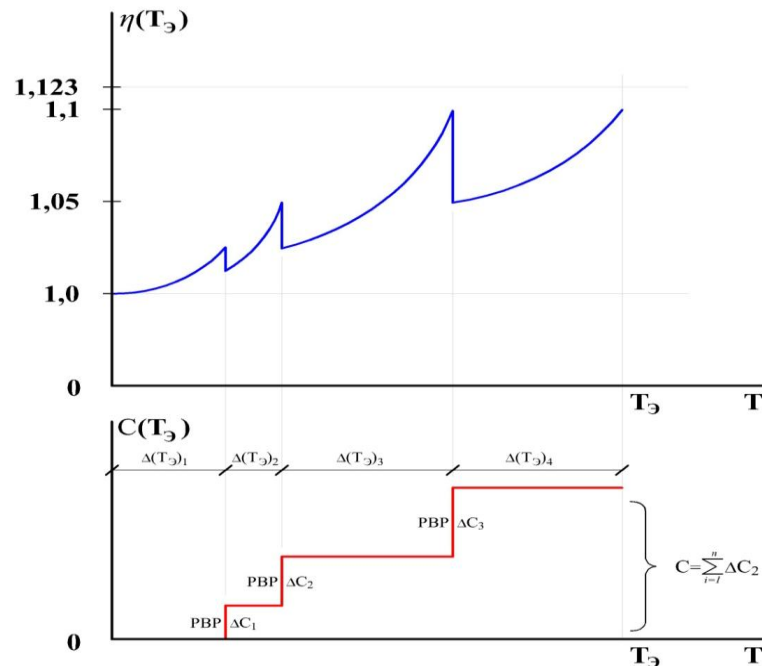


Рис. 1. Пример зависимостей $\eta(T_{\text{Э}})$ и $C(T_{\text{Э}})$.

Анализ многолетних статистических данных, накопленных в ВКА имени А.Ф.Можайского для специальных сооружений (СС), на которых использовались СМ в виде систем испытания и долговременного контроля (ИДК) (рис. 2), позволил получить экспертную зависимость надёжности данного типа строительных объектов $P=0, 1$ от показателя η

(3), представленную на рис. 3 кривой ABCD, и её аналитическую аппроксимацию (7) в виде кривой AB'C'D' (рис. 3):

$$P = \eta^6 - 1. \tag{7}$$

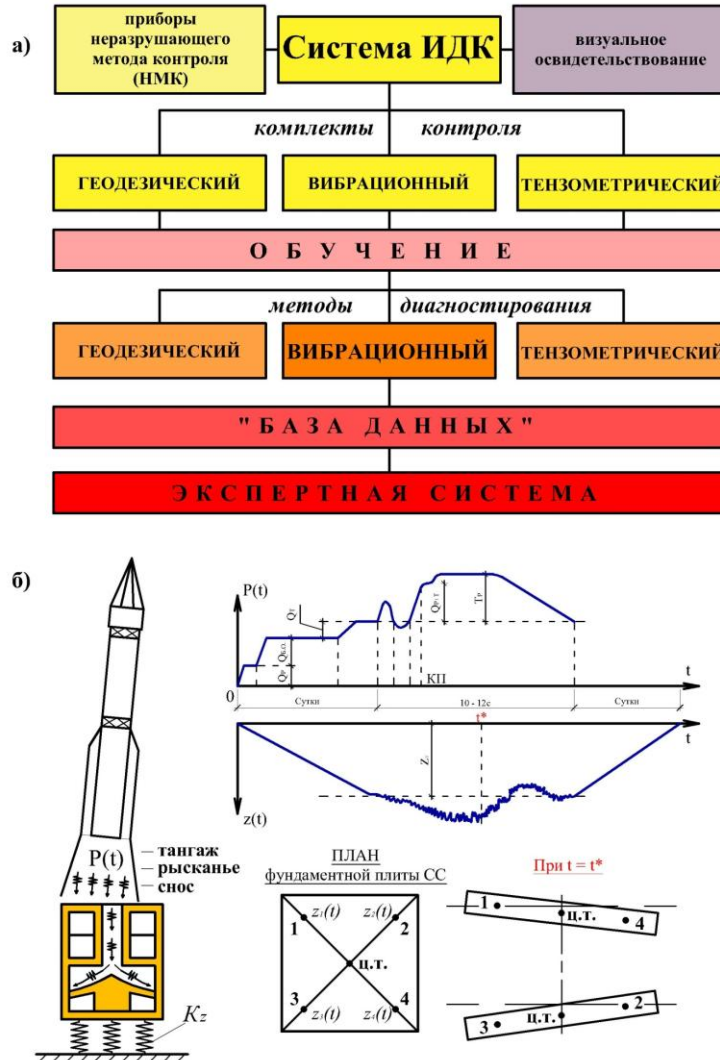


Рис. 2. а) Структурная схема системы ИДК; б) Схема загрузки СС

Зависимость (7) имеет то свойство, что при показателе η (3), равном значению (4) (рис. 1), вероятность обрушения СС по зависимости (7) равна 1,

$$P = 1 \text{ при } \eta_{\max} = 1,123, \tag{8}$$

а при $\eta = 1$ вероятность обрушения СС (7) равна нулю:

$$P = 0 \text{ при } \eta = 1. \tag{9}$$

Введём ещё один показатель в виде коэффициента ν , равного:

$$\nu = CSMCЭ, \tag{10}$$

где ССМ - стоимость системы мониторинга (системы ИДК, рис. 2);

СЭ - стоимость эксплуатационных затрат (на проведение РВР, рис. 1) для поддержания СС в работоспособном состоянии.

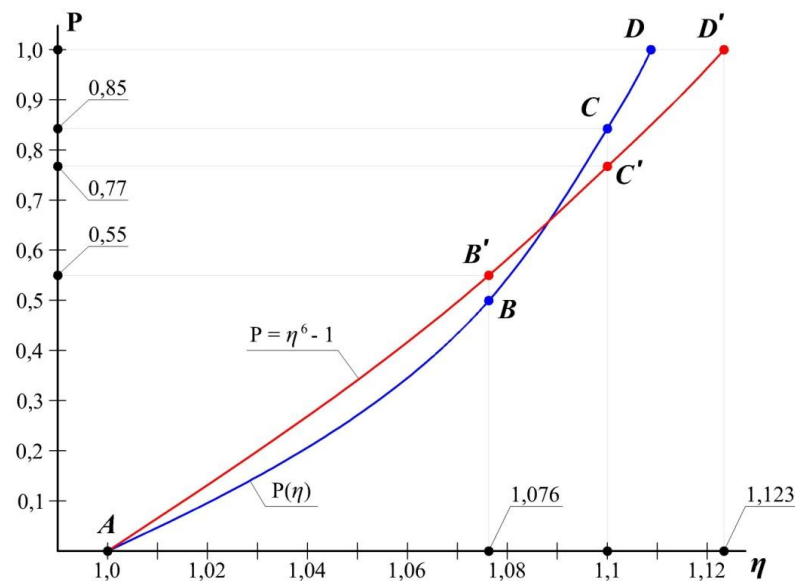


Рис. 3. Графики функции по зависимости (7) и по экспертной оценке $P(\eta)$

Многолетний опыт применения систем ИДК на СС (рис. 2) с начала 70-х годов прошлого века позволил получить экспертную зависимость

$$СЭ=fv, \quad (11)$$

представленную на рисунке 4, где введены обозначения для комплектов ВК – вибрационного, ГК – геодезического, ТК – тензометрического контроля, используемых в составе систем ИДК (рис. 2).

В общем случае стационарная СМ в виде системы ИДК (рис. 2) использовалась в комплексе со средствами неразрушающих методов контроля (НМК) и визуального освидетельствования состояния СС.

Очевидно, что выполнение системы планово-предупредительных ремонтов (ППР) путём своевременного выполнения РВР (рис. 1) позволяет обеспечивать заданный срок эксплуатации ТЭ объекта (его ресурс R , $TЭ=R$). Непроведение ППР приводит к резкому снижению срока эксплуатации объекта до некоторого значения $TK < TЭ$, как это графически представлено на рис. 5. Тогда можно ввести ещё один показатель ξ (12), позволяющий установить во сколько раз снижается срок безотказной (безаварийной) эксплуатации объекта в случае не проведения своевременных мероприятий по обслуживанию и ремонту (РВР) сооружения (здания):

$$\xi = T \text{ЭТК} . \quad (12)$$

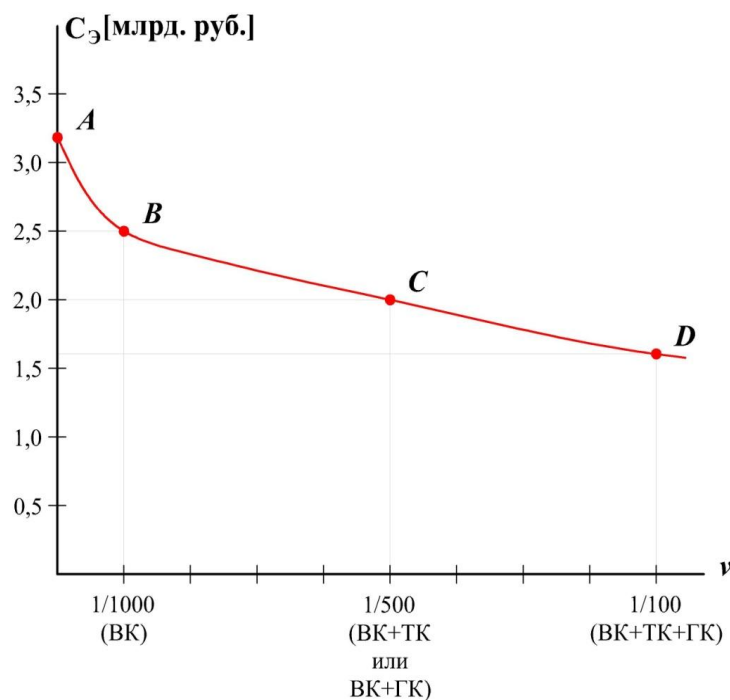


Рисунок 4 – График функции $CЭ = f(v)$.

При анализе технико-экономической эффективности применения СМ (рис. 4) наряду с показателем η (3) целесообразно использовать обобщённый коэффициент запаса (надёжности) γ , который регламентируется в СНиП-ах и СП по проектированию конструкций и грунтовых оснований с помощью коэффициентов γ_i по ответственности зданий и сооружений, надёжности, по нагрузкам, условиям работы и по материалу конструкций. При этом очевидно, что коэффициент γ является обратной величиной по отношению к показателю η (3).

Современными аналогами систем ИДК (рис. 2) в настоящее время по ГОСТ Р 22.1.12-2005 [2] являются СМИК.

Для общего случая, когда наряду со СМИК применяются средства НМК и визуального освидетельствования (ВО) состояния зданий и сооружений на базе опыта применения систем ИДК (рис. 2) получена экспертная номограмма зависимости заданного срока эксплуатации строительного объекта ТЭ от показателя v (10), η (3) и γ , представленная на рис. 6.

На основании введенных показателей и с помощью номограмм, представленных на рис. 1 – 6, может выполняться анализ технико-экономической эффективности применения СМИК следующим образом.

1. По графикам на рис. 5 определяются временные параметры ТК и ТЭ, позволяющие установить во сколько раз [показатель ξ (12)] снижается срок безотказной (безаварийной) эксплуатации строительного объекта в случае не проведения своевременных РВР на объекте.

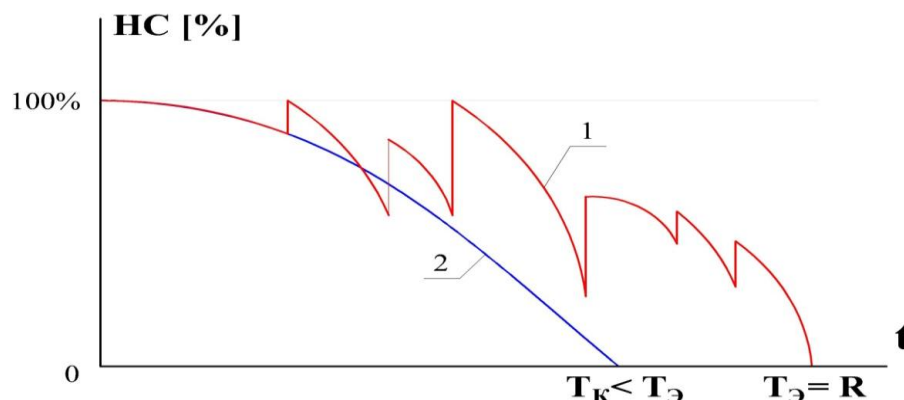


Рисунок 5 – Возможные варианты зависимости НС от t:

1) – при использовании ППР; 2) – без применения ППР.

2. Следует задать требуемую (желаемую) надёжность строительного объекта по вероятности его обрушения $P=\{0, 1\}$ и по номограмме на рис. 3 определить соответствующий данному значению вероятности обрушения P показатель снижения несущей способности объекта η (3).

3. Определяется стоимость ССМ проектирования, монтажа и эксплуатации СМИК (системы ИДК) в зависимости от комплектности СМИК.

4. Определяется показатель ν (10) по стоимостным показателям ССМ (п. 3) и эксплуатационных затрат на содержание здания (сооружения) СЭ, определяемому по нижнему графику на рисунке 1 для случая, когда не используется СМИК.

5. По показателю ν (п. 4) с учетом используемой комплектности СМИК определяется стоимость эксплуатации строительного объекта СЭ по номограмме на рис. 4. При этом по анализу показателя СЭ (рис. 4) следует получить результаты в зависимости от исходных данных стоимости ССМ при различной комплектности СМИК:

а. Предположим, что стоимость ССМ когда в СМИК (в системе ИДК на СС, рис. 2) используется только комплект ВК (точка В на рис. 4) составляет 2,5 млн. рублей (по опыту систем ИДК на СС, рис. 2). Тогда при $\nu=1/1000$ согласно (10) и номограммы на рис. 4 стоимость эксплуатации строительного объекта составляет 2,5 млрд. рублей:

$$\Theta=2,5 \text{ млрд.руб.}; \quad \nu=1/1000; \quad \text{ССМ}=2,5 \text{ млн.руб.}$$

b. При использовании двух комплектов в составе СМИК (точка C на рис. 4) при стоимости ССМ=4,0 млн. руб. по (10) или номограмме на рис. 4 получаем результат:

$$\text{Точка C: } CЭ=2,0 \text{ млрд.руб.}; \quad \nu=1/500; \quad CСМ=4,0 \text{ млн.руб.} \quad (14)$$

c. При использовании полного состава СМИК (точка D на рис. 4) при стоимости ССМ=16,0 млн. руб. по аналогии с п.п. 5.1 и 5.2 получаем:

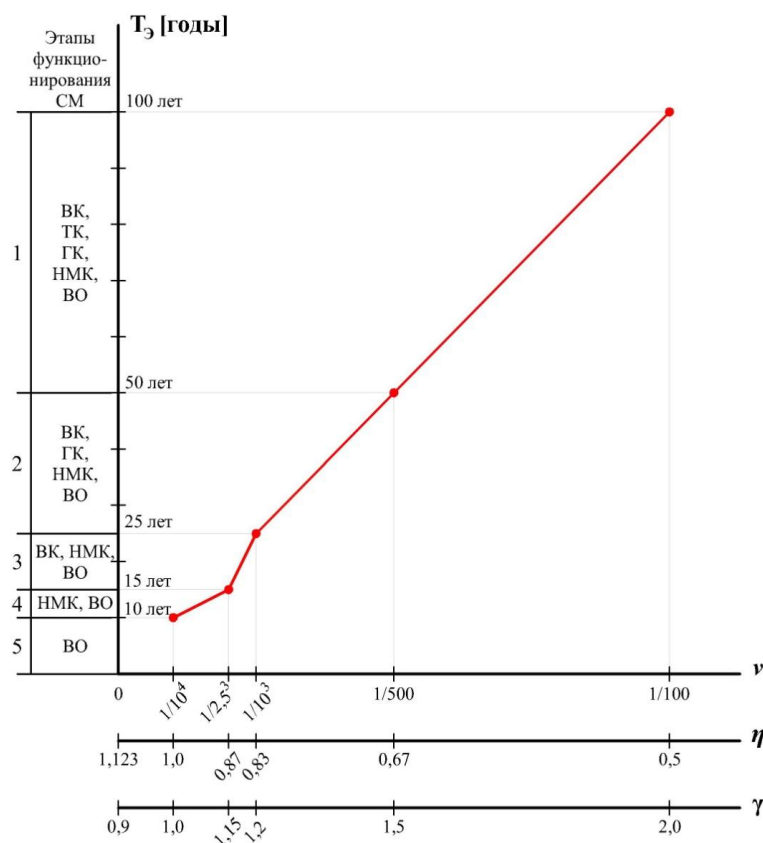
$$\text{Точка D: } CЭ=1,6 \text{ млрд.руб.}; \quad \nu=1/100; \quad CСМ=16,0 \text{ млн.руб.} \quad (15)$$

d. При сравнении результатов (13) – (15) выявляются следующие тенденции (закономерности):

- С возрастанием стоимости ССМ за счет увеличения комплектности СМИК затраты на эксплуатацию строительного объекта (проведение своевременных РВР) снижаются.
- В данном случае по результатам (13) – (15), полученным по натурному опыту эксплуатации СС с применением систем ИДК (рис. 2), экономия $\Delta CЭ$ затрат на эксплуатацию строительного объекта (из сравнения точек В и D на рисунке 4) составляет:

$$\Delta CЭ = CЭВ - CЭD CЭВ \cdot 100\% = 36\%. \quad (16)$$

б. В зависимости от показателей ν (10), η (3) и запаса (надёжности) по несущей способности строительного объекта γ по номограмме на рис. 6 при соответствующей комплектности СМИК может быть ориентировочно определен срок ТЭ безотказной (безаварийной) эксплуатации строительного объекта, что позволяет определить показатель надёжности П (1) по теории рисков возникновения недопустимых состояний технических объектов. При этом могут использоваться различные варианты применения номограммы на рис. 6.

Рисунок 6 – График экспертной функции $T_{Э} = f(v, \eta, \gamma)$.

- Вариант 1.** Предположим, что эксплуатация высотного здания (сооружения) выполняется без использования стационарной СММК и не проводятся периодические обследования объекта с использованием средств НМК. Тогда в зависимости от периодичности проведения визуального освидетельствования (ВО) состояния зданий и сооружений риск возникновения недопустимого их состояния может возникнуть в течение периода эксплуатации $T_{Э}=10$ лет (рис. 6). При использовании средств НМК срок безопасной эксплуатации строительного объекта может повыситься до 15 лет (рис. 6) и т. д.
- Вариант 2.** Полагаем, что нас удовлетворяет надёжность эксплуатируемого строительного объекта, оцениваемая коэффициентом запаса по НС, равным $\gamma=1,2$. Тогда безопасная эксплуатация зданий и сооружений может быть обеспечена в течение периода $T_{Э}=25$ лет (рисунок 6) при условии, что в этот период осуществляется диагностирование состояния строительных объектов с использованием ВО, НМК и плюс ВК при наличии динамических (например, ветровых для высотных зданий) нагрузок (рисунок 6).
- Вариант 3.** При тех же исходных данных, что указаны в п. 6.2, для $\gamma=1,2$ определяем значение показателя обеспеченности несущей способности η (3), который в данном случае составляет $\eta=0,83$ (рисунок 6). По номограмме на рисунке 3 по показанию η определяем вероятность P разрушения объекта, которая при $\eta < 1$ равна $P=1$, что удовлетворяет условиям

безопасной эксплуатации объекта при данном запасе НС, оцениваемой коэффициентом запаса $\gamma=1,2$ (рисунок 6).

• **Вариант 4.** Предположим, что в соответствии с теорией рисков возникновения неблагоприятных [чрезвычайных (ЧС)] ситуаций на стадии проектирования уникального и ответственного объекта (высотного здания, АС, ГТС и т. п.) надёжность объекта задаётся в виде показателя Π (1) на аварийную ситуацию, которая может явиться следствием такого воздействия [природного (землетрясение, цунами, ураган, смерч и т. п.) или техногенного фактора], какое бывает один раз в 100 лет, когда показатель (1) составляет $\Pi=10^{-2}$. Тогда, принимаемый срок эксплуатации $TЭ=100$ лет, в течение которого не должно случаться аварийной ситуации на объекте, из номограммы на рисунке 6 следует, что для обеспечения безаварийной работы данного объекта в заданный срок эксплуатации $TЭ=100$ лет необходимо снабдить его СМИК с максимальной её комплектностью (этап 1 на рисунке 6), и при этом запас надёжности по НС такого объекта на момент $t=100$ лет должен быть в 2 раза ($\gamma=2,0$).

Возможны и другие варианты применения показателей и номограмм, представленных в п.п. 1 – 6, для оценивания технико-экономической эффективности применения СМИК. При этом одним из главных критериев эффективности применения системы ППР (своевременного проведения РВР) [рисунок 5 и показатель ξ (12)] и использования СМИК является то, что при выходе из строя строительного объекта на столько, что он не может подлежать восстановлению, потребуются для строительства аналогичного объекта финансовые средства в размере C_0 , которых может просто не оказаться в наличии.

Номограммы, представленные на рисунках 1 и 6, получены экспериментальным путём по многолетнему опыту эксплуатации СС с применением систем ИДК (рисунок 2) на основе анализа статистических данных. Для строительных объектов других ведомств и различного назначения на основе обобщения статистических данных могут задаваться иные графоаналитические зависимости $P=f(\eta)$ и $CЭ=f(v)$, отличные от тех, что представлены номограммами на рисунках 3 и 4.

Библиографический список

1. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. -М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
2. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – М.: МЧС РФ, 2005. – 22 с.
3. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга

технического состояния. – М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010. – 60 с.

4. *Исхаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалев Ф.Е, Рыжиков В.Ю.* Проблемы оценивания надёжности зданий и сооружений на стадии их эксплуатации // Сб. науч. трудов (вып. №10) под ред. проф. К.И. Ерёмкина «Предотвращение аварий зданий и сооружений» – М, 2011.

5. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. -М.: Ростехнадзор России, 2001. – 16 с.

6. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений / Федеральный закон РФ №384-ФЗ от 30.12.2009. – 20 с.

КОМПЛЕКСНАЯ ПРОРАБОТКА УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

УДК 624.012.35:69.059.3

Кумпяк О.Г.

Профессор, техн. Наук. заведующий кафедрой «Железобетонные и каменные конструкции» ТГАСУ.

Kumprjak O.G.

Professor, doctor of technical sciences, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Галяутдинов З.Р.

Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», ТГАСУ.

Аннотация

Galjautdinov Z. R.

Ph.D. in Engineering, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Пахмурин О.Р.

Доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», ТГАСУ.

Rahmurin O. R.

Ph.D. in Engineering, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Кокорин Д. Н.

Аспирант кафедры «Железобетонные и каменные конструкции», ТГАСУ.

Kokorin D. N.

The post-graduate of Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Аннотация

В статье представлен пример полной проработки сложного технического решения по усилению строительных конструкций (от проектирования до алгоритма реализации).

Summary

In article example of comprehensive realization of difficult technical decisions on strengthening of building structures is shown (from designing to algorithm of realization).

Ключевые слова:

усиление, подпорные стойки, включение в работу, железобетонные конструкции, реализация усиления.

Key words:

strengthening, retaining racks, inclusion in work, reinforced structures, realization of strengthening.

Одним из важных вопросов при усилении железобетонных конструкций является обеспечение совместной работы конструкции усиления и усиливаемого элемента. В настоящее время, в основном, включение усиления в работу производится при помощи металлических клиньев, за счет использования преднапряжения (преднапряженные планки, затяжки, распорок и др.), а также применения напрягающих цементов. В работе приводится вариант усиления железобетонного ригеля подведением порталной рамы, включение в работу которой производится при сборке и монтаже.

В октябре 2011 года в связи с модернизацией производства на одном из промышленных объектов Томского нефтехимического комбината, значительно увеличились нагрузки на строительные конструкции сооружения. Общий вид сооружения представлен на рис. 1.

В результате обновления и расширения производства, суммарная нагрузка на существующий ригель по оси 32/1 (рис.1, поз.3) возросла на 80 процентов. Авторами было принято решение выполнить усиление ригеля подведением порталной рамы (рис. 2). Отличие данного способа усиления, от аналога заключается в непосредственной передаче нагрузки на фундамент сооружения посредством включения в работу наклонных стоек рамы при ее сборке на монтаже (рис.2, поз.3). Также вследствие реализации данного вида усиления уменьшается и рабочий пролет усиливаемого ригеля.

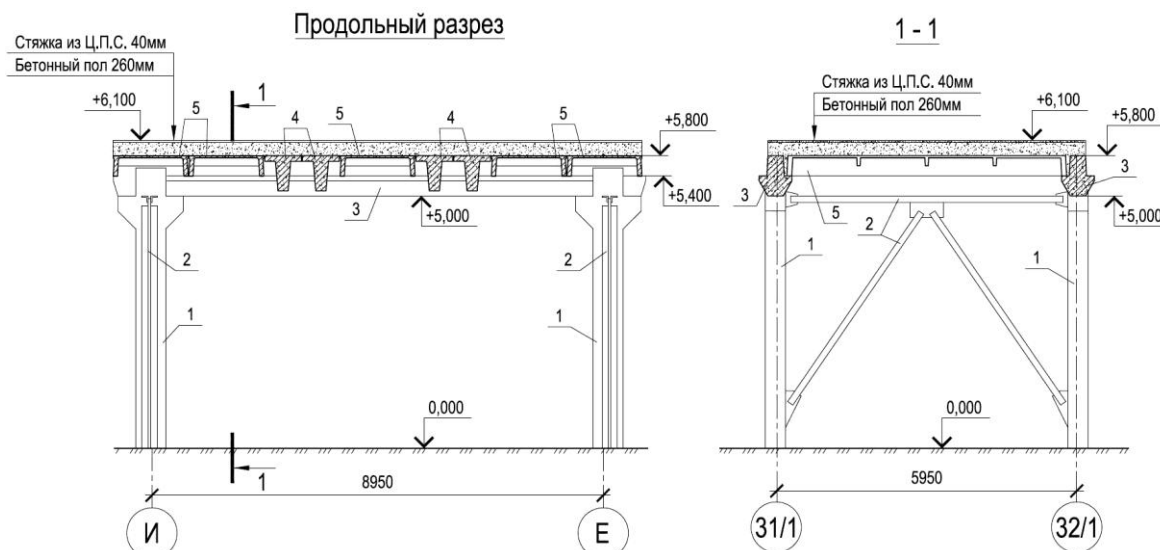


Рис. 1. Поперечный разрез реконструируемого объекта.

1 – железобетонная колонна; 2 – вертикальная связь; 3 – железобетонный ригель; 4 – железобетонная плита; 5 – железобетонная балка.

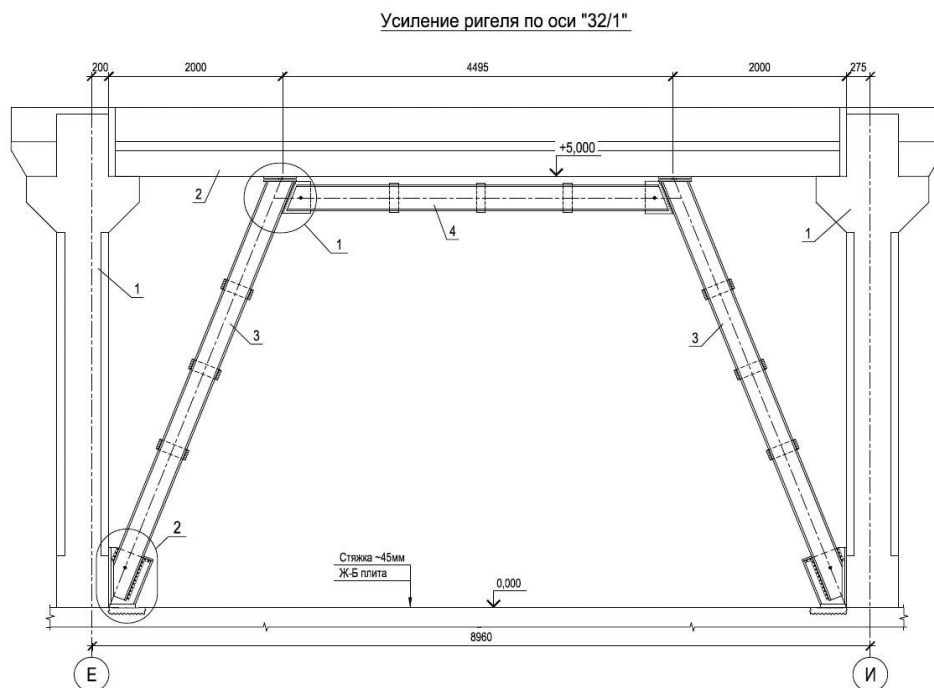


Рис. 2. Общий вид усиления железобетонного ригеля.

1 – железобетонная колонна; 2 – железобетонный ригель; 3 – наклонный распорный элемент; 4 – горизонтальный распорный элемент.

Ниже представлена последовательность технологии сборки рамы на монтаже, позволяющая обеспечить включение опорных элементов конструкций под заданные нагрузки.

Порядок производства работ по устройству усиления ригеля:

1. Производится полная разгрузка перекрытия.

2. Участок сопряжения колонны с фундаментом (выше верхнего обреза фундамента) зачищается с последующим выполнением подливки из бетона класса В 25 (см. рис.2, узел 2). После набора бетоном необходимой прочности выполняется монтаж конструктивных элементов рамы.

3. На первом этапе производится полная сборка наклонных элементов (рис.2, поз.3). Опорная пластина (рис.3, поз. 5) устанавливается, и центрируется строго по оси наклонного элемента усиления.

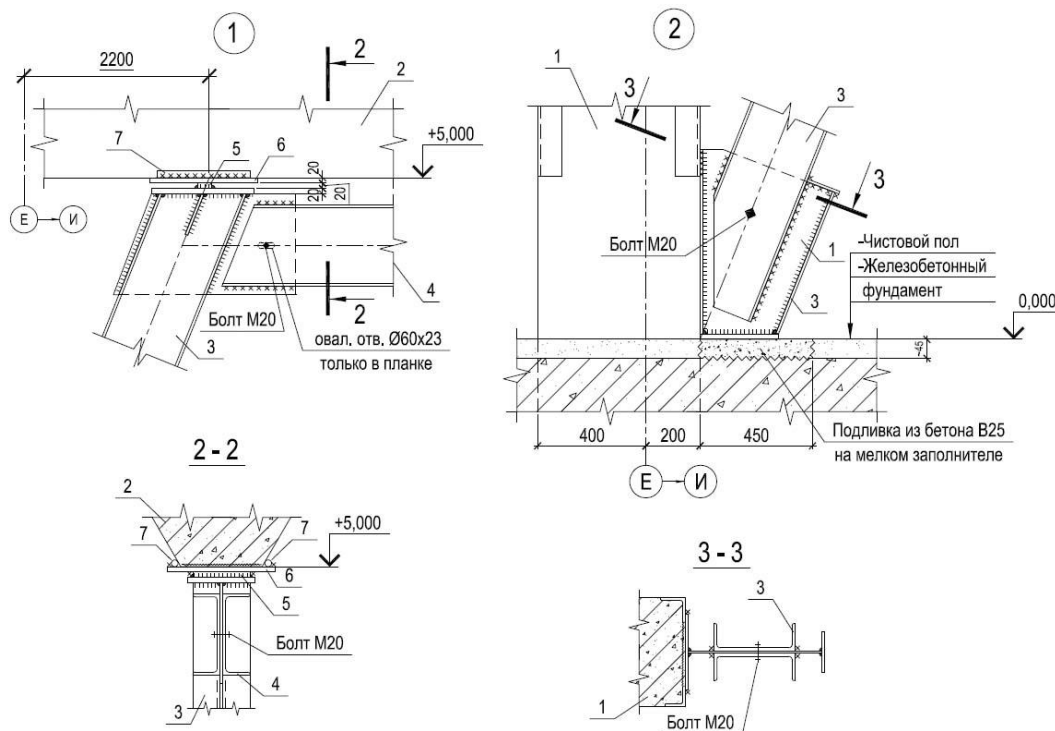


Рис. 3. Узлы крепления элементов усиления. (см. совместно с рис.2)

1 – железобетонная колонна; 2 – железобетонный ригель;

- 3 – наклонный распорный элемент; 4 – горизонтальный распорный элемент; 5 – центрирующая прокладка; 6 – распределительная пластина; 7 – фиксаторы из гладкой арматуры.

4. Далее производится монтаж наклонного элемента (рис.2, поз.3) посредством его закрепления к опорной пластине (рис.3, узел 2) монтажным болтом, который в процессе монтажа является опорным поворотным шарниром. Наклонный элемент посредством лебедки вывешивается в положение, близкое к проектному. Данная система строго центрируется по оси, совпадающей с геометрической осью усиливаемого ригеля.

5. Затем выполняется основной этап – включение наклонных элементов рамы (рис.2, поз.3) в работу. Между центрирующей прокладкой (рис 3, поз. 6) и нижней частью усиливаемого ригеля устанавливается опорная пластина (рис.3, поз. 5), которая примыкает к ригелю через выравнивающий слой цементно-песчаного раствора. После этого с помощью лебедки оголовки наклонного элемента притягиваются к колонне. (усилие прикладывается ортогонально к несущему элементу рамы (поз.3)). В процессе натяжения в наклонном элементе рамы возникают расчетные сжимающие усилия, которые передаются в виде вертикальной опорной реакции на фундамент через опорную пластину. Смещение верха наклонного элемента в процессе натяжения лебедкой, должно происходить строго вдоль геометрической оси усиливаемого ригеля.

6. Не ослабляя натяжных устройств, на болтах монтируется горизонтальный распорный элемент рамы (рис.2, поз.4). Расположение монтажных отверстий уточняется на месте (рис. 3, узел 1).

7. После сборки рамы, без ослабления натяжных устройств, выполняется приварка наклонного элемента рамы к опорной фасонке (рис.3, узел 2). После сборки опорных узлов производится монтаж горизонтального распорного элемента рамы (рис. 2, поз.4).

8. На следующем этапе производится фиксация распределительной пластины в плоскости усиливаемого ригеля. С этой целью выполняется приварка фиксаторов из гладкой арматуры (рис.3, поз.7) к распределительной пластине (рис. 3, разрез 2-2),

9. На заключительном этапе осуществляется приварка центрирующей прокладки к распределительной пластине, в результате чего рама фиксирует положение конструкции в горизонтальном направлении перпендикулярно продольной оси ригеля.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний момент разработано достаточно большое количество способов усиления изгибаемых железобетонных конструкций. При более детальной проработке которых, выясняется, что не всегда удается включить конструкцию усиления в работу и проконтролировать величину заданного предварительного напряжения в ней. Пренебрежение этим ведет к тому, что включение элементов усиления в совместную работу происходит лишь после значительной деформации усиливаемой системы. Применять методы, реализующие такой подход, на наш взгляд, сомнительно.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53778 – 2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартиформ, 2010. – 60 с. / Госкомархитектуры – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 42 с.
2. СП 13–102–2003 Свод правил. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: ГУП ЦПП Госстроя России, 2003. – 40 с.



ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ НАДЗОРА ЗА ЗДАНИЯМИ И СООРУЖЕНИЯМИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

IMPROVEMENTS ON THE PROBLEMS ON OF BUILDING SUPERVISION SYSTEM IN THE REPUBLIC OF BELARUS.

УДК 69.059.4:006.3/8

Казачек В. Г.

член корреспондент Белорусской академии архитектуры, зам. председателя Экспертного Совета по координации, совершенствованию и повышению научно-технического уровня работ в области обследования зданий и сооружений, главный научный сотрудник Г.П. "Институт НИПТИС им. С.С.Атаева" (г.Минск).

Kazachek V.G.

the member the correspondent of the Belarusian academy of architecture, the deputy chairman of Advisory Council on coordination, improvement and increase of scientific and technical level of works in the field of inspection of buildings and constructions, the main research associate of the Item "Institute NIPTIS named after S.S. Ataev" (Minsk).

Аннотация

В статье показано отсутствие четкой системы надзора за зданиями и сооружениями в Республике Беларусь, слабое взаимодействие различных ведомств при разработке нормативной базы и недостаточный государственный контроль в рассматриваемой сфере. Даны предложения по совершенствованию процедур и повышению качества надзора за зданиями и сооружениями. Предложены пути регулирования деятельности по их обследованию.

Summary

The article shows the lack of the efficient system and standards in building condition assessment in the Republic of Belarus also as a low government control on the problem. This paper indicate the ways to improve the quality of conditional supervision procedure.

Ключевые слова:

Требования безопасности, техническая эксплуатация, контроль, обследование зданий, квалификация персонала, роль госорганов, инвентаризация.

Key words:

safety requirements, maintenance, conditional assessment, professional skills, government institution function

В данной статье рассмотрен комплекс вопросов, связанных с продлением срока службы зданий и сооружений, с надзором за состоянием эксплуатируемых объектов:

- требования к обеспечению безопасной эксплуатации зданий и сооружений в действующих Законах и ТНПА:
- правила технической эксплуатации и оценки технического состояния и износа зданий,

методы инвентаризации и оценки недвижимости;

- квалификация и компетентность персонала эксплуатирующих и обследовательских (экспертных) организаций, требования к их организационной и технической готовности выполнять данные виды работ;

- контроль за соблюдением установленных требований к техническому обслуживанию, надзору и ремонту зданий и сооружений, восстановлению их эксплуатационных качеств.

Роль государственных органов в решении перечисленных вопросов.

В статье показано отсутствие четкой системы взаимоувязанных положений по всему комплексу рассматриваемых проблем, слабое взаимодействие различных ведомств при разработке нормативной базы и недостаточный государственный контроль в рассматриваемой сфере. Даны предложения по совершенствованию процедур и повышению качества надзора за зданиями и сооружениями. Предложены пути регулирования деятельности по их обследованию.

Состояние вопроса

Планирование и снижение затрат на обеспечение функционирования зданий и сооружений невозможно без создания эффективной системы технической эксплуатации, основой которой является оценка и регулирование износа зданий, их срока службы, периодичности ремонтных работ. На это нацелена введенная в действие на территории Евросоюза в 2010 г. система стандартов ISO 1586 (части 1-8). «Здания и недвижимое имущество. Планирование срока службы». Основная цель данных документов – создание механизма выработки правил и мер, гарантирующих соблюдение требований Директивы 89/106/ЕЭС и требований национальных регламентов в части обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений в течение всего периода службы, оптимизации технического обслуживания и ремонта [3]. В Республике Беларусь на основании обобщения предшествующего опыта бывшего СССР в 2005÷2008 гг. разработана система ТНПА, регламентирующая общие принципы организации и проведения надзора за зданиями и сооружениями, правила их обследования и технической эксплуатации, установлена концепция и терминология, связанная с видами работ, проводимых в процессе эксплуатации зданий и сооружений [1, 2]. С учетом реальной ситуации в Республике Беларусь установлены минимально необходимые требования, которые обязаны соблюдать владельцы зданий, государственные и ведомственные структуры. Однако до настоящего времени общая ситуация с техническими и экономическими проблемами в области эксплуатации производственных, жилых и общественных зданий и сооружений, эффективности вложений в сферу обслуживания недвижимости, улучшается слишком медленно. Без коренного перелома ситуации на основе внедрения инновационных техноло-

гий и методов планирования технической эксплуатации с жестким контролем безусловного выполнения необходимых мероприятий, наше отставание от передовых стран будет возрастать [1].

Технический регламент «Здания и сооружения строительные, материалы и изделия. Безопасность.» ТР 2009/013/ВУ (в дальнейшем - ТР) обязывает соблюдать существенные требования безопасности объекта на этапе эксплуатации, что должно отражаться в техническом паспорте здания. Однако процедура оценки соответствия, организации и органы, ее осуществляющие и контролирующие не установлены. Анализ сложившейся практики контроля за соблюдением правил технической эксплуатации, оценки их технического состояния, степени износа, выполнения паспортизации и в целом технической инвентаризации недвижимости показывает, что существующая система не эффективна, затратна. Многие вопросы дублируются различными ведомствами. На практике отсутствует четкая система ответственности, надзора за состоянием объектов недвижимости, в том числе на законодательном уровне. Наличие многочисленных норм, инструкций и т.п. не должно нас успокаивать, так как они в большинстве своем не соблюдаются из-за отсутствия организационной, технической, а часто и финансовой возможности. Очевидно, что требования по обеспечению безопасности объектов с одной стороны должны быть безусловно обеспечены, но с другой стороны следует учитывать реальные возможности вовлеченных в эту сферу субъектов хозяйствования. По сути, проблемы обеспечения надежности и долговечности зданий пока решаются их владельцами на основе собственных представлений, в зависимости от их компетентности и просто порядочности. Известно, что ведомственный (внутренний) контроль часто не эффективен и при отсутствии внятного внешнего (независимого) контроля любая система начинает плохо функционировать. Мировая практика свидетельствует, что в такой ситуации дата очередной аварии на технических объектах является открытой [2]. Закон РБ об архитектурной, строительной и градостроительной деятельности в статье 65 устанавливает обязанности собственников при эксплуатации объектов, и требуют участия представителя соответствующего органа государственного надзора в работе комиссий по оценке технического состояния зданий, в выявлении дефектов и т.п. (пп.3, 4). Собственник зданий обязан выполнять требования территориальных органов архитектуры и градостроительства и иных государственных органов, осуществляющих надзор за эксплуатацией возведенных объектов строительства (п.5). Однако таких специализированных органов, способных квалифицированно контролировать правила эксплуатации зданий пока не существует.

Отсутствие продуманной стратегии в этом вопросе наглядно проявляется при паспортизации и технической инвентаризации зданий и сооружений, которую в настоящее время проводят органы по государственной регистрации Госкомимущества РБ. Изучение соответствую-

ющих инструкций, анализ практики паспортизации показывает, что выдаваемые БРТИ документы – это не те паспорта, о которых идет речь в ТР 2009/013/ВУ. Фактически, они выполняют лишь регистрационную функцию, хотя регистрация это только один их элементов инвентаризации. «Инструкция о порядке проведения технической инвентаризации и проверке характеристик капитальных строений (зданий и сооружений), незавершенных законсервированных капитальных строений, изолированных помещений» (2010 г.) требует, наряду с обмерами, выполнения обследования здания с оценкой его состояния (по действующим ТНПА Минстройархитектуры), сверку его показателей с предыдущими данными, вычисление износа отдельных элементов и здания в целом. Однако эта важнейшая для владельцев здания информация в паспорте БРТИ практически отсутствует. Обследование, фактически, не выполняется и не может быть качественно выполнено в соответствии с существующими в Госкомимуществе нормами, формами и техническими возможностями служб БРТИ. Сведения о конструкциях и их состоянии по «Инструкции» должны быть изложены в описательной форме, а не в соответствии с требованиями к содержанию материалов обследования по действующим ТНПА. Формы паспортов не позволяют даже кратко отразить результаты оценки состояния конструкций, обозначить виды дефектов и места их расположения, выполнить классификацию дефектов и технических состояний конструкций. Указывается только износ всего здания, что абсолютно недостаточно для владельцев, которые должны иметь всю информацию о техническом состоянии здания для его эффективной эксплуатации. В целом, сведения, содержащиеся в паспортах БРТИ и инвентаризационных делах не соответствуют требованиям, изложенным в ТНПА, разработанных Минстройархитектуры и не позволяют выполнять качественную инвентаризацию, накапливать и анализировать данные о изменении технического состояния зданий, планировать мероприятия по ремонтно-восстановительным работам, по продлению срока службы зданий, что является основной целью инвентаризации. Не улучшают ситуацию и рекомендации, изложенные в проекте ТКП «Техническая инвентаризация недвижимого имущества» разработанного в Национальном кадастровом агентстве. Так, изложенные в ТКП методы оценки физического износа по многим положениям не стыкуются с методами, приведенными в документах, разработанных Госстандартом для оценки стоимости объектов, как объектов недвижимого имущества (СТБ 52.3.01-2011, ТКП 52.3.01-2011 и др.) Вообще, на наш взгляд существующая система оценки стоимости строений запутана и излишне усложнена. Приближенные методы оценки, применяющиеся в органах технической инвентаризации используются в дальнейшем лишь для целей налогообложения, кредитования и т.д., в то время как для оценки коммерческой стоимости объектов недвижимого имущества по вышеназванным документам используются более точные мето-

ды и результаты оценки, как правило, существенно отличаются, что может приводить к различным злоупотреблениям.

При разработке рекомендаций к содержанию паспортов в ТНПА МАиС мы полагали, что требования строительных норм будут, во взаимодействии с заинтересованными ведомствами (в том числе с Госкомимущества), реализованы при разработке конкретных форм и методологии ведения единых технических паспортов для зданий и сооружений различного назначения, в которых, наряду с регистрационными данными, будет приведена полноценная техническая информация, соответствующая требованиям регламента ТР 2009/013/ВУ. Однако, до сих пор этого не сделано и собственники зданий вынуждены нести существенные затраты на периодическое составление паспортов БРТИ, являющихся по сути лишь регистрационным документом. В последнее время требования об обязательном обновлении данных содержания паспортов зданий каждые 5 лет вообще исключены из руководящих документов Госкомимущества. Для решения практических вопросов оценки состояния конструкций, их соответствия установленным требованиям и т.п. приходится заказывать дополнительно полноценное обследование здания (общее или детальное) специализированным организациям с последующим составлением паспортов с учетом требования МАиС, содержащих всю необходимую информацию для качественной инвентаризации. Кстати, на практике органы БРТИ, при регистрации многих объектов требует от владельца (в соответствии с перечнем документов утвержденным исполкомами) справку о возможности безопасной эксплуатации зданий по назначению. Для этого, строго говоря, требуется во многих случаях детальное обследование, т.к. здания часто вообще не осматривались специалистами с момента постройки. Таким образом, очевидно, что многие работы, по сути, дублируются. Неэффективно задействовано много людских и финансовых ресурсов. Мы убеждены, что технический паспорт должен быть единым и включать в себя как регистрационный раздел, так и периодически дополняемый инвентаризационный раздел с фиксацией всех изменений в техническом состоянии и параметрах конструкций и помещений, содержать технические данные, установленные системой ТНПА МАиС. Такой паспорт, находящийся у владельца здания, будет важным рабочим инструментом планирования мероприятий по продлению срока службы недвижимости, оптимизации эксплуатационных затрат и т.д.

Следует отметить, что многие положения технического регламента ТР 2009/013/ВУ касающиеся содержания технических паспортов и в целом, надзора за эксплуатируемыми зданиями и сооружениями, не соответствуют действующим ТНПА, и на наш взгляд, должны быть пересмотрены. Так, пункты 1 и 3 статьи 1 Регламента распространяются на стадии проектирования, строительства, эксплуатации и демонтажа зданий и сооружений. Однако при этом основные требования (п.6 раздела 5) относятся только к этапам проектирования и строитель-

ства и должны гарантировать безопасность при дальнейшей эксплуатации, которую выполняет владелец объекта. При этом остается неясно, кто и каким путем контролирует то, насколько тщательно владельцы зданий обеспечивают условия, при которых приведенные в п.6.1 риски не превышают допустимые значения. Известно, что начальные показатели эксплуатационных качеств всех элементов зданий деградируют со временем. Соответствующие процедуры оценки (подтверждения) их соответствия установленным требованиям в ТР не прописаны. Следует иметь в виду, что кроме периодических обследований для подтверждения соответствия существующих зданий установленным требованиям, должны приводиться и предпроектные обследования перед капитальным ремонтом или реконструкцией объекта. В существующем тексте ТР материалы изысканий, детальных предпроектных или периодических общих обследований не включены в обязательный перечень комплекта технической документации.

Имеются определенные несоответствия в требованиях к содержанию технического паспорта здания (сооружения) между ТР и действующими ТНПА по технической эксплуатации, разработанными в ТКС-12 МАиС РБ. Так, в ТКП 45-1.04-208-2010 изложены общие требования к содержанию и построению технических паспортов зданий любого назначения. В ТКП 45-1.04-78-2007 в приложении дана типовая форма (макет) паспорта здания производственного назначения в которой, кроме других обычных сведений даны таблицы для определения объемов ремонтных работ, необходимых ресурсов и т.д. Изменение технического состояния (износа) отдельных конструкций, инженерных систем и здания в целом предлагается фиксировать в карточках, являющихся приложением к паспорту. Установлена периодичность внесения изменений в паспорт. Все эти данные отсутствуют в требованиях к содержанию паспорта в ТР.

В ТНПА МАиС установлено, что ведомственные инструкции по технической эксплуатации, формы паспортов зданий, сооружений и производственные инструкции с учетом их специфики должны быть разработаны соответствующими ведомствами, в кооперации с органами, занимающимися паспортизацией и, возможно, с участием МАиС. До сих пор, таких предложений в Минстройархитектуры не поступало. Изложенное свидетельствует об отсутствии целенаправленной работы в РБ по приведению системы паспортизации зданий и их технической эксплуатации к уровню современных требований. Активная работа в данном направлении проводится в Украине и в России, в странах Прибалтики, опыт которых следует изучить.

В связи с отменой лицензирования, либерализацией в целом законодательства в области строительства, значительно возрастает нагрузка на органы Госстройнадзора и Госстройэкспертизы в области повышения качества строительства и ремонта, снижения его стоимости и

сокращения сроков. В ГП ²Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.² в свое время был создан Экспертный Совет по координации, совершенствованию и повышению научно-технического уровня работ по обследованию и реконструкции зданий и сооружений (Э.С.), который выполнял все предлицензионные и текущие проверки экспертных организаций, формировал их перечень, имеет своих представителей во всех регионах Республики.

В сложившихся условиях мы видим несколько направлений реализации накопленного Экспертным Советом большого опыта в данной сфере:

1. По действующим положениям комиссией по расследованию аварий на эксплуатируемых объектах, как правило, руководит владелец здания, который часто не заинтересован в объективном рассмотрении дела. В таких условиях целесообразно установить обязательное включение в состав комиссий представителей ЭС, которые бы под руководством органов Госстройнадзора занимались техническими вопросами в процессе расследования, профессионально анализировали его материалы, готовили независимые заключения, накапливали данные для последующей подготовки ежегодных сборников по анализу аварий, как это принято, например, в РФ.

2. В настоящий момент органы Госстроэкспертизы по объективным причинам, как правило, не дают оценку качества предпроектных обследований зданий и сооружений, их соответствия действующим ТНПА, а лишь проверяют, на сколько рекомендации технических заключений учтены в проекте реконструкции (капремонта). В то же время имеются данные, что после отмены лицензирования проектных и обследовательских работ количество споров между субъектами данной деятельности возрастает, так как качество обследований объективно снижается, а многие проектировщики, не имеющие специальной подготовки, часто не способны оценить качество и технический уровень обследования. Сейчас интернет насыщен рекламой организаций, предлагающих услуги по обследованию зданий и сооружений, которые «гарантируют», что дешево, быстро и качественно выполняют любые виды работ. Они якобы обладают высококлассными специалистами, имеющими сертификаты, выданные РУП «Белстройцетр», современным диагностическим оборудованием и т.д. и т.п. Длительный опыт обучения и аттестации инженеров, планирующих заниматься обследованием позволяет утверждать, что существующие двухнедельные курсы (для начинающих) это лишь первый шаг к овладению этой сложной профессией, опыт в которой набирается только длительной практической работой. В процессе предлицензионных проверок претендентов на получение лицензии вплоть до 2011 г. мы проводили тщательное изучение их организационной и технической готовности выполнять работы в заявляемых областях диагностики. Выявляли (особенно в последние годы) много откровенно «слабых» фирм и обязывали их через 1 год показать, что

отмеченные недостатки устранены.

Изучение предложений интернета показало, что именно такие «слабые» организации или многочисленные новые фирмы, появившиеся сразу после отмены лицензирования, занимают первые станицы в поисковиках, оттесняя (с помощью известных информационных технологий) давно зарекомендовавших себя крупных государственных и частных участников данного рынка. Беседы с руководителями таких фирм показывают, что в основном содержание их сайтов – откровенная дезинформация. Чаще всего это – «Рога и копыта», которые, не мудрствуя лукаво, активно приглашают «подработать» штатных сотрудников государственных организаций (вместе с их оборудованием) без ведома руководства. Они «ловят рыбку» в мутной воде, существующей «тендерной системы» пользуясь некомпетентностью или попустительством заказчиков. В условиях обнищания многих предприятий, нуждающихся в ремонте или реконструкции зданий, главным критерием для заказчика обследования становится минимальная стоимость работ, а не их качество. Как тут не вспомнить слова поэта «...ах обмануть меня не трудно, я сам обманываться рад». Многократное участие в таких «тендерах», «переговорах» и других подобных акциях свидетельствует, что часто возникает абсурдная ситуация, когда никому не известная «специализированная организация», имеющая в штате 3-4 человека, выигрывает тендер, например на детальное обследование цеха объемом 300 тыс.м³, обещая выполнить работы в течение 1 месяца за сумму меньшую, чем определенную по утвержденным (невысоким) расценкам в 5-7 раз? О каком «качестве работ», «требованиях безопасности» и других подобных вещах может идти речь? Очевидно, что работающая по совместительству на условиях ВТК такая «сборная команда» неспособна тщательно выполнить крупные обследования, связанные с длительными работами в других городах, в условиях действующих производств, требующих строгого контроля соблюдения правил безопасности и т.д. Такие «специалисты» берутся обследовать любые сооружения, включая крупные мосты стратегического назначения. Услуги по обследованию сейчас предлагают даже индивидуальные предприниматели, что категорически запрещалось действовавшими ранее правилами лицензирования. Мировая практика проведения тендеров давно нашла лекарство от такого беспредела. Это – отбрасывание самых дешевых и самых дорогих предложений; установление разумных границ возможного (обоснованного документально) снижения стоимости и сроков работ в процентах от установленных в нормах значений, тщательное изучение опыта предыдущей работы претендента и т.д. Эти вопросы требуют безотлагательного решения. Пока предлагаем, параллельно с экспертизой проектов органами Госстройэкспертизы, хотя бы укрупнено проводить экспертизу материалов предпроектных обследований зданий и сооружений, выполненных различными, организациями привлечением специалистов Экспертного Совета. Это повысит ответственность исполнителей, снизит

вероятность реализации необоснованных предложений по усилению конструкций или наоборот – принятия небезопасных технических решений в проектах реконструкции или капремонта. Перечень видов объектов, для которых нет необходимости выполнять экспертизу технических заключений, следует сформировать совместно с органами Госстройэкспертизы.

При принятии решений о планировании реконструкции предприятий на уровне руководства отраслей следует обязательно учитывать фактическое техническое состояние зданий с привлечением уже на ранних этапах специалистов по обследованию зданий. Часто, когда решения уже приняты, выделены средства, начато проектирование, заключены договоры на поставку технологического оборудования, в процессе предпроектного обследования выясняется, что требуется массовое усиление конструкций, в том числе в условиях действующего предприятия, что невозможно выполнить в отведенные сроки и за отпущенные средства.

Считаем также необходимым вернуться к вопросу о формировании и актуализации Единого Реестра организаций, осуществляющих обследование строительных конструкций зданий и сооружений (инженерные услуги код – 74201.05 и 4201.06 по общегосударственному классификатору Республики Беларусь). При этом надо учитывать следующее [1]:

1. Обследование зданий и сооружений, как вид деятельности включает комплекс работ по сбору, обработке, систематизации и анализу данных о техническом состоянии отдельных элементов, их узлов и здания в целом. Оно является одним из элементов надзора за зданиями – системы состоящей из организационно-технических мероприятий по своевременному выявлению дефектов конструкций, анализа причин их возникновения и разработке мероприятий по предотвращению их опасных последствий.

2. Для экспертизы зданий надо знать не только свойства материалов и конструкций, требования к состоянию зданий и сооружений, правила их проектирования и эксплуатации, ремонта и реконструкции, но также владеть вопросами методологии обследования, уметь работать со специальным оборудованием, знать теорию надежности и долговечности конструкций и т.п., т.е. обладать специальными познаниями науке и технике. Многие вопросы тут пока решаются не на основе формализованных оценок для чего эксперту требуется большой опыт в рассматриваемой области.

3. Организация, занимающаяся обследованиями должна иметь, кроме соответствующих специалистов, необходимое диагностическое оборудование, внесенное в Республиканский реестр и прошедшее метрологическую аттестацию, а также вспомогательную оснастку (лестницы, каски, страховочные пояса и т.п.). Должен быть обеспечен внутренний контроль качества работ и соблюдения правил техники безопасности.

4. Очевидно, что специалисты по обследованию должны быть аттестованы (например, в соответствии с инструкцией о профессиональной аттестации специалистов в области строительства) и регулярно (1 раз в 5 лет) проходить переподготовку. В общегосударственный классификатор РБ ОКРБ 006-96 и классификационный справочник ²Должности служащих занятых в строительстве² необходимо ввести должность инженер-эксперт и разработать соответствующие должностные обязанности, требования компетентности и квалификационные требования, внести соответствующие изменения в Приказ Минстройархитектуры от 31.05.2010 г. №193. Компетентность эксперта, как совокупность его знания, умения, навыков и личных качеств устанавливается квалификационными требованиями к подготовке, профессиональным знаниям, мастерству и опыту, а также и состоянию здоровья, которые позволяют эксперту надлежащим образом выполнять свои функции. Критерием аттестации является совокупность требований, устанавливаемых органом по аттестации для нескольких категорий квалификации экспертов.

Предлагаются следующие категории квалификации:

- эксперт-стажер – специалист с высшим или средним специальным строительным образованием и стажем работы по обследованию в качестве исполнителя до 3-х лет или до 5 лет соответственно. Ответственным
- исполнителем стажер может назначаться при стаже работы на объектах II уровня ответственности, превышающем вышеуказанный.
- эксперт II категории – специалист с высшим образованием, проработавший экспертом-стажером не менее 5 лет, прошедший подготовку и аттестацию, выполнявший не менее 3 работ в год в качестве ответственного исполнителя. Может назначаться руководителем работ на объектах II уровня ответственности.
- эксперт I категории – специалист, проработавший более 5-и лет экспертом II категории, выполнявший не менее 3-х работ в год в качестве руководителя на объектах II уровня ответственности. Может назначаться руководителем работ на объектах I уровня ответственности.

5. Одним из условий при приеме документов к аттестации (переаттестации) специалиста с повышением категории квалификации является опыт предшествующей работы кандидата экспертом более низкой, чем заявляемая, категории квалификации (см. п.4) с представлением отчетов по экспертизе зданий, подтверждающих его способность осуществлять экспертную деятельность в заявляемой области специализации и квалификации.

Оценку соответствия квалификации кандидата предъявляемым требованиям с рекомендациями о присвоении конкретной категории квалификации, выполняет экзаменационная

комиссия органа по аттестации Минстройархитектуры с учетом качества, объема и сложности работ, выполненных ранее соискателем, и других сопутствующих факторов (написание статей, выступления на конференциях по тематике обследований и т.д.). Повторная переаттестация на тот же квалификационный уровень (1 раз в 5 лет) может выполняться по упрощенной программе с продлением срока действия сертификата.

6. В организации должен быть обеспечен необходимый набор штатных специалистов соответствующей квалификации. Предлагается, чтобы для обследования зданий I уровня ответственности в штате было не менее 1-го эксперта I категории, 2-х экспертов II категории и 2-х стажеров. Для зданий II уровня ответственности – соответственно не менее 2-х экспертов II категории и 2- стажеров. Квалификация экспертов должна соответствовать указанной в заявке на включение в Единый реестр области специализации (в части видов зданий, материалов конструкций и т.д.), принимаемой в соответствии с существовавшей ранее системой лицензирования. Руководителями или ответственными исполнителями работ должны быть только штатные сотрудники организации.

7. Уровень приборного обеспечения организаций должен быть увязан с уровнем ответственности зданий, указываемом в Едином Реестре организаций. Для I и II уровня ответственности следует иметь собственные (не менее 80%) современные геодезические приборы необходимой точности, приборы неразрушающего контроля прочности бетона, поиска арматуры, трещиномеры, толщиномеры, дальномеры и другие приборы позволяющие контролировать основные параметры зданий, определяющие их несущую способность. Приборы должны активно использоваться в практической работе. В виде исключения, при необходимости допускается аренда отдельных специальных приборов и механизмов, а также выполнение некоторых видов работ субподрядными организациями (например, выпиливание и испытания кернов бетона, извлеченных из тела конструкций, сложные геодезические измерения или обмерные работы, исследования свойств грунтов и т.п.).

8. Формирование Единого Реестра организаций, осуществляющих обследование строительных конструкций зданий и сооружений и внесение в него периодических изменений, целесообразно выполнять силами Экспертного Совета по координации, совершенствованию и повышению научно-технического уровня работ в области обследования зданий и сооружений при Г.П. ²Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.² на основе всестороннего изучения организационной и технической готовности соискателя выполнять заявляемые работы с учетом вышеизложенных положений, с последующим утверждением Минстройархитектуры. Специалисты Экспертного Совета должны принимать

участие в работе аттестационной комиссии органа по аттестации специалистов по обследованию зданий и сооружений для последующего учета ее результатов при формировании Единого Реестра, а также осуществлять периодический контроль за соблюдением действующих норм, регламентирующих правила обследования зданий в порядке, установленном Минстройархитектуры.

9. Возможны и другие пути регулирования и упорядочения деятельности по обследованию зданий, например, – путем создание общественных саморегулируемых организаций (СРО), объединяющих экспертные фирмы. Однако подходы, принятые в России неудачны, в первую очередь из-за установленных принципов финансирования их деятельности. Члены СРО облагаются непосильным невозвратным «оброком» вне зависимости от крупности, выручки и, что самое главное, – от качества услуг. По сути, хорошо работающие фирмы должны компенсировать возможный вред, нанесенный их непрофессиональными коллегами. На много справедливее и эффективнее действует система гарантийных обязательств, принятая, например, в международной ассоциации инженеров-консультантов FIDIC, которая может быть принята и для СРО. Фирма, выполнившая некоторую работу (услугу) обязана резервировать на гарантированный период на своем счете определенную (небольшую) часть средств, полученных от заказчика. Если в этот период будут выявлены дефекты и доказано, что они образовались по вине подрядчика, то исправление дефектов выполняется за счет этого «резерва», а после истечения гарантийного срока, оставшиеся средства могут использоваться подрядчиком по собственному усмотрению. При правильном подходе СРО могут стать эффективными помощниками госорганов в деле повышения надежности безопасности зданий и сооружений.

Заключение

В условиях Республики Беларусь кардинальное решение обозначенных выше проблем повышения срока службы, надежности зданий и сооружений, но наш взгляд, должно осуществляться путем создания комплексной государственной системы надзора за техническим состоянием объектов недвижимости совместными усилиями заинтересованных ведомств – Госкомимущества, Минстройархитектуры, Минжилкомхоза, Минпрома, Минфина и Минюста. Следует создать службу, на которую будут возложены вопросы паспортизации, систематизации дефектов и их причин, разработка рекомендаций по совершенствованию методов технической эксплуатации (обслуживания и ремонта), осуществление надзора за качеством технической эксплуатации, привлечение к ответственности виновных в возникновении конкретных дефектов и принуждение к их исправлению, разработка стратегии и тактики

выполнения вышеназванных мероприятий. Для получения достоверных данных о качественных и количественных изменениях в техническом состоянии республиканского фонда зданий и сооружений техническая инвентаризация должна выполняться на принципиально иной основе, под научно-методическим руководством специалистов в области оценки технического состояния зданий. В рамках такого подхода, целесообразно создать Республиканскую инспекцию по надзору за зданиями и сооружениями с выделением ее в перспективе в отдельный независимый государственный орган, о котором упоминает ст.65 п.4 и п.5 Закона РБ об архитектурной, строительной и градостроительной деятельности, В его составе должны быть инспекция строящихся объектов, инспекция эксплуатируемых объектов, а также центр учета недвижимости, информационно-аналитический центр и другие подразделения, которые в сотрудничестве с общественными организациями будут профессионально решать единую задачу – повышение надежности и долговечности зданий и сооружений на территории Республики Беларусь.

Библиографический список

1. Казачек В.Г. Строгое соблюдение технических нормативных правовых актов в области обследования, технической эксплуатации и реконструкции существующих зданий и сооружений – главное условие повышения их надежности и долговечности. «Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве» 2009г., № 4, стр.28-31.
2. Казачек В.Г. Нормативная база Республики Беларусь в области технической эксплуатации, обследование и реконструкции зданий и сооружений. Сб. научн. трудов № 8 Международной конференции «Предотвращение аварий зданий и сооружений» - Москва, 2009г. 704с.
3. Казачек В.Г. Шилов А.Е. Нормирование сроков службы зданий и периодичности ремонтных работ. «Техническое нормирование, стандартизация и сертификация в строительстве», 2010г., № 3 стр.85-96.
- 4.



ХАРАКТЕРИСТИКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА DESCRIPTION OF INNOVATION PROJECT

УДК 658.562

Четверик Н.П.

Руководитель Совета Ассоциации Независимых Испытательных Строительных Лабораторий, заместитель генерального директора НП «Безопасность в строительстве», руководитель подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, член ряда комитетов НОП, член SOVAC при РСПП, член- корреспондент ВАН КБ

Chetverik N.P.

The head of the Association of Independent Test Building Laboratories, Deputy Director General NP "Safety in Construction", the head of the subcommittee Committee on Technical Regulation of innovative technologies in construction NOSTROY, a committee member for technical regulation and standardization of NOP, member of the RSPV SOVAC, corresponding member of VAN KB

Аннотация

В статье дается информация о разработке Комитетом НОСТРОЙ Методических рекомендаций по оценке эффективности инноваций в строительстве и о основных принципах и подходах к оценке эффективности инноваций в строительстве, Цель настоящей статьи – привлечь внимание строительного сообщества к оценке инновационных технологий в строительстве Комитетом на основе только что разработанных Рекомендаций..

Метод написания – информационный.

Summary

This article provides information on the development of methodological recommendations NOSTRO Committee to assess the effectiveness of innovation in the construction and the basic principles and approaches to evaluating the effectiveness of innovation in the construction, purpose of this paper - to draw attention to the assessment of building community innovation in the construction of the Committee on the basis of the newly developed Guidelines ..

The method of writing - information.

Ключевые слова:

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, КОМИТЕТ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ СТРОИТЕЛЕЙ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИЙ.

Key words:

INNOVATION IN CONSTRUCTION, MODERNIZATION, THE INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION OF THE NATIONAL ASSOCIATION OF BUILDERS, EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INNOVATIONS.

Модернизация в России, в настоящий момент, происходит на основе Программной статьи Президента Российской Федерации Д.А.Медведевым «Россия, вперед!» [1] и его вступительного слова на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России 18 июня 2009г. [2].

Единого федерального нормативно-правового акта, регулирующего осуществление

инновационной деятельности в Российской Федерации, пока нет. Правовой базой инновационного процесса, в настоящее время, является законодательство в области интеллектуальной собственности.

Комитетом инновационных технологий в строительстве Национального объединения строителей (далее Комитет НОСТРОЙ) разработаны Методические рекомендации по оценке инноваций в строительстве (далее – Рекомендации, <http://www.nostroy.ru/>)[22]. .

В настоящих Рекомендациях представлена попытка учесть все аспекты оценки эффективности инновационного проекта (социальный, экологический, научно-технический и др.) [4]. В своей работе авторы опирались на научные работы, исследования в области инновационной деятельности и комплексной оценки эффективности инноваций, проведенные российскими [4]- [14] и зарубежными учеными [15]- [20].

В международной и российской практике существует множество подходов к оценке эффективности инноваций, но все они не могут считаться универсальными и должны применяться дифференцированно в зависимости от целей использования объектов интеллектуальной собственности.

При однозначных результатах сопоставления различных критериев эффективности инновационного проекта (далее – Инновационный проект) на приоритетное место выходят экономические преимущества.

Экономическая эффективность Инновационного проекта характеризуется системой показателей и единых методических принципов, установленных в [3].

Серьезный анализ по теме Инновационного проекта сделан Г.Б. Шпак [5].

В частности, она определяет, что инновационный проект необходимо понимать, как систему взаимоувязанных целей и программ их достижения, представляющих собой комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, организационных, финансовых, коммерческих и других мероприятий, соответствующим образом организованных (увязанных по ресурсам, срокам, исполнителям), оформленных комплектом проектной документации и обеспечивающих эффективное решение конкретной задачи (научно-технической проблемы), выраженной в количественных показателях и приводящей к инновации.

Основные элементы Инновационного проекта представлены в работе [6] (см. рис. 1).

В зависимости от вида проекта в его реализации могут принимать участие десятки организаций. Участников Инновационного проекта принято объединять в группы в зависимости от выполняемых ими функций (см. рис.2).

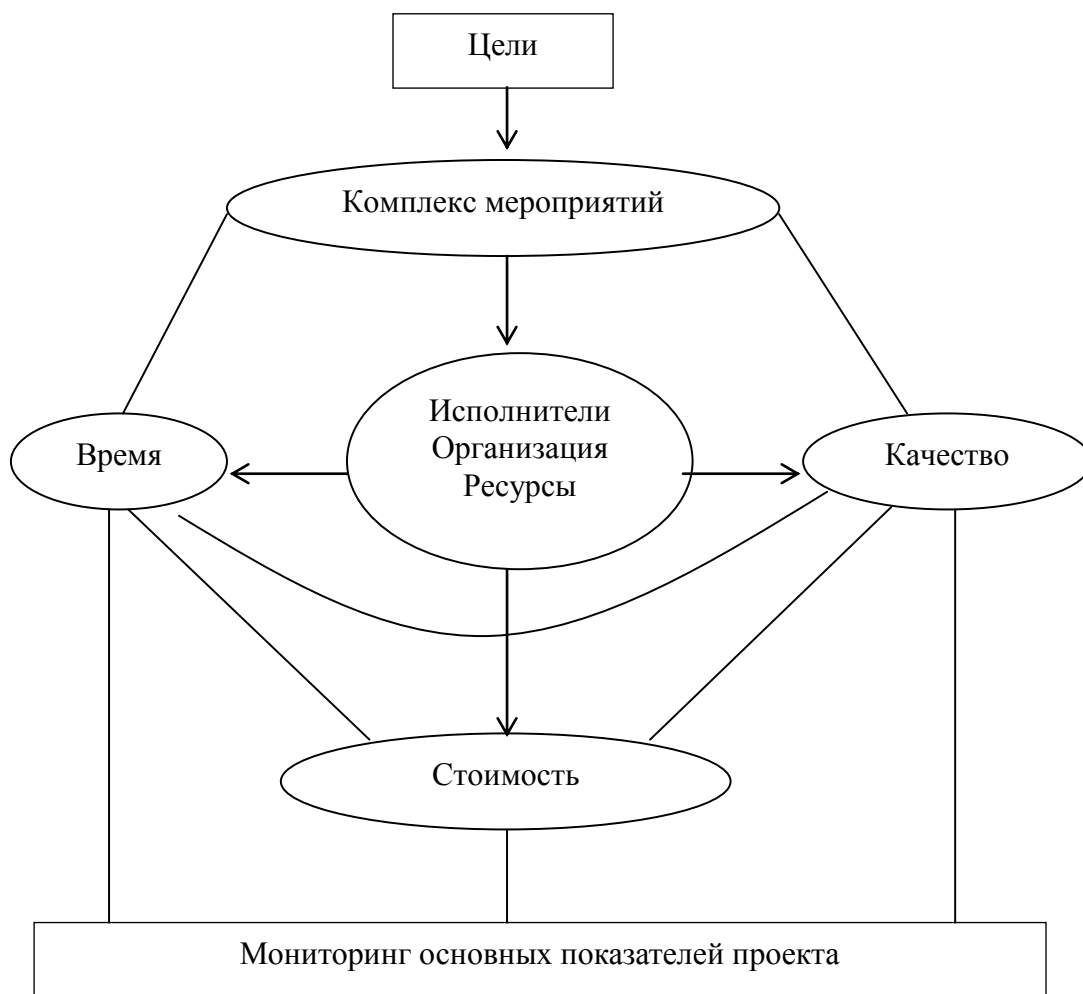


Рис.1. Основные элементы Инновационного проекта [6]

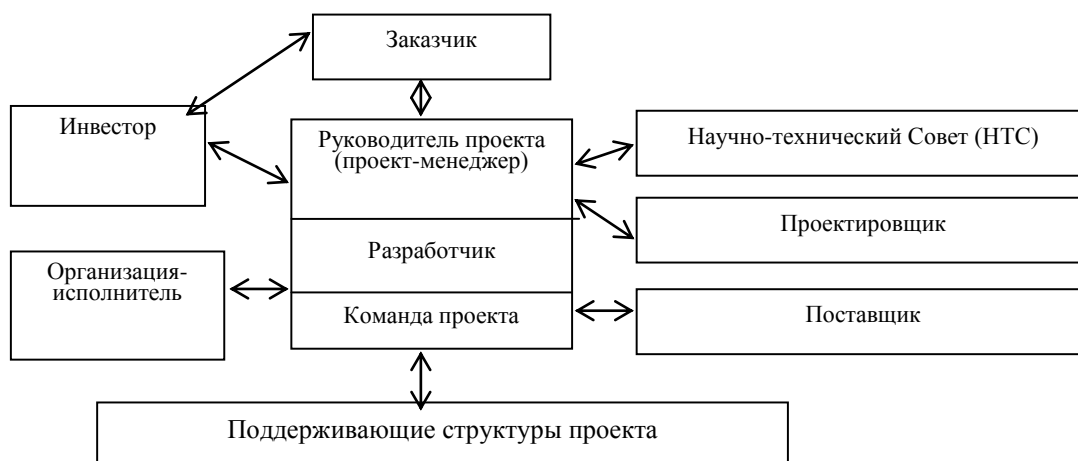


Рис.2. Участники Инновационного проекта [6].

Многообразие целей и задач инновационного развития определяет множество разновидностей проектов.

Согласно учебнику В.Г. Медынского [4] инновационный проект выделяют по уровню

научно-технической значимости:

- модернизационный, когда конструкция прототипа или базовая технология кардинально не меняются;
- новаторский, когда конструкция нового изделия отличается от прежнего (добавлением новых качеств);
- опережающий, когда конструкция основана на опережающих технических решениях, ранее нигде не применявшихся;
- пионерный, когда появляются ранее не существовавшие материалы, конструкции, технологии, выполняющие прежние и даже новые функции.

Уровень значимости проекта определяет сложность, длительность, состав исполнителей, масштаб, характер продвижения результатов инновационного процесса, что влияет на содержание проектного управления.

По масштабности решаемых задач Инновационные проекты согласно [5] подразделяются на:

- монопроекты, выполняемые одной организацией или даже одним подразделением; отличаются постановкой однозначной инновационной цели, осуществляются в жестких временных и финансовых рамках, требуется координатор или руководитель проекта;
- мультипроекты, объединяющие множество монопроектов (несколько десятков), направленных на достижение сложной инновационной цели, требуется координационное подразделение;
- мегапроекты – многоцелевые комплексные программы, объединяющие ряд мультипроектов и сотни монопроектов, связанных между собой одним деревом целей; требуют централизованного финансирования и руководства из координационного центра. На основе мегапроектов могут достигаться такие инновационные цели, как техническое перевооружение отрасли, решение региональных и федеральных проблем конверсии и экологии и т.п. Формирование и реализации мегапроектов могут потребовать объединения усилий ряда отраслей, регионов, финансово-промышленных групп и крупных корпораций.
- По продолжительности выделяют краткосрочные (1 – 2 года), среднесрочные (до 5 лет) и долгосрочные проекты (более 5 лет).

По типу инновации различают проекты, нацеленные на создание нового продукта, нового метода производства (технологии), выход на новые рынки, подключение к новым источникам сырья, формирование новой структуры управления.

По характеру инновационной деятельности различают исследовательские, научно-технические проекты, проекты, связанные с модернизацией и обновлением производственного аппарата, а также проекты системного обновления предприятия.

Формирование Инновационных проектов для решения важнейших научно-технических проблем обеспечивает:

- комплексный, системный подход к решению задачи;
- количественную конкретизацию целей научно-технического развития;
- непрерывное сквозное управление процессами создания, освоения, производства и потребления инноваций;
- обоснованный выбор путей наиболее эффективной реализации целей проекта;
- сбалансированность ресурсов, необходимых для реализации инновационного проекта;
- межведомственную координацию и эффективное управление сложным комплексом работ по проекту.

Процесс осуществления целенаправленных изменений по заранее разработанным правилам, методикам и алгоритмам составляет содержание управления проектом. Рассматривая управление Инновационным проектом, необходимо исходить из следующего положения: Инновационный проект – это сложный динамический многофункциональный объект, поэтому система управления им должна быть гибкой, чтобы допускать возможность адаптации к изменениям.

Управление Инновационными проектами можно рассматривать с трёх позиций:

- как систему функций (организация, планирование, контроль, мотивация);
- как процесс принятия управленческих решений;
- как организационную систему [6].

В связи с этим под управлением Инновационным проектом следует понимать процесс принятия и реализации управленческих решений, связанных с определением целей, организационной структуры, планированием мероприятий и контролем над ходом их выполнения, направленных на реализацию инновационной идеи.

Обобщённо цикл управления можно представить двумя стадиями: разработка Инновационного проекта и управление его реализацией. На первой стадии определяются цели проекта, ожидаемые конечные результаты, даётся оценка конкурентоспособности и перспективности результатов, возможного эффекта, формируется состав заданий и комплекс мероприятий проекта, осуществляется планирование и оформление проекта. На второй стадии выбираются организационные формы управления, решаются задачи измерения, прогнозирования, оценки складывающейся оперативной ситуации по достижению результатов, затратам времени, ресурсов, анализу и устранению причин отклонения от разработанного плана, коррекция плана, применению системы мотивации. В общем виде этапы и содержание разработки и реализации Инновационного проекта согласно [4] представлены на рис.3.

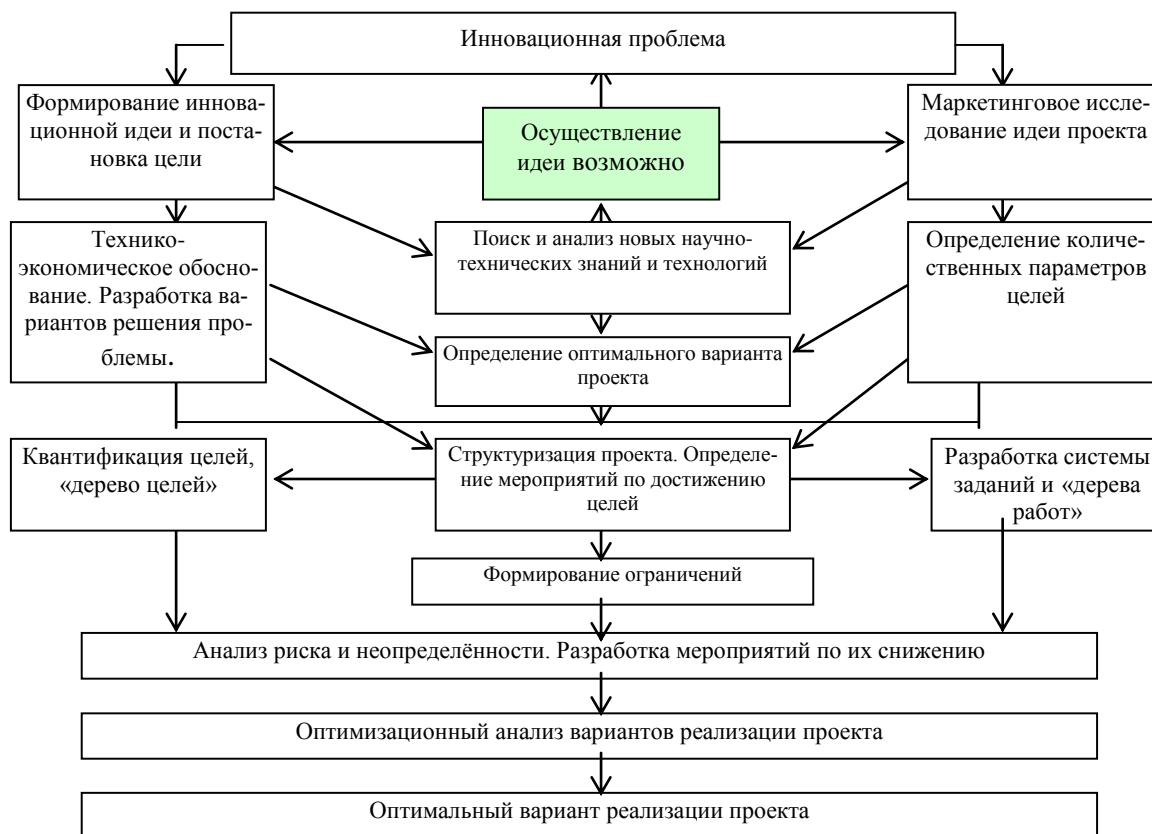


Рис. 3. Содержание и основные этапы разработки и реализации Инновационного проекта [4].

Согласно работе Г.Б. Шпак [5], инновационный проект можно представить в виде цикла, состоящего из трёх отдельных фаз: преинвестиционной, инвестиционной и эксплуатационной (см. рис. 4).

Важной составной частью управления реализацией проектов является контроль над ходом реализации. Контроль целесообразно осуществлять по трём направлениям:

- по качеству: должны соблюдаться требования целевого назначения проекта и его выходные характеристики;
- по стоимости: необходимо соблюдать бюджетные требования, расходы должны быть по возможности минимизированы;
- по времени: проект должен быть выполнен в требуемые сроки.

Инновационный проект, являясь разновидностью инвестиционных проектов, имеет ряд отличительных особенностей. Целью любого инновационного проекта является создание новшества. Проект отличается как высокой степенью неопределённости, так и малой предсказуемостью ряда параметров, а следовательно, носит рискованный характер. Как правило, инновационные проекты более продолжительны по срокам. Эти особенности определяют необходимость тщательной экспертизы и оценки Инновационных проектов при открытии финансирования [5].

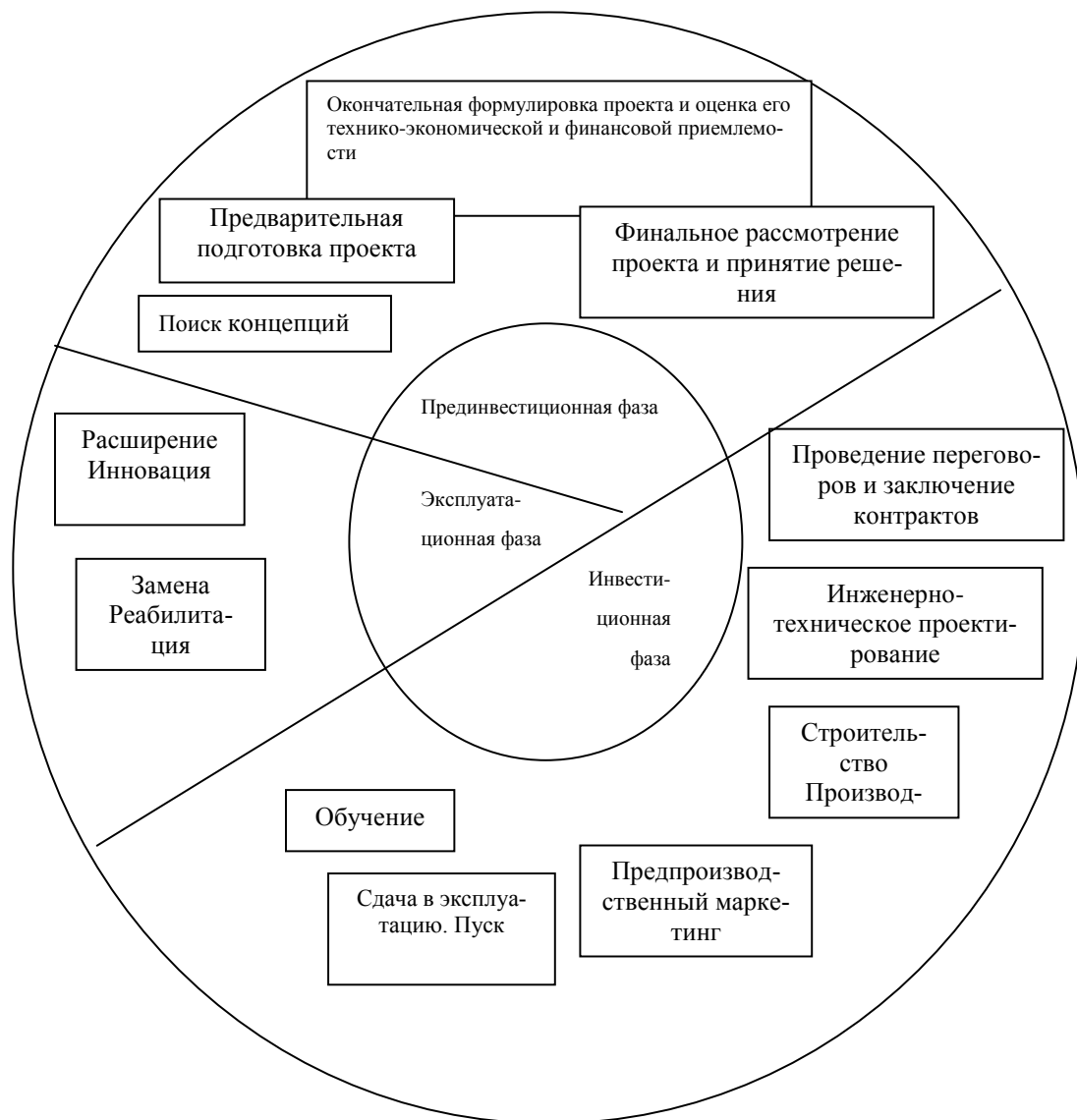


Рис. 4. Содержание фаз жизненного цикла Инновационного проекта [5].

В рамках Рекомендаций Комитета НОСТРОЙ разработан Регламент рассмотрения Инновационных проектов (далее – Регламент), предусматривающий комплексную экспертизу. На выходе настоящей экспертизы будет выдаваться сертификат соответствия и Решение о рекомендации инвесторам Инновационного проекта. Все эти материалы подготовлены согласно Резюме перспективных направлений комитета инновационных технологий в строительстве [21] и решений Комитета НОСТРОЙ согласно протоколов заседаний (<http://www.nostroy.ru/>).

Рекомендации предлагают основные подходы к этому процессу через комплекс взаимосвязанных процедур экспертизы Инновационного проекта системного характера.

Необходимо напомнить, что форма подтверждения соответствия — это определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа,

наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

Приглашаем все заинтересованные структуры к участию в настоящих мероприятиях для подтверждения соответствия Инновационных проектов своему назначению.

Библиографический список

1. Программная статья Президента Российской Федерации Д.А.Медведевым «Россия, вперед!», опубликована 10 сентября 2009 г. в Интернет-издании «Газета.Ру».
2. Вступительное слово Президента Российской Федерации Д.А. Медведева на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России 1 8 июня 2009 г. (<http://www.kremlin.ru/transcripts/4506>).
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / 2-я редакция. Утв. 21.07.1999 Госстроем России, Минэкономки РФ, Минфином РФ. - М., 1999.
4. Медынский В. Г. Инновационный менеджмент : учебник. –М.: ИНФРА-М, 2002.
5. Шпак Г.Б. Инновационный менеджмент: учебное пособие.- ГОУ ВПО «Хабаровская государственная академия экономики и права» Хабаровск 2005.
6. Инновационный менеджмент : справочное пособие / под ред. П. Н. Завлина, А. К. Казанцева, Л.Э. Миндели. – М. : ЦИСН, 1998.
7. Гамидов Г. С., Колосов В. Г., Османов Н. О. Основы инноватики и инновационной деятельности. – СПб. : Политехника, 2000.
8. Федосеев И.В. Совершенствование управления инновационно-инвестиционной деятельностью строительного предприятия в регионе - СПб.: СПбГИЭУ, 2008.
9. Дмитриев А.Н., Божко А.Н., Попова О.А., Севрюкова Н.П., Чанкина А.Н. Перспективные направления инновационного развития строительной отрасли Москвы: учебно-практическое пособие – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2007 г.
10. Жихор Е.Б. Оценка эффективности инновационных проектов предприятий: автореферат диссертации канд. эконом. наук – Харьков: Харьковский политехнический институт, 2002.
11. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 1998.
12. Оценка эффективности инноваций. / Сост.: П.Н. Завлин и А.В. Васильев. СПб.: Изд. дом «Бизнес - пресса», 1998.
13. Ковалев Г. Д. Основы инновационного менеджмента: Учебник для вузов / Под ред. проф. В.А. Швандара – М.: ЮНИТИ –ДАНА, 1999.
14. Менеджмент организации: Учебное пособие / под ред. З.П. Румянцевой, Н.А. Саломатина. – М.: ИНФРА-М, 1995.
15. Руководство Канберры: Руководство по измерению трудовых ресурсов занятых в научной и научно-технической сфере (Manual On The Measurement Of Human Resources Devoted To S&T - Canberra Manual), ОЭСР, 1995.
16. Экономика знаний (The Knowledge-based Economy), ОЭСР, 1996.
17. Национальные инновационные системы (National Innovation System), ОЭСР, 1997.
18. Динамика национальных инновационных систем (Dynamising National Innovation Systems), ОЭСР, 2002.
19. Руководство Осло: Рекомендации по сбору и анализу данных по инновациям (Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition), пер. на рус. яз. / совместная публикация ОЭСР и Евростата, 3-е изд. М.: ЦИСН, 2006.
20. Руководства Фраскати: Стандарт отчетности по научным исследованиям и разработкам (Proposed Standard Practice for Surveys of Research and Experimental Development - the Frascati

Manual), ОЭСР, 2002..

21. Резюме перспективных направлений развития подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве (<http://www.nostroy.ru/>).

22. Методические рекомендации по оценке эффективности инноваций в строительстве, – М: кол. авт.: Н.П.Четверик, И. Ю. Грунин, Х. М. Ханухов, Л. М. Пироцкая, А. А. Шляпников, А.А. Деревянко, под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2011,- 66 с. (<http://www.nostroy.ru/>).



ОЦЕНКА И ОТБОР ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ EVALUATION AND SELECTION OF INNOVATION PROJECTS

УДК 658.562

Четверик Н.П.

Руководитель Совета Ассоциации Независимых Испытательных Строительных Лабораторий, заместитель генерального директора НП «Безопасность в строительстве», руководитель подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, член ряда комитетов НОП, член SOVAC при РСПП, член- корреспондент ВАН КБ

Chetverik N.P.

The head of the Association of Independent Test Building Laboratories, Deputy Director General NP "Safety in Construction", the head of the subcommittee Committee on Technical Regulation of innovative technologies in construction NOSTROY, a committee member for technical regulation and standardization of NOP, member of the RSPV SOVAC, corresponding member of VAN KB

Аннотация

В статье дается информация о разработке Комитетом НОСТРОЙ Методических рекомендаций по оценке эффективности инноваций в строительстве и об основных принципах и подходах к оценке эффективности инноваций в строительстве. Цель настоящей статьи – привлечь внимание строительного сообщества к оценке эффективности инновационных технологий в строительстве на основе только что разработанных Рекомендаций. Метод написания – информационно-аналитический.

Summary

This article provides information on the development of methodological recommendations NOSTRO Committee to assess the effectiveness of innovation in the construction and the basic principles and approaches to evaluating the effectiveness of innovation in construction. The purpose of this article - to draw attention to the construction community to assess the effectiveness of innovative technologies in the construction, based on the newly developed Recommendations ..

The method of writing - analytical.

Ключевые слова:

**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, КОМИТЕТ
ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ
СТРОИТЕЛЕЙ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИЙ.**

Key words:

**INNOVATION IN CONSTRUCTION, MODERNIZATION, THE INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION
OF THE NATIONAL ASSOCIATION OF BUILDERS, EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INNOVATIONS.**

Как мы знаем, модернизация в России, в настоящий момент, происходит на основе Программной статьи Президента Российской Федерации Д.А.Медведевым «Россия, вперед!» [1] и его вступительного слова на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России 18 июня 2009г. [2].

К большому сожалению, единого федерального нормативно-правового акта, регулирующего осуществление инновационной деятельности в Российской Федерации, пока нет. Правовой базой инновационного процесса, в настоящее время, является законодательство в области интеллектуальной собственности.

Комитетом инновационных технологий в строительстве Национального объединения строителей (далее Комитет НОСТРОЙ) разработаны Методические рекомендации по оценке инноваций в строительстве (далее – Рекомендации, <http://www.nostroy.ru/>) [7].

В одном из разделов Рекомендаций прописана процедура оценки и отбора Инновационных проектов на основе научных работ и исследований в области инновационной деятельности и комплексной оценки эффективности инноваций.

Большой интерес для нас представляет работа Г.Б. Шпак [4], на основе которой и был выстроен настоящий раздел Рекомендаций.

Одним из этапов разработки и управления реализацией Инновационного проекта является оценка имеющихся вариантов и выбор оптимального варианта проекта. Отбор проектов необходим для снижения риска инновационной деятельности предпринимательской фирмы. Инновационный проект, эффективный для одного предприятия, может оказаться неэффективным для другого в силу объективных и субъективных причин (территориальной расположенности, состояния основных фондов, уровня квалификации персонала и пр.). Однако ряд параметров важен для большинства инновационных предприятий.

Суть метода отбора Инновационных проектов заключается в следующем: рассматривается соответствие проекта каждому из установленных критериев и по каждому критерию даётся оценка проекту. Метод позволяет увидеть все достоинства и недостатки проекта и гарантирует, что ни один из критериев, которые необходимо принять во внимание, не будет забыт, даже если возникнут трудности с первоначальной оценкой.

Критерии, необходимые для оценки инновационных проектов, могут различаться в зависимости от конкретных особенностей организации, ее отраслевой принадлежности и стратегической направленности. При составлении перечня критериев необходимо использовать лишь те из них, которые вытекают непосредственно из целей, стратегии и задач организации, ее ориентации, долгосрочных планов. Проекты, получающие высокую оценку с позиции одних целей, стратегий и задач, могут не получить ее с точки зрения других.

Основными критериями для оценки Инновационных проектов являются [4].:

Цели организации, стратегия, политика и ценности:

- совместимость проекта с текущей стратегией организации и долгосрочным планом;

- оправданность изменений в стратегии организации (в случае, если этого требует принятие проекта);
- соответствие проекта отношению организации к риску;
- соответствие проекта отношению организации к нововведениям;
- соответствие проекта требованиям организации с учетом временного аспекта (долгосрочный или краткосрочный проект);
- соответствие проекта потенциалу роста организации;
- устойчивость положения организации;
- степень диверсификации организации (т.е. количество отраслей, не имеющих производственной связи с основной отраслью, в которой осуществляет свою деятельность организация, и их доля в общем объеме ее производства), влияющая на устойчивость ее положения;
- влияние больших финансовых затрат и отсрочки получения прибыли на современное состояние дел в организации;
- влияние возможного отклонения времени, затрат и исполнения задач от запланированных, а также влияние неудачи проекта на состояние дел в организации.

Финансовые критерии:

- размер инвестиций (вложения в производство, вложения в маркетинг, для проектов научно-исследовательских работ (далее – НИР) и научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (далее – НИОКР) затраты на проведение исследования и стоимость развития, если исследование успешно);
- потенциальный годовой размер прибыли.
- ожидаемая норма чистой прибыли.
- соответствие проекта критериям экономической эффективности капиталовложений, принятым в организации.
- стартовые затраты на осуществление проекта.
- предполагаемое время, по истечении которого данный проект окупится.
- наличие финансов в нужные моменты времени.
- влияние принятия данного проекта на другие проекты, требующие финансовых средств.
- необходимость привлечения заемного капитала (кредитов) для финансирования проекта и его доля в инвестициях.
- финансовый риск, связанный с осуществлением проекта.
- стабильность поступления доходов от проекта (обеспечивает ли проект устойчивое повышение темпов роста доходов фирмы, или доход от года к году будет колебаться).
- период времени, через который начнется выпуск продукции (услуг), а, следовательно,

возмещение капитальных затрат.

- возможности использования налогового законодательства (налоговых льгот).
- фондоотдача, т.е. отношение среднего годового валового дохода, полученного от проекта, к капитальным затратам (чем выше уровень фондоотдачи, тем ниже в общих расходах организации доля постоянных издержек, не зависящих от изменения загрузки производственных мощностей, а, следовательно, тем меньше будут убытки в случае ухудшения экономической конъюнктуры; если уровень фондоотдачи в данной организации ниже среднеотраслевого, то в случае кризиса у нее больше шансов разориться одной из первых).
- оптимальность структуры затрат на продукт, заложенный в проекте (использование наиболее дешевых и доступных производственных ресурсов).

Научно-технические критерии:

- вероятность технического успеха;
- патентная чистота (не нарушено ли патентное право кого-либо из патентодержателей);
- уникальность продукции (отсутствие аналогов);
- наличие научно-технических ресурсов, необходимых для осуществления проекта;
- соответствие проекта стратегии НИОКР в организации;
- стоимость и время разработки;
- воздействие на другие проекты;
- патентоспособность (возможна ли защита проекта патентом);
- потребности в услугах консультативных фирм или размещении внешних заказов на НИОКР.

Производственные критерии

- необходимость технологических нововведений для осуществления проекта;
- соответствие проекта имеющимся производственным мощностям (будет ли поддерживаться высокий уровень использования имеющихся в наличии производственных мощностей, или с принятием проекта резко возрастут накладные расходы);
- наличие производственного персонала (по численности и квалификации);
- величина издержек производства. Сравнение ее с величиной издержек у конкурентов;
- потребность в дополнительных производственных мощностях (дополнительном оборудовании);
- стоимость и наличие необходимых сырья, материалов, комплектующих изделий;
- уровень безопасности производства.

Рыночные критерии:

- соответствие проекта определённым потребностям рынка;
- оценка общей ёмкости и доли рынка;
- вероятность коммерческого успеха;
- возможный объём продаж;
- оценка конкурентов;
- согласованность с существующими каналами сбыта.

Внешние и экологические критерии:

- возможное вредное воздействие продуктов и производственных процессов на окружающую среду;
- правовое обеспечение проекта, его непротиворечивость законодательству;
- возможное влияние перспективного законодательства на проект;
- возможная реакция общественного мнения на осуществление проекта;
- дополнительные расходы на утилизацию отходов.

Более точную экономическую оценку проекта можно дать с помощью показателей экономической эффективности, описанной в [3].

Процедура отбора может быть разделена на три этапа: предварительную оценку проекта, комплексную экспертизу, подготовку заключения.

На предварительной стадии отбираются проекты, которые практически реализуемы и имеют экономический эффект. На этой стадии учитывают соответствие проекта целям деятельности инвестора, дополнительный общественный и социальный эффект у заявителя, принадлежность новой получаемой собственности, привлекаемые при выполнении проекта ресурсы, отраслевую принадлежность. Особо учитываемыми признаками могут быть характер и уровень риска достижения успеха, связь с другими проектами и программами, влияние на экспортно-импортные связи страны, соответствие проекта приоритетным направлениям научно-технической политики страны.

Комплексная экспертиза предполагает [4]:

- оценку участников проекта (компетентность, практический опыт руководителей, качество маркетинговых исследований, деловой опыт компании, потенциальный капитал у исполнителя проекта и т.п.);
- оценку текущего и перспективного рынка товаров и услуг;
- оценку используемых научно-технических и технологических разработок;
- оценку финансовых потоков.

Заключение по проекту предполагает вывод о целесообразности инвестирования.

В настоящее время получила развитие сертификация проектов, которая удостоверяет его

качество [5].

Сертификация проектов позволяет проводить аукционы по привлечению инвесторов, она повышает доверие к проекту со стороны зарубежных инвесторов. Всё это сказывается на усилении конкуренции капиталов и способствует снижению ставки процента коммерческого кредита.

Под Комплексной экспертизой Инновационных проектов Комитетом НОСТРОЙ (<http://www.nostroy.ru/>) понимается система взаимосвязанных процедур, включающей в себя механизмы входной и детальной технической экспертизы, направленные на обеспечение объективной оценки их экономической эффективности, научной и социально-экономической значимости, подготовке обоснованного заключения в целях принятия решения о рекомендации инвесторам проекта.

Входная экспертиза проводится по формальным признакам соответствия представленных документов, предъявляемым к ним требованиям, а также по основным оценочным параметрам, указанным в инновационном предложении. Инновационный проект не подлежит детальной технической экспертизе до завершения входной экспертизы. Входная экспертиза проводится в течение одного месяца с момента регистрации, после чего оно выносится на заседание Комитета. Возможна доработка Инновационного проекта в случае наличия замечаний по нему и (или) проведение детальной технической и коммерческой экспертизы.

Детальная техническая экспертиза проводится в срок не более 6 месяцев в зависимости от сложности и (или) анализа состояния рынка. В процедуру проведения детальной технической экспертизы входит обязательное посещение предприятия (места развития проекта) и анализ вопросов, связанных с состоянием интеллектуальной собственности, рынка, технического уровня продукции, системы продаж и др. критериев. Детальная техническая экспертиза может проводиться с привлечением независимых экспертов в области инновационной деятельности в строительстве.

Защита Инновационного проекта осуществляется на заседании Комитета под руководством представителя НОСТРОЙ, курирующего деятельность настоящего Комитета.

Результаты комплексной экспертизы завершаются выпуском акта и представляются в виде официального заключения Комитета, в отдельных случаях - сертификата соответствия

Комплексная экспертиза является обязательным этапом оценки Инновационного проекта, поскольку призвана оценить соответствие результата деятельности запланированным показателям, она осуществляется на начальной фазе жизненного цикла Инновационного проекта.

При проведении экспертизы должны приниматься во внимание научно-технический уровень, реальность экономического, экологического и социального обоснования, сроки

планируемого внедрения, фактическая стоимость и сроки окупаемости инновационных проектов и программ.

Инновационные проекты, прошедшие комплексную экспертизу и получившие положительные заключения, могут претендовать на поддержку инвесторов, получение различных форм государственной поддержки.

Независимые эксперты несут ответственность за разглашение конфиденциальных сведений, подпадающих под понятие интеллектуальной собственности, а также составляющих предмет изобретения, полезной модели, промышленного образца.

В рамках Рекомендаций Комитета НОСТРОЙ разработан Регламент рассмотрения Инновационных проектов в строительстве (далее – Регламент), включающий все вышеперечисленные процедуры комплексной экспертизы. На выходе настоящей экспертизы планируется выдавать сертификат соответствия и решение о рекомендации инвесторам Инновационного проекта. Все эти материалы подготовлены согласно Резюме перспективных направлений комитета инновационных технологий в строительстве [6], положения о Комитете НОСТРОЙ и его решений согласно протоколов заседаний (<http://www.nostroy.ru/>).

Приглашаем все заинтересованные структуры к участию в мероприятиях для подтверждения соответствия Инновационных проектов в строительстве своему предназначению.

Библиографический список

1. Программная статья Президента Российской Федерации Д.А.Медведевым «Россия, вперед!», опубликована 10 сентября 2009 г. в Интернет-издании «Газета.Ру».
2. Вступительное слово Президента Российской Федерации Д.А. Медведева на заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России 18 июня 2009 г. (<http://www.kremlin.ru/transcripts/4506>).
3. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / 2-я редакция. Утв. 21.07.1999 Госстроем России, Минэкономки РФ, Минфином РФ. - М., 1999.
4. Шпак Г.Б. Инновационный менеджмент: учебное пособие.- ГОУ ВПО «Хабаровская государственная академия экономики и права» - Хабаровск, 2005.
5. Глухов В.В., Коробко С.Б., Маринина Т.В. Экономика знаний. - СПб. : Питер, 2003.
6. Резюме перспективных направлений развития подкомитета по техническому регулированию комитета инновационных технологий в строительстве (<http://www.nostroy.ru/>).
7. Методические рекомендации по оценке эффективности инноваций в строительстве, – М: кол. авт.: Н.П.Четверик, И. Ю. Грунин, Х. М. Ханухов, Л. М. Пироцкая, А. А. Шляпников, А.А. Деревянко, под общ. ред. Н.П.Четверика, Комитет инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ, 2011,- 66 с. (<http://www.nostroy.ru/>).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИИ ЗДАНИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ТАРИФА ОБЯЗАТЕЛЬНОГО СТРАХОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

RISK ASSESSMENT OF BUILDINGS FOR THE CALCULATION OF THE COMPULSORY INSURANCE RATE AND REMAINING LIFE ASSESSMENT AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES.

УДК 69.059

Байбурин Д.А.

аспирант кафедры «Строительная механика» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», магистр техники и технологии по направлению «строительство»

Bayburin D. A.

post-graduate department "Structural Mechanics" GOU VPO "South Ural State University", Master of Engineering

Иванов А. Е.

директор ООО «Проектстройэкспертиза», г. Челябинск

Ivanov A. E.

director of "Proektstroyekspertiza", Chelyabinsk

Мельчаков А.П.

профессор кафедры «Строительная механика» ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск, доктор технических наук, советник РААСН

Melchakov A.P.

Professor of "Structural Mechanics" GOU VPO "South Ural State University", Chelyabinsk, Doctor of Engineering, RAASN Advisor

Аннотация

В статье приведен результат оценки риска аварии, остаточного ресурса и расчета тарифной ставки страхования для здания на опасном производственном объекте. Рассматриваются перспективы развития методики оценки риска аварии для промышленных зданий.

Summary

This paper presents the result of an accident risk assessment, residual life and the calculation of the tariff rates of insurance for the building at hazardous production facilities. The prospects of development of methodology for assessing accident risk for industrial buildings are considered.

Ключевые слова:

риск, риск-менеджмент, остаточный ресурс, страхование, промышленная безопасность.

Key words:

risk, risk management, residual life, insurance, industrial safety.

В 2012 году с 1-го января, согласно Федеральному закону №116-ФЗ [1], введено обязательное страхование опасных производственных объектов (ОПО) и, более того, с 1-го апреля, согласно Федеральному закону №225-ФЗ [2], для поднадзорных предприятий вводятся штрафные санкции за отсутствие полиса страхования ОПО.

Действующие правовые документы предусматривают фиксированные страховые суммы для определенных типов ОПО и назначение страховых премий путем перемножения страховой суммы на базовый тариф [2]. Однако, для использования страхования как рычага регулирования безопасности, назначение страхового тарифа должно опираться на адекватную оценку безопасности объекта страхования. Именно в этом случае страхователь будет заинтересован в качественном выполнении строительно-монтажных, ремонтных работ.

Опорой страхования в зарубежном строительстве является хорошо развитый риск-менеджмент. Там обучаются эксперты, которые затем оценивают различные риски и разрабатывают управленческие меры по их снижению (переносу и т.д.). В нашей стране, к сожалению, управление рисками еще не используется в строительной отрасли, но уже достаточно активно ведутся разработки различных методик оценки риска [3, 4].

Очевидно, что для зданий и сооружений целесообразно оценивать риск аварии (обрушения здания или его части), который обобщает вероятность аварийного события с тяжестью последствий, вызванных этим событием [3].

ФГБОУ ВПО Южно-Уральским государственным университетом совместно с ООО «Проектстройэкспертиза» была проведена работа по анализу риска аварии на одном из опасных производственных объектов и положена основа для разработки метода оценки риска аварии и прогнозирования остаточного ресурса для каркасов одноэтажных производственных зданий. Работа проводилась в инициативном порядке в процессе проведения очередной экспертизы промышленной безопасности здания.

В ранее опубликованной статье был проведен краткий анализ существующих методик оценки остаточного ресурса [5] и сделан вывод о целесообразности применения к объектам повышенного уровня опасности методик, основанных на оценке риска и вероятности аварии. Целью работы было установить возможность применения методики оценки риска аварии для оценки остаточного ресурса здания.

Исследуемое промышленное здание – цех со смешанным каркасом 1960-1964 года постройки. Конструкции покрытия и подкрановые балки – металлические, остальные конструкции – железобетонные. Пространственная жесткость в продольном направлении обеспечивается связями по верхним и нижним поясам ферм и диском покрытия и жесткой заделкой колонн в фундаменты-стаканы, в поперечном – жесткой заделкой железобетонных колонн в фундаменты-стаканы.

Согласно методике [3] первым шагом в оценке риска является выбор групп однотипных строительных конструкций непосредственно влияющих на риск аварии здания. В общем случае, таковыми являются конструкции, составляющие несущий каркас здания, включая фундаменты и основание. Неудовлетворительное состояние самонесущих стен промзданий может незначительно повышать риск аварии за счет возможности локального обрушения стен с малой величиной ущерба, однако в текущей работе состояние конструкций стен было признано работоспособным и исключено из расчета риска аварии. Таким образом, были выделены следующие группы однотипных конструкций: основание здания, фундаменты под колонны, колонны, подстропильные фермы, стропильные фермы, элементы вертикальных и горизонтальных связей, подкрановые балки, плиты покрытия.

Основание здания – мелкозернистый песок и суглинок, все характеристики грунтов известны и подтверждены геологическими изысканиями.

Фундаменты под колонны – сборные железобетонные стаканного типа из бетона марки М200, глубина заложения фундаментов -3,000, -4,000 м.

Колонны – сборные железобетонные крайних рядов – сечением 0,5x1,0 м, средних – двухветвевые с сечениями ветви 0,5x0,5 м из бетона марки М200, М300.

Стропильные, подстропильные фермы и элементы вертикальных и горизонтальных связей диска покрытия выполнены из стали СтЗкп, длина двускатных стропильных ферм 30 м, односкатных – 15 м, подстропильных – 18, 24 м.

Подкрановые балки сварные металлические из стали марки СтЗсп длиной 6, 12, 18, 24 м.

Покрытие цеха – железобетонные ребристые плиты покрытия типа ПКЖ из бетона марки М200 размерами 6,0x1,5 м, металлические щиты, мелкогабаритные железобетонные плиты покрытия, кровля мягкая, рулонная.

Следующим этапом оценки риска аварии является оценка текущего состояния конструкций и получение закона распределения уровней надежности (деградации конструкций) для каждой из групп однотипных конструкций (рис. 1).

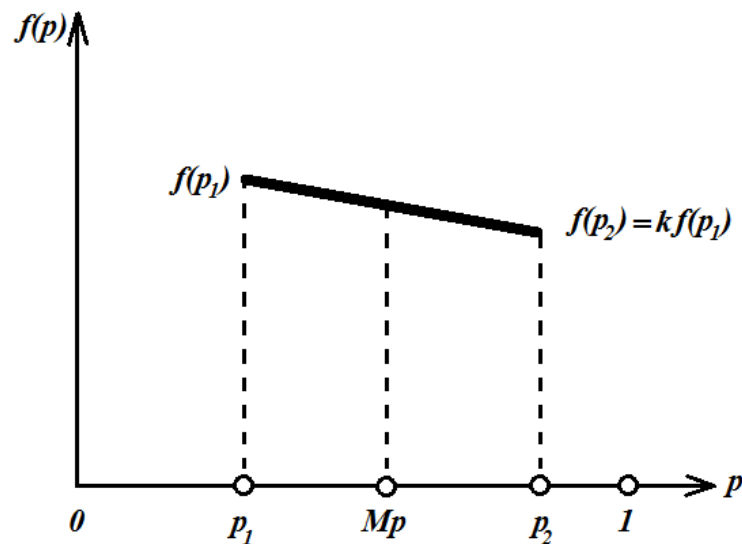


Рис. 1. Закон распределения показателей надежности для группы однотипных конструкций

Параметрами закона являются значения трех величин: p_1 – уровень надежности наиболее дефектной в группе конструкции, p_2 – уровень надежности наименее дефектной в группе конструкции и параметр k , характеризующий различие в значениях плотности вероятностей уровней надежности наиболее и наименее дефектных конструкций в группе. Параметр k как и параметры p_1 и p_2 является «единичным» показателем уровня конструкционной безопасности строительного объекта. Величина параметра k , варьируемая в пределах от 0 до 1, зависит главным образом от человеческих ошибок, допускаемых при эксплуатации зданий и сооружений. Для его определения в первом приближении можно воспользоваться формулой $k = 1 - s^*/S$, где S – общая площадь, занимаемая группой однотипных конструкций, а s^* – ее часть, подверженная в процессе эксплуатации объекта какому-либо негативному воздействию (промораживание, замачивание, действие агрессивной среды и др.).

Математическая модель закона деградации определится из условия, что площадь под законом распределения всегда равна единице. При этом условии модель деградации группы конструкций принимает вид:

$$f(p) = [(2(p_2 - p) - 2k(p_1 - p)) / [(1+k)(p_2 - p_1)^2]]$$

Математическое ожидание закона (среднее значение уровня надежности) найдется из решения определенного интеграла $\int p f(p) dp$ в пределах от p_1 до p_2 . В результате имеем:

$$Mp = [2(k-1)(p_2^3 - p_1^3) + 3k(p_1^3 - p_1 p_2^2) + 3(p_2^3 - p_2 p_1^2)] / [3(1+k)(p_2 - p_1)^2]$$

Признаком деградации группы однотипных конструкций в процессе эксплуатации объекта является уменьшение среднего значения распределения Mp , которое постепенно и необратимо смещается по оси p влево за счет системоразрушающих факторов (старение конструкций, их износ, коррозия, усталость и др.).

Назначение уровней надежности происходит на основе расчетов, опыта эксплуатации и обследования конкретного типа конструкций по правилу назначения уровней надежности, применимого для любых типов конструкций (таблица 1).

Таблица 1

Правило назначения уровня надежности конструкции




| Уровень опасности конструкции | Отношение конструкции к требованиям проекта | Ранг уровня | Уровень надежности конструкции |
|-------------------------------|--|-------------|--------------------------------|
| 0 | Дефектов <i>нет</i> | – | 1,000 |
| 1 | Соответствие требованиям проекта <i>практически полное</i> | 1 | 0,994 |
| | | 2 | 0,987 |
| | | 3 | 0,981 |
| 2 | Отклонения от требований проекта <i>незначительные</i> | 1 | 0,969 |
| | | 2 | 0,939 |
| | | 3 | 0,910 |
| 3 | Отклонения от требований проекта <i>значительные</i> | 1 | 0,882 |
| | | 2 | 0,828 |
| | | 3 | 0,777 |
| 4 | Соответствие требованиям проекта <i>низкое</i> | 1 | 0,730 |
| | | 2 | 0,686 |
| | | 3 | 0,644 |
| 5 | Соответствия требованиям проекта <i>практически нет</i> | 1 | 0,604 |
| | | 2 | 0,568 |
| | | 3 | 0,533 |
| 6 | Соответствие <i>предельно-низкое</i> | – | 0,500 |
| 7 | Конструкция содержит <i>опасный</i> дефект | 1 | 0,470 |
| | | 2 | 0,441 |
| | | 3 | 0,414 |
| 8 | Конструкция содержит <i>несколько опасных</i> дефектов | 1 | 0,389 |
| | | 2 | 0,365 |
| | | 3 | 0,343 |
| 9 | Конструкция содержит <i>угрожающие аварией</i> дефекты | 1 | 0,322 |
| | | 2 | 0,303 |
| | | 3 | 0,284 |
| 10 | Состояние конструкции практически <i>предельное</i> | – | 0,250 |

Стоит отметить, что уровню опасности конструкции «0» соответствует такое состояние конструкции, при котором коэффициенты запаса соответствуют проектным, уровню опасности «6» – такое состояние конструкции когда проектный запас практически исчерпан, а уровню опасности «10» соответственно предельное состояние при котором конструкция превращается в механизм.

Для обеспечения оперативной оценки в настоящее время ведется разработка правил назначения уровней надежности для отдельных типов конструкций в зависимости от характера обнаруженных дефектов и повреждений. Накопление данных предполагается вести за счет введения в работу экспертной системы, позволяющей обобщать и применять накопленный в процессе проведения экспертиз опыт оценки риска аварии [6, 7]. При этом для каждого типичного дефекта отдельной группы конструкций составляется свое правило назначения уровней надежности по результатам данных визуально-инструментального осмотра (таблица 2) на основе анализа снижения несущей способности, устойчивости, долговечности поврежденных конструкций с учетом величины ущерба при их обрушении.

Таблица 2

Правила назначения уровней надежности для железобетонных колонн (пример)

| № п/п | Описание дефекта | Фотография типового дефекта | Характеристика дефекта | р |
|-------|--|---|--|--|
| 1 | Нарушение защитного слоя бетона колонны |  | Площадь [м ²], глубина [мм] до: 0,05, 10 0,05, 20 0,05, 30 0,1, 10 0,1, 20 0,1, 30 0,15, 10 0,15, 20 0,15, 30 0,2, 10 0,2, 20 ... | 0,994 0,987 0,939 0,987 0,969 0,882 0,969 0,910 0,828 0,939 0,882 ... |
| 2 | Скол бетона ребра колонны длиной с оголением рабочей арматуры, коррозия арматуры |  | Длинна [мм], глубина [мм], коррозия [мм] до: 100, 50, 0,05 200, 60, 0,1 300, 70, 0,2 400, 80, 0,4 500, 90, 1,0 ... | 0,987 0,969 0,828 0,730 0,644 ... |
| 3 | Скол бетона оголовка колонны с оголением рабочей арматуры, коррозия арматуры |  | Длинна [мм], глубина [мм], коррозия [мм] до: 100, 50, 0,05 150, 60, 0,1 200, 70, 0,2 250, 80, 0,4 300, 90, 1,0 ... | 0,910 0,828 0,730 0,604 0,470 ... |
| ... | | | | |

Для исследуемого здания значения максимальных и минимальных уровней надежности для групп однотипных конструкций представлены в таблице 3.

По результатам назначения уровней надежности наглядно видно, какие конструкции вносят большой вклад в величину риска аварии, что немаловажно при предоставлении результатов заказчику. Кроме того, возможно прогнозирование снижения риска аварии при выполнении ремонта (замены) этих конструкций.

Таблица 3

Результаты назначения уровней надежности для обследуемого объекта

| № п/п и название группы однотипных конструкций | p_1 | p_2 | Примечание |
|--|-------|-------|--|
| 1. Основание здания | 0,987 | 0,987 | Дефектов и повреждений, свидетельствующих о просадке здания не выявлено, прорывов технологических трубопроводов не выявлено, разрушений фундаментов во вскрытых шурфах не выявлено, проектные данные о грунтах совпадают с данными геологических изысканий, незначительно нарушена отмостка здания |
| 2. Фундаменты под колонны | 0,987 | 0,987 | |
| 3. Колонны | 0,644 | 0,987 | Разрушение бетона на оголовках колонн, локальные замачивания, незначительные сколы с оголением рабочей арматуры, прочность бетона соответствует проектной |
| 4. Подстропильные фермы | 0,343 | 0,882 | Значительное коррозионное повреждение одной из четырех подстропильных ферм, локальные замачивания узлов ферм с коррозией до 5% сечения, отсутствие защитного покрытия |
| 5. Стропильные фермы | 0,828 | 0,939 | Замачивание опорных стоек и верхних поясов ферм с коррозией до 3%, отсутствие защитного покрытия, на 10% ферм действует дополнительное периодическое температурное воздействие (нагрев нижнего пояса до 50 – 110°C) от прокатного стана |
| 6. Элементы вертикальных и горизонтальных связей | 0,828 | 0,987 | Погибы с малой длиной и стрелой погиба, меньшая часть подвержена дополнительному периодическому температурному воздействию от прокатного стана |
| 7. Подкрановые балки | 0,910 | 0,987 | На одной балке зафиксирован незначительный погиб верхней полки, небольшое дополнительное вибрационное воздействие связано с тем, что часть крановых путей требуют рихтовки и установки прижимных планок |
| 8. Плиты покрытия | 0,470 | 0,994 | Имеется несколько ограниченно работоспособных плит с опасным дефектом в виде оголения и коррозии арматуры продольных ребер на всю длину, на 50% плит следы замачивания в виде высолов белого цвета слабой и средней степени интенсивности |

Для зданий нормальной категории ответственности целесообразно вести расчет по наиболее ожидаемому значению статистического распределения риска аварии, полученному в результате математического моделирования путем разыгрывания наложения дефектов и повреждений групп конструкций друг на друга методом Монте-Карло. В таком случае результат представится в виде гистограммы распределения риска аварии (рис. 2). Метод получения подобных распределений (деградации) по конструкциям и распределения риска был описан в статье [8].

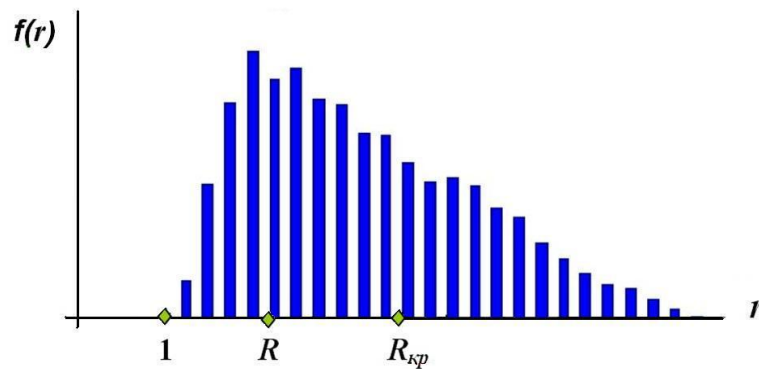


Рис. 2. Гистограмма распределения риска аварии

Для зданий и сооружений повышенной категории ответственности, строительные аварии которых могут привести к тяжелым социальным и экономическим последствиям, целесообразно также проводить жесткую оценку риска аварии по минимальным значениям уровней надежности, при которой риск аварии вычисляется по следующей формуле:

$$R_{\phi} = 1 / \prod p_{i\gamma},$$

где R_{ϕ} – фактический риск аварии, $\prod p_{i\gamma}$ – произведение минимальных уровней надежности всех групп конструкций, γ – поправочный коэффициент дополнительных воздействий.

Поправочный коэффициент дополнительных воздействий учитывает работу конструкций при непроектных воздействиях, в нашем случае он снижает общий уровень надежности за счет неудовлетворительного состояния кровельного ковра на 0,7, дополнительных воздействий на конструкции от мостовых кранов расстройстве крановых путей на 0,95, наличия участков локального перегрева конструкций на 0,9 и наличия в цехе средне агрессивной к конструкциям среды на 0,95, следовательно:

$$\gamma = 0,7 * 0,95 * 0,9 * 0,95 = 0,569$$

Таким образом значение риска аварии для исследуемого здания:

$$R = 1 / (0,987 * 0,987 * 0,644 * 0,343 * 0,828 * 0,828 * 0,910 * 0,470 * 0,569) = 27,87$$

Рассмотрим варианты снижения риска аварии путем проведения ремонта (замены) каких либо конструкций. Так при ремонте кровли из коэффициента γ будет исключен составляющий коэффициент 0,7 и риск составит 19,5, при усилении подстропильной фермы и переоценке уровня надежности конструкций значение риска уменьшится в 2 раза и составит 10,83. Таким образом, можно просчитывать экономическую эффективность каждого варианта снижения риска и принимать соответствующие решения – это один из подходов снижения риска, активно применяемый в риск-менеджменте.

Расчет остаточного ресурса через риск аварии не зависит от статистических среднетраслевых сроков эксплуатации конструкций и зданий и характеризует остаточный ресурс всего каркаса здания. Упрощенная формула, по которой можно вычислить остаточный ресурс здания выглядит следующим образом:

$$T_{\phi\phi} = T_{\phi} (32 - R_{\phi}) / (R_{\phi} - 1),$$

где $T_{\phi\phi}$ – безопасный остаточный ресурс, T_{ϕ} – фактический срок службы здания, R_{ϕ} – фактический риск аварии.

Для исследуемого здания безопасный остаточный ресурс составит:

$$T_{\infty} = 48 \text{ лет } (32 - 27,87) / (27,87 - 1) = 7,4 \text{ года}$$

Стоит отметить, что полученное значение остаточного ресурса здания адекватно только в случае эксплуатации здания в тех же условиях, что и при его эксплуатации на протяжении предыдущего периода. В нашем случае при превышении безопасного остаточного ресурса подстропильная ферма перейдет в предельное состояние, характеризуемое невозможностью сопротивляться непроектным воздействиям, через некоторое время за ней последуют плиты покрытия. Полученные значения риска аварии и остаточного ресурса диктуют необходимость ремонта здания, а значения уровней надежности групп однотипных конструкций – его последовательность.

Рычагом повышения безопасности зданий и сооружений является обязательное страхование, при котором величина страхового тарифа напрямую зависит от риска аварии. В применяемой методике также предложен механизм регулирования безопасности путем расчета тарифной ставки в зависимости от величины риска аварии. Для расчета текущей тарифной ставки можно воспользоваться упрощенной формулой:

$$N = 1 - \exp[-0,0365 (R_{\phi} - 1)]$$

Для исследуемого здания при текущем состоянии тарифная ставка составит:

$$N = 1 - \exp[-0,0365 (20,35 - 1)] = 0,625$$

При выполнении ремонта кровли или усилении подстропильной фермы тарифная ставка составит 0,491 и 0,301 соответственно. Таким образом, можно просчитать экономическую эффективность того или иного мероприятия, направленного на снижения риска аварии.

В заключении стоит отметить что данный метод оценки зданий и сооружений при наличии апробированной методики с обоснованными правилами назначения уровней надежности будет отличаться универсальностью и оперативностью, что положительно скажется на затратах при оценке объектов в рамках ЭПБ. Немаловажно и то, что за счет снижения требований к квалификации эксперта, такую методику можно применять при прогнозировании остаточного ресурса производственных объектов непосредственно службами строительного надзора на предприятии, тем самым обеспечив эффективность планирования проведения ремонтных работ и снижение рисков и ущербов.

Выводы:

1. Применение оценки риска аварии для расчета остаточного ресурса и страхового тарифа возможно, но, как и для любого вероятностного метода, необходима калибровка за счет введения поправочных коэффициентов на различные условия эксплуатации зданий.

2. Целесообразно накопление опыта при оценке дефектов и повреждений конструкций для создания адекватных и уточнения существующих правил назначения уровней надежности, что реализуется при создании экспертной системы. Быстрее всего накопление опыта будет возможно при условии обследования серийных (однотипных) конструкций, таких как каркасы производственных зданий.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"
2. Федеральный закон №225-ФЗ от 27.07.2010 «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на

опасном объекте»

3. Мельчаков А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: Теория, методология и инженерные приложения: Монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2009. – 113 с.
4. Тамразян А.Г., Булгаков С.Н., Рахман И.А., Степанов А.Ю. Снижение рисков в строительстве при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера: Научное издание. Под общ. ред. Тамразяна А.Г. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 304с.
5. Байбурин А.Х., Иванов А.Е., Байбурин Д.А. Некоторые аспекты оценки остаточного ресурса строительных конструкций [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электрон. научн. журн. 2010: URL: <http://www.pamag.ru/prensa/aspekty-ocenki>
6. Байбурин Д.А. Автоматизированная экспертная система контроля риска аварий зданий и сооружений в процессе их создания // 63-я научная конференция. Секции технических наук. Челябинск: ЮУрГУ, 2011.
7. Байбурин Д.А., Фабрика Е.В. Разработка экспертной системы оценки риска аварий в строительных системах на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации // Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Материалы IV Всероссийская научно-техническая конференции с международным участием. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 86.
8. Чебоксаров Д.В. Оценка и обеспечения уровня конструкционной безопасности эксплуатируемых зданий и сооружений [Электронный ресурс] // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электрон. научн. журн.: URL: <http://www.pamag.ru/prensa/ooukb-zis>



РОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. ROLE OF TECHNICAL AUDIT IN MAINTENANCE OF INDUSTRIAL SAFETY

УДК 629.039.58

Павлова Г. А.

*ФБГОУ Московский государственный строительный университет «МГСУ(НИЦ)»,
докторант каф. Испытание сооружений*

Pavlova G.A.

Employed at degree at the Chair "Testing of installations" FBGOU Moscow State Construction University (MGSU), NITS,"

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос о необходимости и актуальности проведения технического аудита на промышленных предприятиях, приведены результаты проведенного технического аудита на одном из предприятий производства строительных материалов.

Summary

In article the question of need and an urgency of carrying out technical audit at the industrial enterprises is considered, results of the carried-out technical audit on one of the enterprises of production of construction materials are given.

Ключевые слова:

технический аудит, опасный производственный объект, технические устройства, промышленная безопасность.

Key words:

The technical audit, dangerous industrial object, technical devices, industrial safety.

В последнее время при проведении работ по экспертизе промышленной безопасности зачастую специалисты сталкиваются с тем фактом, что имеющиеся на промышленных предприятиях сведения о принадлежности объектов к категории опасных, их техническом состоянии не отражают действительного положения, не дают объективного представления о безопасности как оборудования, зданий и сооружений, так и производственных процессов в целом. Потому целью технического аудита является анализ принадлежности объектов, эксплуатируемых на опасном производственном объекте к объектам подконтрольным органам Ростехнадзора и выдача рекомендаций по дальнейшей их безопасной эксплуатации (со сроками проведения технических диагностирований в соответствии с действующими нормативно-техническими и методическими документами) на основе систематизации и анализа информации, имеющейся на предприятии.

Опыт проведения технического аудита показывает, что всего выявляются общие для предприятий различного назначения замечания:

- отсутствие, либо неполное наличие проектной и монтажной документации;
- отсутствие или неполный комплект, несоответствие НТД эксплуатационной документации;

- наличие технических устройств, отработавших нормативный срок службы с непродленным сроком эксплуатации;
- неправильная идентификация технических устройств;
- несоблюдение сроков выполнения ППР;
- несоответствие фактического режима работы технологических установок проектному и т.д.

В качестве примера можно привести некоторые результаты проведенного технического аудита на предприятии по производству строительных материалов. На предприятии эксплуатируются следующие опасные производственные объекты, зарегистрированные в государственном реестре ОПО:- производственный участок; площадка козлового крана; участок транспортирования опасных веществ; участок хранения битума; система газопотребления; участок битумного праймера и холодных мастик.

В цепочке технологического процесса предприятия используются объекты котлонадзора (среда: сжатый воздух, пар), объекты газоснабжения и газопотребления (среда: природный газ), объекты химического и нефтехимического производства (среда: битум БНК 40/180 и БНК 45/190, спецсырье, диатермическое масло АМТ-300 или АМТ-300Т, толуол нефтяной, топливо ТС-1 (растворитель), дизельное топливо, керосин, спирт этиловый технический, сжиженный углекислый газ, фреон, этанол и др.), грузоподъемные механизмы, объекты транспортировки опасных веществ, здания и сооружения, установленные на территории опасного производственного объекта.

Для приема, хранения, транспортировки и использования опасных веществ в технологии производства продукции применяются технические устройства и сооружения подлежащие и не подлежащие регистрации в органах Ростехнадзора.

Анализ собранных данных показал, что количество объектов с истекшим нормативным сроком эксплуатации составляет 23,25% от общего количества эксплуатируемых на предприятии объектов, в основном это объекты, относящиеся к химическому, нефтехимическому и нефтеперерабатывающему надзору. Именно этим объектам должно уделяться повышенное внимание и на основании этого анализа были рекомендованы сроки проведения экспертизы промышленной безопасности (рис.1).

Соотношение объектов по отраслям надзора от общего количества эксплуатируемых на предприятии и соотношение эксплуатируемых технических устройств и зданий и сооружений представлены на рис. 2 и рис. 3.

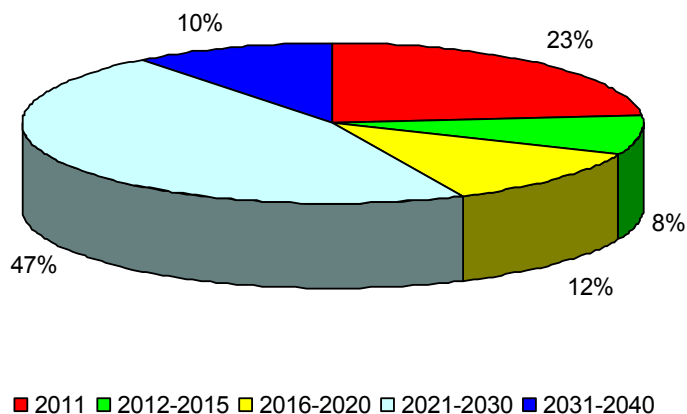


Рис.1 – Рекомендуемые сроки проведения экспертизы промышленной безопасности по годам.

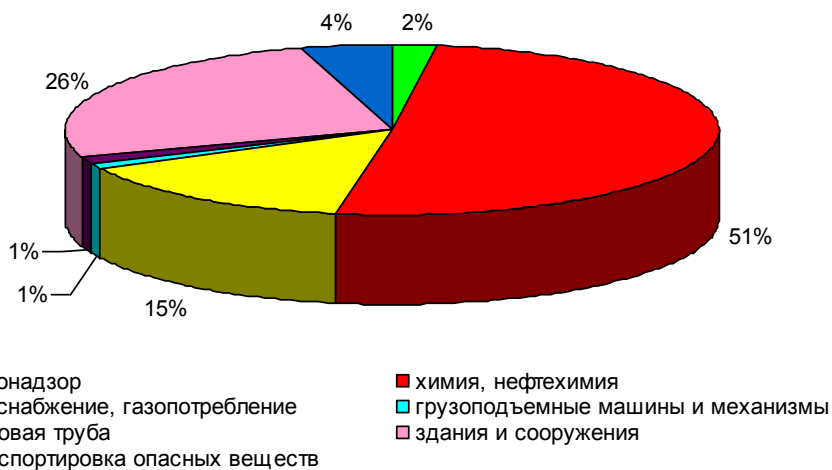


Рис.2 – Количество объектов по отраслям надзора от общего количества эксплуатируемых объектов.

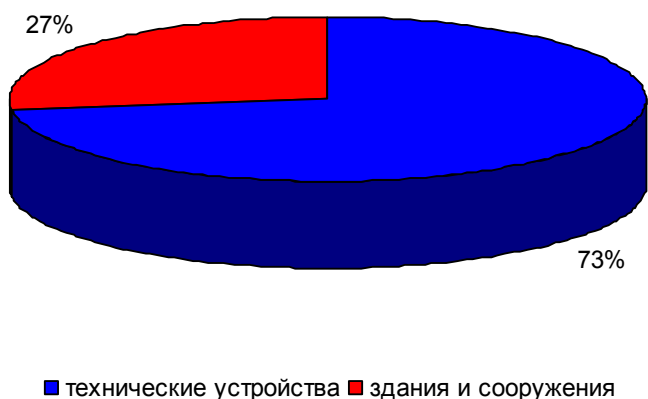


Рис.3 – Соотношение количества технических устройств и зданий и сооружений эксплуатируемых на предприятии.

Основываясь на анализе результатов технического аудита руководители предприятия могут мотивированно принимать решения по необходимости выполнения рекомендаций ауди-

торов, правильно планировать бюджет, направленный на выполнение мероприятий по повышению уровня безопасности.

Библиографический список

1. ПБ 03-605-03. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов.
2. СА 03-008-08. Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности.
3. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов.
4. СО 153-34.17.464-2003. Инструкция по проведению срока службы трубопроводов 2,3 и 4 категорий
5. ПБ 12-529-03. Правила безопасности систем газораспределения и газопотребления.
6. РД 12-608-03. Положение по проведению экспертизы промышленной безопасности на объектах газоснабжения
7. СА 03-005-07. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности. Требования к устройству и эксплуатации.
8. ДиОР – 05. Методика диагностирования технического состояния и определения остаточного ресурса технологического оборудования нефтеперерабатывающих, нефтехимических производств.
9. СТО-СА-03-004-2009. Трубчатые печи, резервуары, сосуды и аппараты нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Требования к техническому надзору, ревизии и отбраковке
10. ПБ 03-445-02. Правила безопасности при эксплуатации дымовых и вентиляционных промышленных труб.
11. РД 22-01-97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов.
12. СТО 36554501-014-2008. Стандарт организации. Надежность строительных конструкций и оснований.

Безопасность технических устройств

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF GAS TRANSMISSION LINES

УДК 620.197

Пономарева М.А.

Балашовский институт (филиал) Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, аспирант кафедры прикладной информатики

Ponomareva M.A.

Balashov Institute (Branch), Saratov State University named after NG Chernyshevsky, post graduate student at the Department of Applied Informatics

Аннотация

Теоретические наработки по проблеме надежности трубопроводного транспорта в настоящее время выполнены в достаточной мере, практика требует расширение размерности решаемой задачи; учета неоднородности и нелинейности различного рода, а также реальной геометрической формы конструкции и разных комбинаций граничных и начальных условий при решении краевой задачи. В статье рассматривается оценка надежности трубопроводного транспорта с учетом риска возникновения аварии с позиции теории нечетких множеств.

Summary

Theoretical developments on the issue of reliability of the pipeline is currently performed adequately, the practice requires the expansion of the dimension of the problem being solved, taking into account heterogeneity and nonlinearity of various kinds, as well as the actual geometry of the design and different combinations of boundary and initial conditions for solving the boundary problem. The paper considers the assessment of the reliability of pipelines with risk of failure from the standpoint of the theory of fuzzy sets.

Ключевые слова:

надежность, неопределенность, риск, нечеткое множество, критерии надежности, магистральный трубопровод, экспертные оценки.

Key words:

reliability, uncertainty, risk, fuzzy set, the criteria of reliability, main pipeline, expert evaluation.

В настоящее время учеными собран большой материал по аналитическим решениям задач обеспечения надежности трубопровода. Именно на решениях подобных задач базируются все основные нормативные документы и расчетные нормы. Существующий СНиП 2.05.06-85 и его новая редакция содержат основные требования по обеспечению надежности трубопроводов, в том числе касающиеся материалов, конструкции и т.д. [2]. Но такие документы используют только традиционные подходы и не учитывают сочетания различных факторов, разброс механических свойств труб и дефектность. Несмотря на то, что теоретические наработки по проблеме надежности трубопроводного транспорта выполнены в достаточной мере, практика требует расширение размерности решаемой задачи; учета неоднородности и нелинейности различного рода, а также реальной геометрической формы конструкции и разных комбинаций граничных и начальных условий при решении краевой задачи.

Оценка риска аварий на трубопроводе является составной частью управления промышленной безопасностью. В соответствии с законом о техническом регулировании [5] в

процесс проектирования конструкций включен раздел «Определение проектного риска», в котором риск аварии получает количественное выражение. Однако на сегодняшний день нет единого подхода к определению и расчету риска аварии газопровода. В соответствии с законом «О техническом регулировании» риск - вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда.

В качестве надежности в рассматриваемом случае обычно понимают сохранение функции трубопровода и жизни людей при повреждении объекта недвижимости. Если рассматривать риск как меру опасности, то его можно вычислить, а также есть границы риска, которые нельзя переступать. Существуют пороговые инвариантные значения риска аварии, при достижении которых строительный объект независимо от типа и размеров переходит в качественно иное физическое состояние: из безопасного в предаварийное, из предаварийного в аварийное [1].

Такие формулировки должны также учитывать объективный характер неопределенности, обусловленный наличием факторов недетерминированной природы, благодаря которым конечный результат принимаемого решения не может быть однозначно определен.

Термины «надежность», «безопасность» и «риск» часто смешивают и их значения перекрываются (рис. 1).

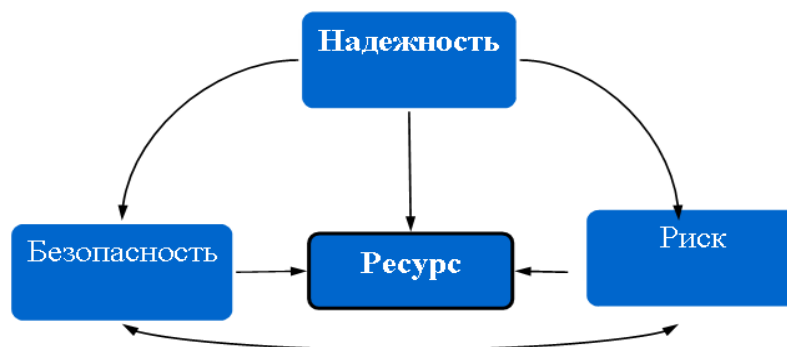


Рисунок 1. Взаимосвязь надежности и производных технологических показателей

При этом неопределенность и риск не связываются с каким-либо конкретным инструментарием, используемым для их описания. Риск связан с преломлением неопределенности через субъективное отношение к последствиям проявления факторов неопределенности и связанные с этим интересы конкретного лица, принимающего решение. Поэтому в упрощенном виде связь риска с неопределенностью выражается формулой

$$\text{Риск} = \text{Неопределенность} + \text{Субъективное отношение ЛПР к последствиям ее проявления.}$$

Приведенное определение риска учитывает, в том числе, и возможность благоприятного влияния случайных факторов на результаты принимаемого решения, например увеличение срока службы трубопровода без ремонтных работ. Следовательно, в отличие от неопределенности, которая является объективно существующей характеристикой, риск — это характеристика субъективная.

К настоящему времени сложился достаточно широкий спектр практических инструментов (таблица 1), используемых при анализе различных рисков [4].

Таблица 1.

Инструменты анализа риска

| Название | Сущность | Сфера применения |
|--|---|--|
| Метод экспертных оценок | Комплекс логических и математико-статических методов и процедур по переработке необходимой информации, связанной с деятельностью эксперта | Идентификация и ранжирование рисков, качественная оценка |
| SWOT-анализ | Таблица, позволяющая наглядно противопоставлять сильные и слабые стороны принимаемого решения | Экспертная оценка рисков |
| Роза или спираль рисков | Иллюстративная экспертная оценка рискованности факторов | Ранжирование рисков |
| Метод аналогий или консервативные прогнозы | Исследование накопленного опыта по поставленной задаче в целях расчета вероятности неблагоприятного исхода | Оценка факторов риска уже происшедших аварий |
| Метод критических значений | Нахождение тех значений переменных (факторов), которые приводят расчетное значения критерия безопасности к критическому пределу | Мониторинг рисков в процессе эксплуатации трубопровода в условиях неопределенности |

Однако, практически все методы, описанные выше, рассматривают неопределенные параметры трубопровода только как случайные, в последние годы выявлено и исследовано много иных видов неопределенности, например таких, когда параметры линейной части магистрального трубопровода (ЛЧМГ) задаются своими интервалами, функциями правдоподобия или семействами вероятностных распределений. Использование статистических методов для оценки риска аварии затрудняется отсутствием статистических данных или малым размером выборки по некоторым из параметров, обусловленными

уникальностью расположения, условий эксплуатации и других параметров каждого трубопровода. Более того, с помощью этих методов нельзя предсказать поведение параметров, вызванное изменением внешних условий, так как предпосылкой использования статистических методов является неизменность самих внешних условий. Вероятностно-математические модели в настоящее время еще не могут обеспечить точность, существенно превышающую точность метода экспертных оценок, но их применение существенно дороже последнего.

Исследования показывают, что применение сложных количественных методов анализа риска нередко дает значение показателей риска, точность которых для сложных технических систем мала. Из-за этого целесообразнее проводить полную количественную оценку риска для сравнения различных источников опасности или, наоборот, вариантов мер безопасности, чем для составления заключения о степени безопасности объекта. Однако, количественные методы оценки риска всегда очень полезны, а в некоторых ситуациях и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы, оценки последствий крупных аварий или для иллюстрации результатов.

Количественный анализ риска позволяет проводить оценку и сравнительный анализ различных опасностей по единым показателям и наиболее эффективно может использоваться:

- 1) при проектировании и размещении трубопровода;
- 2) при оценке опасности крупных аварий;
- 3) при комплексной оценке опасностей аварий для людей, имущества и окружающей природной среды.

Для проведения полного количественного анализа риска привлекаются специалисты высокой квалификации. В процессе оценки риска обрабатывается большой объем информации по аварийности, надежности оборудования, проведении экспертных работ, учитываются особенности окружающей местности, метеоусловий, времени пребывания людей в опасных зонах и других факторов.

При оценке риска появляется множество неопределенностей. Изучение неопределенностей и вызывающих их причин следует проводить для эффективной интерпретации риска.

Оценка неопределенности состоит из преобразования неопределенности критических параметров модели в неопределенность результатов в соответствии с моделью риска. Требования к полноте и точности оценки риска должны быть сформулированы настолько полно, насколько это возможно. Там, где это возможно, должны быть выявлены источники неопределенности. Это относится как к неопределенностям данных, так и к

неопределенностям модели. Должны быть точно определены те параметры, к которым чувствителен анализ.

Таким образом, поскольку понятие «риск» и «степень неопределенности» технического состояния объекта являются тесно связанными понятиями, оценку риска аварии целесообразно осуществлять или на основе логико-вероятностного подхода, базирующегося на теоремах теории вероятностей или на методах теории размытых множеств, приемах нечеткой логики и методах принятия решений в условиях неопределенности [1].

Для контроля состояния сложных систем обычно используют процедуру сравнения контролируемого параметра с эталонным или предельным значением. Основным критерием надежности газопровода является его напряженное состояние σ . Даже в простейшем случае, состояние газопровода зависит от множества факторов: давления, радиуса трубы, толщины трубы, на которую влияет коррозия и других факторов. При этом целесообразно описать нормативное состояние газопровода с помощью аппарата нечеткой логики уже на стадии проектирования, так как в процессе эксплуатации эта величина σ_n будет изменяться. В то же время реальное напряженно-деформированное состояние σ_p будет также нечетким числом, так как влияние всех факторов на газопровод невозможно определить точным числом. В итоге будет получено два нечетких множества: σ_n и σ_p .

При этом становится возможным констатировать не только выход системы из строя (в данном случае при $\sigma_p > \sigma_n$) или ее отклонение от заданного режима, но и величину близости системы к предельному состоянию или степень отклонения ее от заданной величины [3].

Риск возникновения аварии с позиции нечетких множеств — это, по мнению автора, выявление степени риска как геометрической вероятности события попадания точки (σ_p, σ_n) в зону предельного напряженно-деформированного состояния газопровода и вычисление на её основе итогового (интегрального) значения степени риска аварии. Для этого теоретически не требуется знать значения вероятности рискованного события. Практически это означает, что в тех случаях, когда вероятность риска неизвестна, недостоверна или не может быть вычислена на основе статистики или свойств системы, то мера риска будет достоверно (и объективно) обозначать измеряемую опасность.

Если представить предельное напряжение трубопровода и его реальное напряженное состояние в виде нечетких чисел σ_p и σ_n , то можно изучить поведение функций принадлежности σ_p и критерияльного значения σ_n . (рис.2).

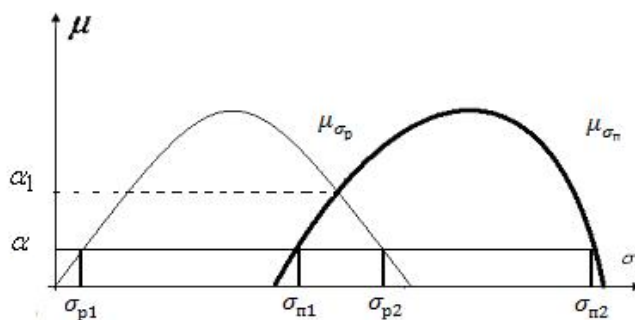


Рисунок 2. Соотношение σ_p и σ_n

Точкой пересечения этих двух функций принадлежности является точка с ординатой α_1 . Выберем произвольный уровень принадлежности α и определим соответствующие интервалы $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$ и $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$. Уровень α_1 уместно назвать верхней границей зоны риска. При $0 \leq \alpha \leq \alpha_1$ интервалы пересекаются.

Рассмотрим возможные соотношения функций принадлежности σ_n и σ_p . При соотношении $\sigma_{p1} \geq \sigma_{n2}$ положение функций принадлежности показано на рис. 3.

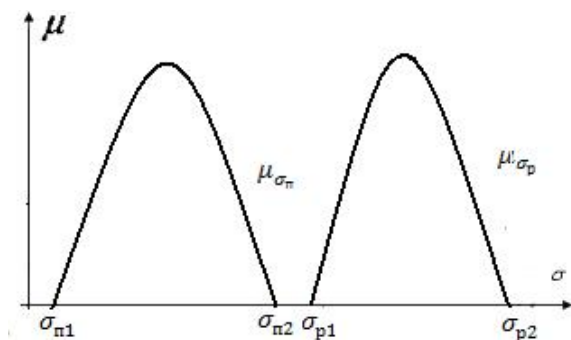


Рисунок 3. Соотношение σ_p и σ_n

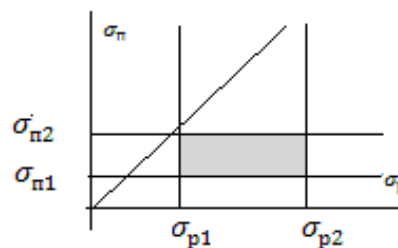


Рисунок 4. Зона риска

На рис. 4 выделена зона риска, ограниченная прямыми $\sigma_n = \sigma_{n1}$, $\sigma_n = \sigma_{n2}$, $\sigma_p = \sigma_{p1}$, $\sigma_p = \sigma_{p2}$ и бисектрисой координатного угла $\sigma_n = \sigma_p$. Взаимные соотношения параметров $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$ и $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$ дают следующий расчет для площади выделенной плоской фигуры:

$$S_\alpha = (\sigma_{p2} - \sigma_{p1})(\sigma_{n2} - \sigma_{n1}) \tag{1}$$

Аналогичным образом рассчитывается площадь зоны риска для других соотношений $[\sigma_{p1}, \sigma_{p2}]$ и $[\sigma_{n1}, \sigma_{n2}]$. Таким образом,

Поэтому при выборе подхода к оценке риска необходимо тщательно исследовать газопроводную систему, возможность получения эмпирических и статистических данных для использования вероятностного подхода, а в случае неточности и неполноты исходных данных целесообразно использовать нечетко-множественный подход для оценки риска аварии.

При определении приоритетности вывода участков линейной части магистрального газопровода (ЛЧМГ) в капитальный ремонт учитывается множество факторов, таких как: сведения о коррозии, состояние металла и изоляционного покрытия, срок эксплуатации трубопровода и другие. Однако значительное влияние на приоритетность вывода участка ЛЧМГ в ремонт вносят не только факторы, непосредственно влияющие на напряженно-деформированное состояние трубопровода, но и конструкция газопровода, наличие переходов через преграды, размеры охранной зоны газопровода, экономические факторы, объем недопоставок газа в случае возникновения аварии и т.д.

Для оценки таких показателей используют либо данные анкетирования, выраженные в баллах, либо экспертные оценки типа «высокое давление», «низкие затраты на ремонт». Такая неопределенность исходных данных связана с невозможностью дорогих полномасштабных исследований, а также с недоступностью всех необходимых для исследования данных. В указанных условиях с помощью традиционных подходов трудно получать адекватные модели приоритетности вывода ЛЧМГ в ремонт, учитывающие доступные данные. Превращать такие экспертные правила в математическую модель удобно с помощью теории нечетких множеств.

Критерием приоритетности вывода газопровода в ремонт (в дальнейшем критерий приоритетности) назовем число $Q \in [0; 1]$. Чем больше значение этого критерия, тем быстрее необходимо провести капитальный ремонт рассматриваемого участка ЛЧМГ. На приоритетность влияет много эксплуатационных, механических, экономических и других факторов. Обозначим их через x_1, x_2, \dots, x_n , тогда модель приоритетности будет представлять функциональное отображение вида:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow Q \in [0; 100],$$

где X - вектор влияющих факторов.

При большом числе факторов их влияние удобно классифицировать в виде иерархического дерева логического вывода. Предлагается иерархическая классификация влияющих факторов в виде такого дерева (рис. 5). Элементы дерева интерпретируются так:

- корень дерева – приоритетность вывода ЛЧМГ в ремонт;
- терминальные вершины - частные влияющие факторы влияния;

- нетерминальные вершины - свертки влияющих факторов;

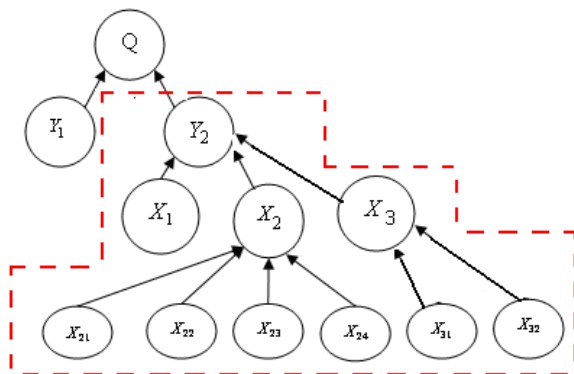


Рисунок 5. Дерево критериев надежности трубопровода

Описание факторов приведено в табл. 2.

Таблица 2.

Влияющие факторы

| Наименование фактора | Описание фактора |
|----------------------|---|
| Y_1 | Риск возникновения аварии, рассчитанный на основе реального и предельного значений напряженно-деформированного состояния трубопровода |
| Y_2 | Данные, полученные с помощью экспертных оценок |
| X_1 | Баллы анкетирования |
| X_2 | Оценка нечетких параметров эксплуатации трубопровода |
| X_3 | Нечеткая оценка последствий вывода участка в ремонт |
| X_{21} | Расстояние между трубопроводом и переходами через автомобильные и железные дороги |
| X_{22} | Близость трубопровода к населенным пунктам |
| X_{23} | Количество узлов, деталей по отношению к длине рассматриваемого участка трубопровода |
| X_{24} | Количество отказов по отношению к длине рассматриваемого участка трубопровода |
| X_{31} | Объем недопоставок газа |
| X_{32} | Затраты на ликвидацию последствий возможной аварии |

Для расчета фактора X_1 рассматриваемому участку газопровода начисляются баллы от 0 до 5 по 10 факторам. Анкета для определения баллов представлена в таблице 2. Для расчета фактора X_2 рассматриваемому участку газопровода начисляются баллы от 0 до 5 по 10 факторам. Анкета для определения баллов представлена в таблице 3.

Таблица 3.

Анкета для определения фактора X_1

| Факторы | Характеристика фактора | | Оценка в баллах |
|---|---|-------------------------|-----------------|
| | Категория а/д | Количество ж/д путей | |
| Категория перехода | 1 | 2 и более | 5 |
| | 2 | | 4 |
| | 3 | 1 | 3 |
| | 4 | | 2 |
| | 5 | | 1 |
| Подается ли газ на экспорт? | да | | 5 |
| | нет | | 0 |
| Находится ли газопровод в пределах КС, ГРС, СПХБ, ПРТ | Да, более 3 объектов | | 5 |
| | Да, 1-3 объекта | | 2 |
| | Нет | | 0 |
| Подается ли газ на предприятия с непрерывным газовым циклом? | Да | | 5 |
| | Нет | | 0 |
| Находится ли газопровод в сейсмически опасных районах? | Да | | 5 |
| | Нет | | 0 |
| Находится ли газопровод на переходах через ЛЭП 500кВ и более? | Да | | 5 |
| | Нет | | 0 |
| Есть ли пересечения с другими трубопроводами? | Да | | 5 |
| | Нет | | 0 |
| Есть ли нарушения охранной зоны? | Да | | 2 |
| | Нет | | 0 |
| Участок газопровода | Начальный | | 5 |
| | Средний | | 2 |
| | Отдаленный от КС | | 0 |
| Защищенность средствами ЭХЗ | Недозащита трубы | | 5 |
| | Нет защиты футляра | | 2 |
| | Обеспечена защита, как трубы, так и футляра | | 0 |

Для нечеткой оценки параметров эксплуатации трубопровода используются экспертные базы знаний типа Мамдани, элементы antecedентов нечетких правил связаны логической операцией «И». В качестве базы знаний были сформулированы 81 правило управления. Для иллюстрации укажем только несколько:

Таблица 4.

Нечеткая база знаний по оценке эксплуатации газопровода.

| X_{21} | X_{22} | X_{23} | X_{24} | X_2 |
|----------|----------|----------|----------|---------------|
| Близко | Близко | Мало | Мало | Высокая |
| Близко | Близко | Мало | Много | Очень высокая |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| Далеко | Далеко | Среднее | Много | Средняя |
| Далеко | Далеко | Среднее | Мало | Низкая |

Построим нечеткую модель оценки приоритетности вывода в ремонт участка ЛЧМГ с помощью программы MatLab и ее приложения FuzzyLogic. Для представления данных выберем треугольную форму функции принадлежности. Такие функции применяются на практике достаточно часто, что обусловлено их простотой. Существенным преимуществом треугольных функций принадлежности является то, что для их определения требуется наименьший по сравнению с остальными функциями объем информации, который в данной случае ограничивается данными об угловых точках, что является весьма важным обстоятельством при моделировании систем в условиях ограниченности объема исходных данных. В соответствии с правилами, заданными в таблице 4, зададим правила в MatLab (рис. 6).

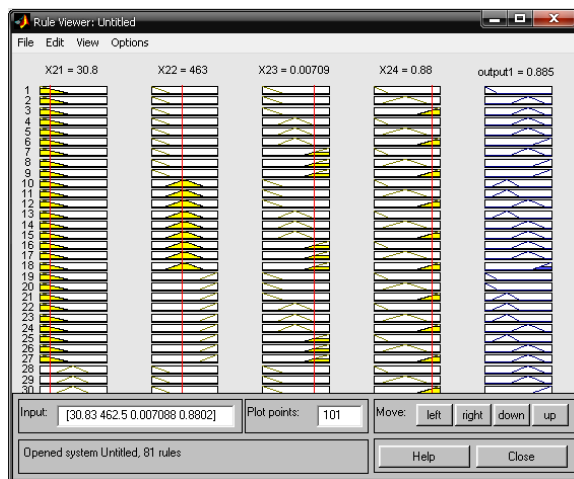


Рисунок 6. Нечеткая модель Мамдани.

Для построения нечеткой модели используется модель Мамдани. Она представляет собой множество правил, где каждое правило задает в указанном пространстве некоторую нечеткую точку. На основе множества нечетких точек формируется нечеткий график. Аналогично задаются правила для расчета нечеткого значения X_3 .

```

1. If {X31 is mf1} and {X32 is mf1} then {output1 is mf2} (1)
2. If {X31 is mf1} and {X32 is mf2} then {output1 is mf2} (1)
3. If {X31 is mf1} and {X32 is mf3} then {output1 is mf2} (1)
4. If {X31 is mf1} and {X32 is mf4} then {output1 is mf1} (1)
5. If {X31 is mf2} and {X32 is mf1} then {output1 is mf3} (1)
6. If {X31 is mf2} and {X32 is mf2} then {output1 is mf3} (1)
7. If {X31 is mf2} and {X32 is mf3} then {output1 is mf2} (1)
8. If {X31 is mf2} and {X32 is mf4} then {output1 is mf2} (1)
9. If {X31 is mf3} and {X32 is mf1} then {output1 is mf4} (1)
10. If {X31 is mf3} and {X32 is mf2} then {output1 is mf3} (1)
11. If {X31 is mf3} and {X32 is mf3} then {output1 is mf3} (1)
12. If {X31 is mf3} and {X32 is mf4} then {output1 is mf3} (1)
13. If {X31 is mf4} and {X32 is mf1} then {output1 is mf4} (1)
14. If {X31 is mf4} and {X32 is mf2} then {output1 is mf4} (1)
15. If {X31 is mf4} and {X32 is mf3} then {output1 is mf4} (1)
16. If {X31 is mf4} and {X32 is mf4} then {output1 is mf3} (1)

```

Рисунок 7. Нечеткая база данных

Для вычисления итоговой переменной Y_2 построим нечеткую базу знаний, основанной на различных сочетаниях значений переменных X_1, X_2, X_3 (рис. 7).

С помощью поверхностей нечеткого вывода нетрудно определить, какой из составляющих факторов наиболее сильно влияет на переменную Y_2 . На рис. 8. представлено влияние факторов X_2 и X_1 , график практически симметричен, что означает, что влияние факторов X_1, X_2 примерно одинаково, в то время как X_1 оказывает большее влияние на Y_2 в отличие от X_3 (рис. 9). Это обусловлено тем, что в действительности экономические факторы в меньшей степени оказывают влияние на порядок выхода газопровода в ремонт.

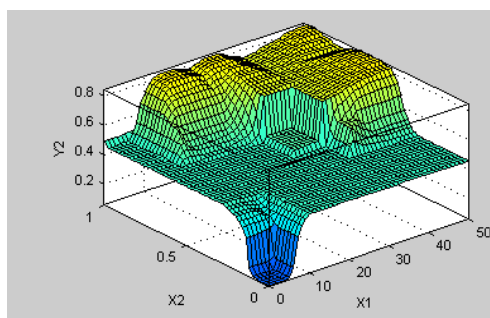


Рисунок 8.

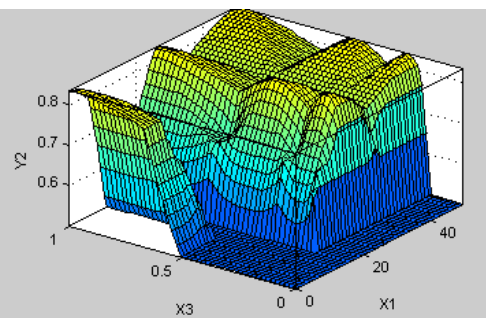
Влияние факторов X_1, X_2 на Y_2 

Рисунок 9

Влияние факторов X_1, X_3 на Y_2

Окончательный анализ результатов оценки надежности газопровода включает в себя: рассмотрение и оценку реальных условий эксплуатации системы, установление причин образования и развития обнаруженных дефектов и повреждений, степень их влияния на параметры системы внутреннего газоснабжения, оценку параметров технического состояния системы, их соответствие требованиям нормативной и проектной документации.

Оценка принимаемых решений является сложным видом деятельности. Особенно, когда принимаются решения в условиях неопределённости, на основе данных с размытыми значениями истинности. Поэтому так важен интеллектуальный анализ знаний и компьютерная поддержка принятия решений.

Библиографический список

1. Мельчаков А.П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. [Текст]: Учебное пособие / А.П. Мельчаков. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2006. – 49
2. Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов [Электронный ресурс] – М., 1997. – Режим доступа: <http://stroy.databases.ru/Data1/1/1760/index.htm>, – Загл. с экрана. – 2009.
3. Недосекин, О.А. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. [Текст]/ О.А. Недосекин. – СПб, 2002
4. Риск-менеджмент инвестиционного проекта. [Текст]: Учебник для студентов вузов / под.ред. М.В. Грачевой, А.Б. Секерина, - М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2009. – 544 с.
5. Федеральный Закон «О техническом регулировании» № 184 от 27 декабря 2002 года N 184-ФЗ



КОНТРОЛЬ РЕСУРСА ПРОЧНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ТРАССАХ СО СЛОЖНЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

CHECKING A RESOURCE OF TOUGHNESS OF MAIN PIPE LINES ON ROUTES WITH COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

УДК 622.692

Котляревский В.А.

Научно-образовательный центр исследования экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) Московского государственного технического университета (МГТУ) имени Н.Э. Баумана. Главный научный сотрудник НОЦ ИЭС.

Kotlyarevsky W.A.

Extreme Situations Research Center of Bauman Moscow State Technical University, Moscow. Lead researcher of Scientific Educational Center of Extreme Situations Analysis.

Аннотация

Изложены оригинальные методы компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния магистральных трубопроводов при статических и динамических воздействиях в сложных геологических условиях.

Summary

Stated original methods of computer modeling tense-deformed on-conduct of main pipe lines under steady-state and dynamic influences in complex geological conditions.

Ключевые слова:

Магистральный трубопровод, геологические условия на трассе, продольно-поперечные нагрузки, тензор напряжений, ресурс прочности трубопровода.

Key words:

Main pipe line, geological conditions on route, longitudinal-transverse loads, tensor of voltages, resource of toughness of pipe line.

1. Трубопроводы с провисающими участками над полостями трасс со структурно неустойчивыми грунтами

Магистральные трубопроводы (МТ), заглубленные в грунт, могут пересекать участки карстовых провалов, просадок лессовых пород и зон оттаивания мерзлых грунтов, выходя из грунта и при температурных перепадах свободно провисая под собственным весом. Большие протяженности провисания трубопроводов также связаны с пересечением горизонтальных и вертикальных разломов пород вследствие сейсмических воздействий.

Далее приведена методика моделирования напряжено - деформированного состояния (НДС) линейной части трубопровода с продуктом под давлением при температурных перепадах, свободно провисая на некотором участке трассы. В прочностном расчете участка МТ, как однопролетной балки с любыми видами опорных закреплений, предполагается фрикционное стеснение горизонтальных перемещений концов провисающего участка (далее – пролета L). Зоны боковых участков, защемленных в грунте, могут достигать 10-15% пролета. Учет боковых участков МТ увеличивает провис трубы, снижая распор и напряжения, и верхние оценки расчетных напряжений будут при $L = \text{const}$.

1.1. Формулировка метода

Рассматриваются перемещения, внутренние усилия и напряжения в трубопроводе, провисающем под статической равномерно распределенной поперечной нагрузкой, гидростатическим давлением транспортируемого продукта при температурном перепаде. Нагруженный участок трубопровода, как упругий стержень, испытывает продольно-поперечный изгиб при растягивающем осевом усилии – распоре: от удлинения при изгибе и охлаждении (или сжатия при нагреве), а также от влияния кольцевых напряжений от давления продукта в связи с несмещаемостью концевых сечений. Экстремум напряжения при изгибе определяется изгибающим моментом, содержащим приращение от действия распора с эксцентриситетом, равным прогибу. Для стержня с постоянным сечением и изгибной жесткостью EJ уравнение упругой линии $y(z)$

$$EJy^{IV} - Ny'' = q + N \cdot y'',$$

где q – поперечная нагрузка, N – продольное усилие, y^* – начальная упругая линия.

Нагрузка q принимается равной сумме погонных нагрузок от собственного веса трубы с продуктом и возможно дополнительной пригрузки (от гидроизоляции, части засыпки, снега, обледенения). Далее принят нулевой начальный прогиб ($y^* = 0$).

Возможны различные варианты граничных условий. В общем случае используется аппроксимация F упругой линии, соответствующая граничным условиям (виду опор)

$$y = y_0 F(\eta), \quad (1.1)$$

где y_0 – максимальная ордината, $\eta = z/L$ – безразмерная координата; $F(0) = F(1) = 0$.

Соотношение между изгибающим моментом и кривизной $y'' = d^2y/dz^2$ содержит момент от поперечной нагрузки M_q и от распора $N \cdot y$

$$EJy'' = -M_q - N \cdot y.$$

Дифференцируя (1.1) дважды, запишем

$$y'' = y_0 F''(\eta).$$

Из последних двух соотношений

$$y_0 F''(\eta) = -(M_q + N \cdot y)/(EJ),$$

откуда для координаты $\eta = \eta_0$ при $y = y_0$, $M_q = M_{q0}$

$$y_0 = -M_{q0}/[EJ \cdot F''(\eta_0) + N]. \quad (1.2)$$

Осевая сила N складывается из усилий осевого натяжения H при изгибе и сжатия H_T от нагрева при температурном перепаде $T > 0$ (или натяжения при охлаждении $T < 0$), а также из натяжения H_P от гидростатического давления P_g транспортируемого продукта

$$N = H + H_T + H_P, \quad (1.3)$$

$$H = -(S_{0L}/L - 1)EF, \quad H_T = \alpha TEF, \quad H_P = -\frac{1}{2}\mu P_g(D - 2\delta).$$

Здесь D – внешний диаметр трубы с толщиной стенки δ и площадью сечения $F = \frac{1}{4}\pi[D^2 - (D - 2\delta)^2]$; E – модуль упругости; μ – коэффициент Пуассона; α – коэффициент температурного расширения; S_{0L} – длина упругой линии деформированного стержня

$$S_{0L} = \int_0^L \sqrt{1 + [y_0 F'(z)]^2} dz. \quad (1.4)$$

1.2. Реализация метода для конкретных схем

В связи с разнообразием грунтовых условий в сложных геологических условиях возможны различные формы деформирования МТ и применение определенных типов опорных закреплений. Далее рассмотрены две симметричные схемы с опасными сечениями в центре пролета и у опор (рис. 1), позволяющие оценить вероятный диапазон остаточного ресурса прочности МТ. Для конкретных схем перейдем от соотношений (1.2)–(1.4) к трансцендентным уравнениям для максимума прогиба $y_m \equiv y_0$.

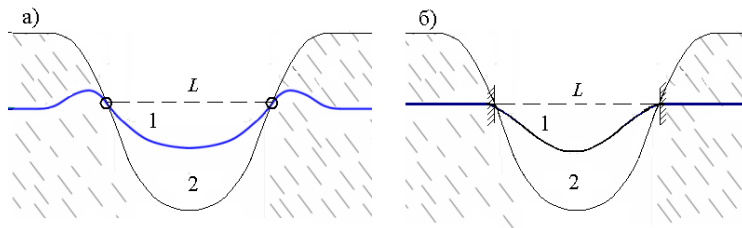


Рис. 1. Расчетные схемы участка МТ (1), провисающего над провалом (2)

При шарнирном опирании (схема (а)) для центра пролета $\eta = \eta_0 = \frac{1}{2}, M_{q0} = \frac{1}{8}qL^2$,

аппроксимирую упругую линию в виде $y = y_0 \sin(\pi\eta)$:

$$y_0 = M_{q0} / [(\pi/L)^2 EJ - N], \quad (1.5)$$

$$S_{0L} = 2 \int_0^{L/2} \sqrt{1 + (\pi y_0 / L)^2 \cos^2(\pi\eta)} dz. \quad (1.6)$$

Для варианта защемленных опор (схема (б)) для $\eta = \eta_0 = \frac{1}{2}, M_{q0} = \frac{1}{24}qL^2$, принимая упругую линию по статической форме изгиба $y = y_0(\eta^2 - 2\eta^3 + \eta^4)$:

$$y_0 = M_{q0} / [(4/L)^2 EJ - N], \quad (1.7)$$

$$S_{0L} = 2 \int_0^{L/2} \sqrt{1 + (4y_0/L)^2 (2\eta - 6\eta^2 + 4\eta^3)^2} dz. \quad (1.8)$$

Изгибающий момент в центре пролета

$$M_{\Sigma} = M_{q0} + N \cdot y_m.$$

Эквивалентные напряжения σ_{Σ} определяются при всех сочетаниях напряжений в опасных точках стенки трубы по экстремумам осевых фибровых напряжений в центре пролета от изгиба с распором

$$\sigma_m = \pm M_{\Sigma}/W + N/F,$$

(а для варианта заземленных опор – также в опорных сечениях при $M_{\Sigma} = 2M_{q0}$), с учетом кольцевых напряжений σ_g в трубе от внутреннего давления P_g продукта

$$\sigma_g = P_g \left(\frac{1}{2} D / \delta - 1 \right),$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_m^2 + \sigma_g^2} - \sigma_m \sigma_g.$$

Глобальный экстремум напряжений σ_R по пределу текучести стали σ_T определяется из числа максимумов компонент тензора напряжений и σ , всех сочетаний напряжений. При $\sigma_R < \sigma_T$ фиксируется остаточный ресурс прочности R_S

$$R_S = 1 - \sigma_R / \sigma_T. \quad (1.9)$$

Решение уравнений (1.5)–(1.8) выполняется по разработанной программе «ТРУБОПРОВОД» методом итераций по y с автоматически устанавливаемым шагом Δy . Проведены расчеты МТ с данными: $D = 1220$ мм, $\delta = 32$ мм, $L = 20$ – 90 м, $p_g = 8,2$ МПа, $T = -20, 0$ и $+20$ град. Трубы класса прочности К60 [1]: $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$, плотность $\rho = 7850$ кг/м³, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/град, $\sigma_T = 440$ МПа. Плотность продукта (нефти) 850 кг/м³. Для растягивающих усилий, напряжений и распора установлен знак минус.

Приведем результаты анализа для схемы рис. 1(б) при $L = 70$ м, иллюстрирующие влияния температуры. В исходном состоянии ($T = 0$) прогиб равен 40,9 см, распор $-5,39$ МН и остаточный ресурс $R_S = 38\%$. При охлаждении ($T = -20$ град.) прогиб снижается до 24,8 см, модуль распора возрос до $-11,2$ МН и $R_S = 30,5\%$. При положительном перепаде $T = +20$ град. прогиб возрос до 99,6 см, $R_S = 28,93\%$, а при $T = +30$ град. прогиб достиг 170 см, и ресурс снизился до 26%.

Полные результаты анализа прочности МТ для перепада $T = +20$ град. следующие. Кольцевые растягивающие напряжения от давления продукта $-148,1$ МПа. Распор (МН): от прогиба $-0,708$ (растяжение); от температуры $+5,905$ (сжатие); от внутреннего давления продукта $-5,307$; суммарный $-0,11$.

Напряжения в центре пролета (МПа): от изгиба $\pm 109,2$, от распора $-0,92$; экстремумы: в растянутой фибре $-110,11$, в сжатой фибре $108,27$; эквивалентное $133,24$; модуль экстремума напряжений $148,1$ МПа. Напряжения в опорных сечениях (МПа): от изгиба $-212,04$, от распора $-0,92$; экстремумы: в растянутой фибре $-212,96$, в сжатой фибре $211,11$; эквивалентное по

растянутой фибре 189,07, по сжатой фибре 312,69; модуль экстремума напряжений 312,69 МПа. Глобальный экстремум напряжения 312,69 МПа. Остаточный ресурс 28,93%. Значения прогибов и ресурса прочности МТ даны в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Прогибы y_m и остаточный ресурс прочности R_S труб, наполненных нефтью, под собственным весом в зависимости от пролета провеса и температурного перепада T

| Схема | T , град. | Параметр | Пролет провеса L , м | | | | | | |
|---------------|-------------|------------|------------------------|------|------|--------|------|--------|--------|
| | | | 20 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Рис. 1 (а) | -20 | y_m , см | 0,836 | 12,8 | 28,5 | 48,9 | — | — | — |
| | | R_S , % | 66,3 | 43,8 | 13,4 | Разрыв | — | — | — |
| | 0 | y_m , см | 0,885 | 16,0 | 37,0 | 62,0 | — | — | — |
| | | R_S , % | 66,3 | 57,8 | 25,7 | Разрыв | — | — | — |
| | +20 | y_m , см | 0,937 | 20,8 | 48,3 | 77,0 | — | — | — |
| | | R_S , % | 93,1 | 66,3 | 37,4 | разрыв | — | — | — |
| Рис. 1 (б) | -20 | y_m , см | 0,18 | 2,72 | 6,59 | 13,6 | 24,8 | 41,2 | 64,9 |
| | | R_S , % | 66,3 | 62,9 | 54,1 | 43,3 | 30,5 | 15,4 | Разрыв |
| | 0 | y_m , см | 0,179 | 3,18 | 8,32 | 19,3 | 40,9 | 80,2 | 144,0 |
| | | R_S , % | 66,3 | 63,3 | 57,2 | 48,7 | 38,0 | 25,2 | Разрыв |
| | +20 | y_m , см | 0,187 | 3,71 | 11,3 | 33,1 | 99,6 | > 200 | — |
| | | R_S , % | 63,6 | 55,5 | 48,4 | 39,3 | 28,9 | Разрыв | — |

В результате расчетов по двум схемам рис. 1 определены возможные диапазоны предельных пролетов, близких к исчерпанию ресурса прочности ($R_S = 1-3\%$):

для $T = -20$ град. $L_{пр} = 53-86$ м при диапазоне прогибов $y_m = 34,3-54,5$ см,

для $T = 0$ град. $L_{пр} = 55-87$ м при диапазоне прогибов $y_m = 50,6-122,8$ см,

для $T = +20$ град. $L_{пр} = 57-89$ м при диапазоне прогибов $y_m = 68,3-196,7$ см.

2. Прочность подвесных систем надземной прокладки магистральных трубопроводов через препятствия

2.1. Общие положения

Для повышения безопасности эксплуатации трубопроводов в случаях больших размеров возможного провисания и недостаточной несущей способности самого трубопровода применяют надземную прокладку с поддерживающими (в частности – подвесными) системами. Такой способ прокладки применяют также на участках трасс МТ с возможным образованием больших провалов, на переходах через водные преграды, овраги, дороги, в горных районах, болотистых местностях, в районах горных выработок, оползней и распространения вечномерзлых грунтов, при пересечении селей, а также на переходах через различные естественные и искусственные препятствия. С технико-экономическим обоснованием возможна поддержка трубопровода металлическим кожухом [2], специальным мостом [3] или тросовой подвеской. Далее рассмотрен прочностной расчет однопролетного троса, несущего прикрепленный трубопровод, как нагруженной подвешенной нити.

Трос (далее – нить) с двумя точками подвеса на одном уровне, расстояние между которыми – пролет L , провисает симметрично относительно вертикальной оси, проходящей через центр

пролета (рис. 2). Подвеску (условно разгруженной) нити осуществляют при начальном провесе f_0 , который в частном случае отсутствует ($f_0 = 0$ [4]). Под нагрузкой q , равномерно распределенной на горизонтальной проекции (по координате z с началом в левой опорной точке), нить растягивается, провес возрастает на величину прогиба Δf .

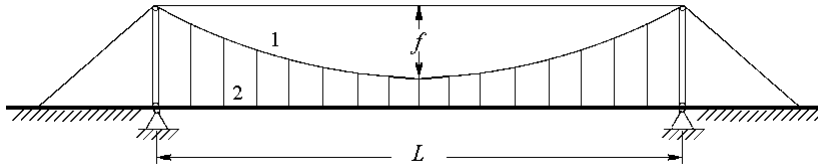


Рис. 2. Расчетная схема подвески трубопровода: 1 – нить (трос) с провесом f , 2 – подвешенный участок трубопровода на пролете L

Напряжения в нити с площадью сечения F_k оценивают, опуская влияние изгибной жесткости, как для пологой упругой нити ($f/L \leq 1/5$). Нить под нагрузкой работает только на растяжение, и усилие в каждом сечении направлено по касательной к нити. Составляющие усилия в точках подвеса – горизонтальная (распор H) и вертикальная (реакции A). Принимается, что под нагрузкой форма провисания нити параболическая

$$y = az^2 + bz, a = -4f/L^2, b = 4f/L.$$

2.2. Формулировка задачи

При начальном провесе $f_0 > 0$ длина условно разгруженной нити S_0

$$S_0 = L \left[1 + \frac{8}{3} (f_0/L)^2 - \frac{32}{5} (f_0/L)^4 \right] \approx L \left[1 + \frac{8}{3} (f_0/L)^2 \right].$$

Длина нити S под нагрузкой определяется по этой же формуле заменой f_0 на полный провес $f = f_0 + \Delta f$. Относительная деформация удлинения ε равна

$$\varepsilon = (S - S_0)/S_0 = \frac{8}{3} (f^2 - f_0^2)/(S_0 L). \quad (2.1)$$

Распор определяется из уравнения прогибов нити (при постоянном натяжении по пролету $H = \text{const}$ от действия только вертикальной распределенной нагрузки): $d^2y/dz^2 = q/H$. Двойным интегрированием с учетом граничных условий $y(0) = y(L) = 0$ получаем функцию $y(z) = \frac{1}{2} (q/H) z^2 - \frac{1}{2} (qL/H) z$, которая при $z = L/2$ дает зависимость горизонтального натяжения нити в точках подвеса H от стрелы провисания $f = y_{\max}$

$$H = qL^2/(8f).$$

Для относительной деформации ε_q запишем

$$\varepsilon_q = H/(F_k E) = \frac{1}{8} qL^2/(F_k E f).$$

Влияние нагрева (охлаждения) нити учитывают зависимостью ее относительной деформации

ε_T от температурного перепада $T = T_2 - T_1$; $\varepsilon_T = \frac{1}{L} \int_0^L \alpha T(z) dz$. При $T(z) = \text{const}$ имеем

$$\varepsilon_T = \alpha T.$$

В общем случае деформация нити равна сумме деформаций ε_Σ от нагрузки ε_q и от прогрева ε_T

$$\varepsilon_\Sigma = \varepsilon_q + \varepsilon_T = qL^2 / (8F_k E_f) + \alpha T. \quad (2.2)$$

Приравнивая значения \square по (2.1) и (2.2), получим уравнение для провеса $\xi = f/L$

$$\xi^3 - a_1 \xi - a_2 = 0 \quad (2.3)$$

с безразмерными коэффициентами $a_1 = (f_0/L)^2 + \frac{3}{8} \alpha T S_0 / L$, $a_2 = \frac{3}{64} q S_0 / (E F_k)$.

Максимум напряжения в опорных сечениях с учетом реакций $A = \frac{1}{2} qL$

$$\sigma = \sqrt{H^2 + A^2} / F.$$

Решение для (2.3) может быть представлено в зависимости от безразмерных параметров (инвариантов), характеризующих начальный провес $\xi_0 = f_0/L$, температурный перепад $\xi_T = \alpha T$, нагрузку и данные нити $\xi_{qL} = qL / (E F_k)$:

$$\xi = \xi(\xi_0, \xi_T, \xi_{qL}).$$

При этом коэффициенты в уравнении (2.3) выразятся через инварианты

$$a_1 = \xi_0^2 + \frac{3}{8} \xi_T (1 + \frac{8}{3} \xi_0^2), \quad a_2 = \frac{3}{64} \xi_{qL} (1 + \frac{8}{3} \xi_0^2).$$

В частном случае при $f_0 = 0$ имеем $S_0 = L$, $a_1 = \frac{3}{8} \alpha T$, $a_2 = \frac{3}{64} qL / (E F_k)$, а при нулевом температурном перепаде $T = 0$ $a_1 = 0$, и относительный прогиб равен $\xi = \frac{1}{4} \sqrt[3]{3qL / (E F_k)}$.

Остаточный ресурс прочности R_S при $\sigma < \sigma_{\text{ПР}} = R_k / F_k$ определяется по суммарному разрывному усилию R_k всех проволок в тросе и расчетной площади F_k в нем всех проволок:
 $R_S = 1 - \sigma / \sigma_{\text{ПР}}$.

2.3. Реализация метода

Решение уравнения (2.3) осуществляется численным методом по разработанной программе «ТРОС». Чтобы учесть постепенное изменение температурного перепада, вводится функция изменения разности температур со временем. При этом уравнение решается шаговым методом с определением значений провисания в последовательные моменты времени с заданным шагом. В вариантных расчетах приняты данные нитей (стальных тросов – канатов) по табл. 2.1 [5], в которой d_k – диаметр каната, m_k – погонная масса смазанного каната, q_k – погонный вес. Модуль упругости $E_k = 1,5 \cdot 10^5$ МПа, $\alpha = 1,21 \cdot 10^{-5}$ 1/град.

Таблица 2.1.

Сортамент стальных канатов по ТУ 14-4-1216-82

| d_k , мм | F_k , мм ² | m_k , кг/м | q_k , Н/м | R_k , МН | d_k , мм | F_k , мм ² | m_k , кг/м | q_k , Н/м | R_k , МН |
|------------|-------------------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------------------|--------------|-------------|------------|
| 42,0 | 1227,9 | 10,86 | 106,54 | 1,667960 | 62,0 | 2703,5 | 23,85 | 233,97 | 3,548580 |
| 52,0 | 1902,4 | 16,85 | 165,30 | 2,527420 | 72,0 | 3631,0 | 32,09 | 314,80 | 4,729480 |

Основная нагрузка – вес трубопровода с продуктом. Нагрузка от веса канатов, подвесок и др. элементов учитывается 10% прибавкой к весу трубы. Дополнительная нагрузка в зимних условиях – от обледенения и налипания снега. Далее принято: плотность металла труб $\rho_{СТ} = 7850 \text{ кг/м}^3$, плотность нефти $\rho_n = 850 \text{ кг/м}^3$, нагрузка $q = 20,52 \text{ кН/м}$, что соответствует нагрузке от МТ $D = 1220 \text{ мм}$, $\delta = 38 \text{ мм}$ с нефтью. Такая нагрузка может также отвечать МТ меньшего веса (табл. 2.2), пригруженным, например, обледенением и снегом. В таблице: F – площадь сечения трубы, $q_{тр}$ – погонный вес трубы, q_p – погонный вес трубы с нефтью на все сечение, $q = q_p + 0,1q_{тр}$ – расчетная нагрузка.

Таблица 2.2.

Нагрузки от некоторых стальных труб с нефтью

| \square , мм | F , мм ² | $q_{тн}$, кН/м | $q_{пн}$, кН/м | q , кН/м | \square , мм | F , мм ² | $q_{тн}$, кН/м | $q_{пн}$, кН/м | q , кН/м |
|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------|----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------|
| | $D = 1,067 \text{ м}$ | | | | | $D = 1,22 \text{ м}$ | | | |
| 19 | 0,0626 | 4,82 | 11,75 | 12,23 | 24 | 0,0902 | 6,94 | 15,94 | 16,63 |
| 22 | 0,0722 | 5,56 | 12,42 | 12,97 | 29 | 0,1085 | 8,36 | 17,20 | 18,03 |
| 28 | 0,0914 | 7,04 | 13,73 | 14,44 | 38 | 0,1411 | 10,87 | 19,44 | 20,52 |

Результаты расчета канатов с МТ с нефтью при $L = 20 - 100 \text{ м}$, $f_0/L = 1/12$ при перепадах $T = -20, 0$ и $+20$ град. даны в табл. 2.3 и на рис. 3 и 4. С разогревом канатов ($T > 0$) уменьшаются напряжения, поскольку нить удлиняется и величина f возрастает, то есть напряжения до разогрева будут наибольшими. При охлаждении ($T < 0$) с уменьшением провеса напряжения в канате будут расти, и при $f \rightarrow 0$ возможен ее разрыв.

Влияние температуры возрастает с уменьшением начального провеса. Опасность при отрицательном температурном перепаде представляет случай при подвесе с нулевым начальным провесом на больших пролетах, что иллюстрируется табл. 2.4.

Таблица 2.3.

Прогибы Δf , распор H , напряжение σ и ресурс прочности R_S канатов диаметром d_k , нагруженных на пролетах L подвешенным трубопроводом при температурных перепадах T

| Канат d_k , мм | T , град. | Параметр | L , м | | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| | | | 20 | 40 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | | f_0 , м | 1,67 | 3,33 | 5,00 | 5,83 | 6,67 | 7,50 | 8,33 |
| 72 | -20 | Δf , см | 3,99 | 17,4 | 39,10 | 52,9 | 68,44 | 85,7 | 104,8 |
| | | H , КН | 609,4 | 1189 | 1739 | 2007 | 22,67 | 2525 | 2778 |
| | | σ , МПа | 177,4 | 347,1 | 509,0 | 588,2 | 665,2 | 741,7 | 817,0 |
| | | R_S , % | 86,4 | 73,4 | 60,9 | 54,8 | 48,9 | 43,1 | 37,2 |
| | 0 | Δf , см | 5,03 | 19,4 | 42,0 | 56,2 | 72,0 | 89,8 | 109,3 |
| | | H , КН | 605,7 | 1183 | 1730 | 1997 | 2256 | 2512 | 2764 |
| | | σ , МПа | 176,4 | 345,4 | 506,7 | 585,4 | 662,3 | 738,5 | 813,6 |
| | | R_S , % | 86,5 | 73,5 | 61,1 | 55,1 | 49,2 | 43,3 | 37,5 |
| | +20 | Δf , см | 6,07 | 21,4 | 44,8 | 59,4 | 75,7 | 93,8 | 113,7 |
| | | H , КН | 602,0 | 1176 | 1721 | 1967 | 2245 | 2500 | 2751 |
| | | σ , МПа | 175,5 | 343,6 | 504,4 | 582,9 | 659,4 | 734,5 | 810,3 |
| | | R_S , % | 86,5 | 73,6 | 61,3 | 55,3 | 49,4 | 43,5 | 37,8 |
| 62 | 0 | Δf , см | 6,63 | 25,3 | 54,3 | 72,3 | 92,5 | 114,9 | 139,3 |
| | | H , КН | 597,8 | 1159 | 1685 | 1940 | 2187 | 2430 | 2669 |
| | | σ , МПа | 2341 | 455,3 | 664,6 | 766,3 | 865,1 | 963,0 | 1059 |
| | | R_S , % | 82,2 | 65,3 | 49,4 | 41,6 | 34,1 | 26,6 | 19,3 |
| 52 | 0 | Δf , см | 9,19 | 34,4 | 73,0 | 96,8 | 123,2 | 152,3 | Разрыв |
| | | H , КН | 587,1 | 1126 | 1625 | 1864 | 2095 | 2322 | |
| | | σ , МПа | 327,2 | 630,7 | 914,3 | 1051 | 1184 | 1315 | |
| | | R_S , % | 75,4 | 52,5 | 31,2 | 20,9 | 10,9 | 1,04 | |
| 42 | 0 | Δf , см | 13,64 | 50,0 | 104,0 | Разрыв | | | |
| | | H , КН | 571,1 | 1077 | 1537 | | | | |
| | | σ , МПа | 494,5 | 939,6 | 1350 | | | | |
| | | R_S , % | 63,6 | 30,8 | 0,65 | | | | |

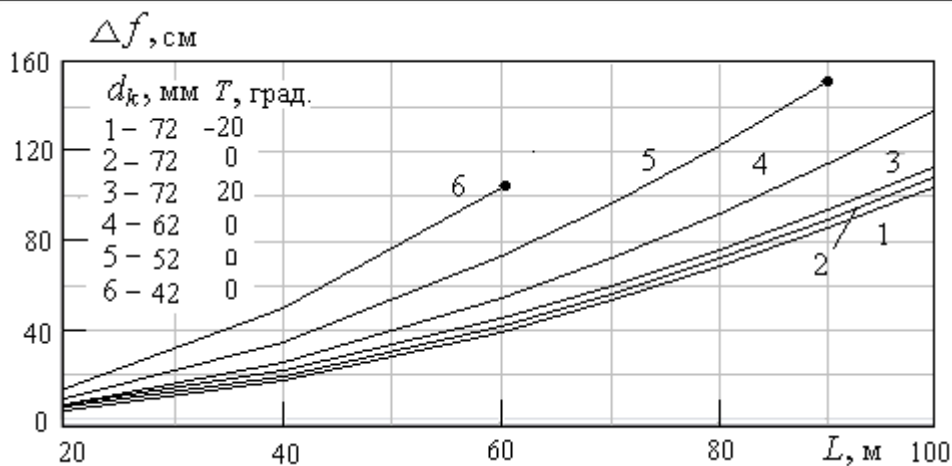


Рис. 3. Прогибы Δf канатов диаметром d_k с начальным провесом $f_0/L = 1/12$, нагруженных на пролетах L подвешенным трубопроводом при температурных перепадах T

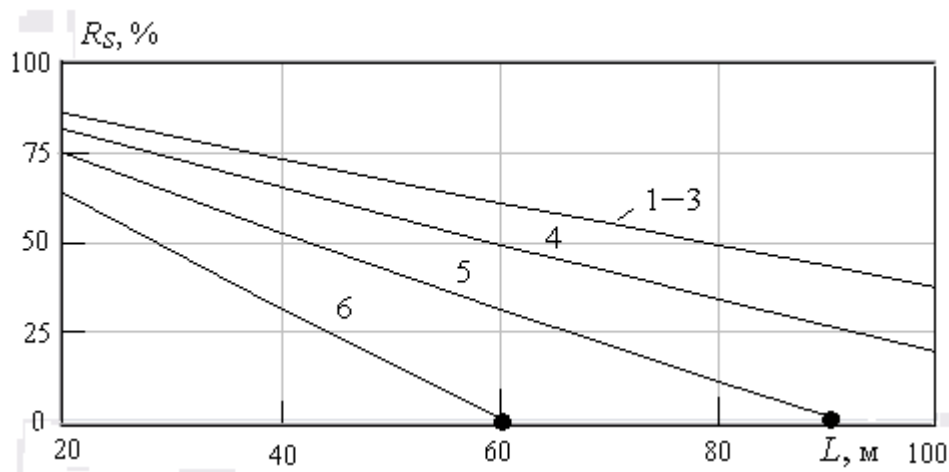


Рис. 4. Остаточный ресурс прочности R_S канатов с начальным провесом $f_0/L = 1/12$, нагруженных на пролетах L подвешенным трубопроводом при температурных перепадах T (обозначения см рис. 3)

Таблица 2.4.

Прогиб Δf и ресурс прочности R_S канатов $d_k = 72$ мм при $f_0 = 0$, нагруженных на пролетах L подвешенным трубопроводом при температурных перепадах T

| T , град. | Параметр | L , м | | | | | | |
|-------------|-----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 20 | 40 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| -20 | Δf , см | 64,1 | 163,3 | 281,6 | 346,7 | 414,2 | 485,1 | Разрыв |
| | R_S , % | 65,4 | 45,3 | 28,4 | 20,6 | 13,1 | 5,90 | |
| 0 | Δf , см | 66,0 | 166,2 | 285,4 | 350,5 | 418,8 | 490,1 | 562,8 |
| | R_S , % | 66,3 | 46,3 | 29,3 | 21,5 | 14,0 | 6,84 | 0,012 |
| +20 | Δf , см | 67,8 | 169,1 | 289,3 | 354,7 | 423,5 | 495,1 | 569,4 |
| | R_S , % | 67,2 | 47,2 | 30,2 | 22,4 | 14,9 | 7,74 | 0,79 |

3. Прочность магистральных трубопроводов подземной прокладки на сейсмически активных участках трасс

Заглубленные в грунт МТ на участках трасс с вертикальной кривизной рельефа статически нагружены весом засыпки, а также изгибающим моментом искривлений рельефа. Оболочка МТ растянута действием гидростатического давления продукта, и температура труб отличается от начальной температуры при прокладке в грунт, вызывая осевое нагружение. На МТ может действовать выталкивание от водоизмещения и внешнее гидростатическое давление (для случая обводненной среды). В сейсмически активных регионах на МТ действуют волновые сейсмические нагрузки. Далее рассмотрены методы определения НДС МТ в реальных комплексных условиях статического и сейсмического нагружения.

3.1. НДС при начальном статическом нагружении трубопровода

В условиях статики труба напряжена вдоль оси Z , а в плоскости XU находится в симметричном деформированном состоянии, и напряжения рассматриваются в двух опасных сечениях стенки трубы – в точках А и С (рис. 5).

Погонное усилие G_1 от веса засыпки толщиной h и от силы водоизмещения G_2

$$G_1 = \rho g h D \text{ и } G_2 = \frac{1}{4} \pi \rho_B g D^2.$$

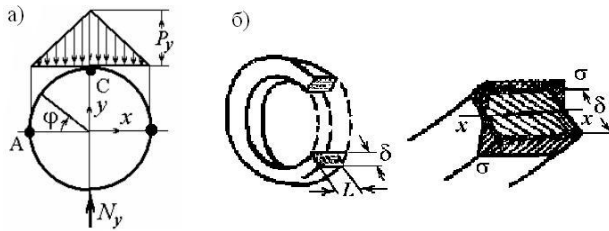


Рис. 5. Аппроксимация нагрузки на трубу в плоскости XU , нормальной оси Z трубопровода (а) и напряжения в стенке при кольцевом изгибе трубы единичной длины L (б)

При совместном действии веса засыпки грунта и возможного водоизмещения оболочка сжимается по вертикали от усилия $G = G_1 + G_2$ (отпором бокового давления пренебрегается в запас расчета, ρ_r – плотность грунта, ρ_B – плотность воды):

$$G = Dg(\rho_r h + \frac{1}{4} \pi \rho_B D). \quad (3.1)$$

В случае обводненной среды, кроме выталкивающей силы, на трубопровод будет действовать гидростатическое давление, изменяющееся с глубиной y как $p_b = \rho_B g y$ с градиентом 10 кПа/м (при $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$). Среднее внешнее гидростатическое давление на реальных заглублениях МТ крайне слабо разгружает внутреннее гидростатическое давление транспортируемого продукта, и в запас расчета давлением p_b пренебрегается.

Поперечная нагрузка G вызывает кольцевой изгиб и сжатие стенки оболочки с переменными по окружности внутренними усилиями (нормальной силой N и изгибающим моментом M). Распределение давлений на оболочку радиуса $R = D/2$ с учетом неравномерности взаимодействия нагрузки в грунте с трубой в плоскости XU , нормальной оси трубы, принято в форме треугольника, симметрично по оси Y вдоль внешнего усилия $N_y = G$ с максимумом давления $p_y = N_y/R$. Полагается, что внешнее давление вызывает только формоизменение оболочки, и давление в продукте не снижает изгибающих моментов M .

Формулы для внутренних усилий в зависимости от давления $p = p_y$ и угловой координаты ϕ с отсчетом от диаметра, ортогонального направлению действия нагрузки [6]:

нормальная сила в стенке оболочки:

$$N = \begin{cases} N^0 \cos \phi - \frac{1}{2} p R \sin \phi, & N^0 = -0,02653 p R (0 \leq \phi \leq \frac{1}{2} \pi) \\ N^0 \cos \phi - \frac{1}{2} p R \sin \phi + \frac{1}{2} p R (1 - \sin \phi)^2 \sin \phi & (\frac{1}{2} \pi \leq \phi \leq \pi) \end{cases}, \quad (3.2)$$

изгибающий момент:

$$M = \begin{cases} 0,305 p R^2 - N^0 R (1 - \cos \phi) - \frac{1}{2} p R^2 \sin \phi & (0 \leq \phi \leq \frac{1}{2} \pi) \\ 0,305 p R^2 - N^0 R (1 - \cos \phi) - \frac{1}{2} p R^2 \sin \phi - \frac{1}{6} p R^2 (1 - \sin \phi)^3 & (\frac{1}{2} \pi \leq \phi \leq \pi) \end{cases}, \quad (3.3)$$

поперечная сила:

$$Q = \begin{cases} -N^0 \sin \phi - \frac{1}{2} p R \cos \phi & (0 \leq \phi \leq \frac{1}{2} \pi) \\ -N^0 \sin \phi - \frac{1}{2} p R \cos \phi + \frac{1}{2} p R (1 - \sin \phi)^2 \cos \phi & (\frac{1}{2} \pi \leq \phi \leq \pi) \end{cases} \quad (3.4)$$

Экстремумы усилий в опасных точках A ($\phi = 0$ и $+\pi$) и C ($\phi = \pm\pi/2$) из соотношений:

нормальные силы:

$$N_A = -0,02653pR, N_C = -0,5pR, \quad (3.5)$$

изгибающие моменты:

$$M_A = 0,305pR^2, M_C = -0,16847pR^2. \quad (3.6)$$

От сжимающих усилий $N_{A/C}$ и моментов $M_{A/C}$ в опасных точках кольцевого сечения единичной длины оболочки (площадью сечения $F_\delta = \delta$, моментом сопротивления $W_\delta = \frac{1}{6} \delta^2$) действуют нормальные напряжения $\sigma_{NA/NC}$ и фибровые изгибные напряжения $\sigma_{MA/MC}$

$$\sigma_{NA/NC} = N_{A/C}/F_\delta \text{ и } \sigma_{MA/MC} = \pm M_{A/C}/W_\delta. \quad (3.7) \text{ и } (3.8)$$

Изгиб МТ в вертикальной плоскости от кривизны K_R рельефа вызывает изгибающий момент M_{kr} , зависящий также от изгибной жесткости EJ трубы с внутренним диаметром d ,

$$M_{kr} = K_R EJ, \quad J = \frac{1}{64} \pi (D^4 - d^4)$$

и фибровые изгибные напряжения в точках C вертикальной плоскости нормального сечения (в точках A на нейтральной оси напряжения отсутствуют)

$$\sigma_{C_{kr}} = \pm \frac{1}{2} M_{kr} D / J = \pm \frac{1}{2} K_R E D.$$

Температура T_2 при эксплуатации МТ обычно отличается от начальной температуры T_1 при строительстве, и перепад $\Delta T = T_2 - T_1$ вызывает в трубе продольные усилия N_T

$$N_T = -\alpha \Delta T E F,$$

осевое сжатие при $\Delta T > 0$ или растяжение при $\Delta T < 0$ и осевые напряжения в точках A и C

$$\sigma_{\Delta T} = N_T / F = \alpha \cdot \Delta T E.$$

От гидростатического давления продукта P_g кольцевое растяжение N_p стенки трубы

$$N_p = \frac{1}{2} d P_g,$$

вызывает осевое усилие N_{pz} , как сумму усилий: $N_\mu = \mu N_p$ с коэффициентом Пуассона μ и $N_{gos} = (1 - K_z) F_0 P_g$ с коэффициентом заземления K_z трубопровода в грунте при давлении P_g на торцевую площадь трубы ($F_0 = \frac{1}{4} \pi d^2$): $N_{pz} = N_\mu + N_{gos}$. Соответствующие кольцевые растягивающие равномерные по сечению σ_g и осевые напряжения σ_μ и σ_{gos}

$$\sigma_g = N_p/F_\delta = \frac{1}{2} P_g d/\delta \text{ и } \sigma_\mu = N_\mu/F, \sigma_{\text{gos}} = N_{\text{gos}}/F.$$

Диаметральные деформации расширения δ_x и укорочения δ_y оболочки с моментом инерции стенки $J_\delta = \frac{1}{12} \delta^3$: $\delta_x = 0,1228 p_m R^4/(EJ_\delta)$, $\delta_y = -0,1220 p_m R^4/(EJ_\delta)$, ($p_m = p_y$).

3.2. Определение остаточного ресурса прочности МТ с учетом осевой сейсмической нагрузки

Согласно Нормам [7] расчет на сейсмические воздействия ограничивается осевым нагружением МТ. Поэтому напряжение, определяющее ресурс прочности, устанавливается поиском глобального экстремума напряжений σ_m из числа компонент тензора напряжений и эквивалентных напряжений всех сочетаний главных напряжений с учетом неоднозначности изгибных и продольных напряжений σ_{seism} от сеймики по Нормам

$$\sigma_{\text{seism}} = \pm 0,04 m_0 k_0 k_{\text{п}} a_c E T_0 / V_1.$$

Здесь (в обозначениях Норм) m_0 – коэффициент заземления МТ в грунте; k_0 – коэффициент ответственности МТ; $k_{\text{п}}$ – коэффициент повторяемости землетрясений; a_c – сейсмическое ускорение; E – модуль упругости материала МТ; T_0 – преобладающий период сейсмических колебаний; V_1 – скорость продольной сейсмической волны.

Суммируя напряжения на ортогональных площадках опасных сечений стенки трубы, запишем формулы для главных напряжений:

$$\text{в опасной точке } A \quad \sigma_1 = \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{gos}} + \sigma_\mu \pm \sigma_{\text{seism}}, \quad \sigma_2 = \sigma_{\text{NA}} \pm \sigma_{\text{MA}} + \sigma_g;$$

$$\text{в опасной точке } C \quad \sigma_1 = \pm \sigma_{C,kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\text{gos}} + \sigma_\mu \pm \sigma_{\text{seism}}, \quad \sigma_2 = \sigma_{\text{NC}} \pm \sigma_{\text{MC}} + \sigma_g.$$

Оценка ресурса прочности трубопровода дается по экстремуму напряжений σ_m из числа указанных выше локальных экстремумов при использовании энергетической теории прочности для расчета эквивалентных напряжений (для рассматриваемых условий $\sigma_3 = 0$)

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1)}.$$

При определении напряжения σ_m варианты сочетаний отличаются знаками неоднозначных изгибных напряжений, наличием и знаками кривизн (K_R) и сейсмического воздействия (a_c). То есть учитываются положительные и отрицательные значения параметров σ_{MC} , σ_{MA} , $\sigma_{C,kr}$ и σ_{seis} , и контролируется 18 сочетаний, из которых для сочетаний № 1–8 [$K_R \neq 0$, $a_c \neq 0$], № 9–12 [$K_R = 0$, $a_c \neq 0$], № 13–16 [$K_R \neq 0$, $a_c = 0$] и № 17–18 [$K_R = a_c = 0$]. Для наиболее общего случая варианты сочетания напряжений приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Сочетания напряжений для условий $K_R \neq 0, a_c \neq 0$

| Сочетание | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------------|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| σ_{MC} | + | + | - | - | + | + | - | - |
| σ_{MA} | в статике не расчетное | | | | | | | |
| $\sigma_{c,kr}$ | + | - | + | - | + | - | + | - |
| σ_{seism} | - | - | - | - | + | + | + | + |

Прочностные расчеты МТ с определением остаточного ресурса R_s по формуле (1.9) выполнены на ПК по разработанной программе STRING с данными: $D = 1220$ мм; $\delta = 13$ и 20 мм; $p_g = 8,8$ МПа; $K_R = 0,002 \text{ м}^{-1}$; $\Delta T = -20$ и $+20$ град.; $\rho_B = 1000 \text{ кг/м}^3$; сейсмичность 8 баллов, $a_c = 200 \text{ см/с}^2$. Трубы: $E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа, $\mu = 0,3$, $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$, $\sigma_T = 460$ МПа, $\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/град}$. Плотность нефти 800 кг/м^3 . Грунт: толщина засыпки $0,915$ м, плотность 1500 кг/м^3 , модуль упругости $2 \cdot 10^4$ МПа, угол внутреннего трения 22° , удельное сцепление $0,028$ МПа; при сейсмике интенсивностью 8 баллов для грунта: $V_1 = 350 \text{ м/с}$; $m_0 = 0,45$; $k_0 = 1,5$; $k_n = 1$; $T_0 = 1,7$ с.

Анализ прочности выполнен при последовательном наращивании нагрузок до полного комплекса изменения реальных условий. В варианте 1 для труб с толщиной стенки 13 мм в статике получен низкий ресурс прочности ($R_s = 1,71 \%$). Поэтому толщина стенки увеличена до 20 мм, и в статике (вариант 2) получено значение ресурса $R_s = 40,84 \%$.

В вариант 3 (и в следующих вариантах) включено действие сеймики 8 баллов (получено $R_s = 39,6 \%$). В вариант 4 (и далее) включено действие кривизны рельефа $K_R = 0,002 \text{ м}^{-1}$ ($R_s = 12,4 \%$). В вариант 5 (и далее) добавлен отрицательный температурный перепад -20 град. ($R_s = 3,78 \%$). В вариант 6 (и далее) добавлено действие водоизмещения ($R_s = 3,38 \%$).

В варианте 7 изменен знак температурного перепада на положительный ($R_s = 3,02 \%$), и в итоге установлено, что трубопровод с $D = 1220$ мм и $\delta = 20$ мм под внутренним давлением продукта $8,8$ МПа на местности с кривизной $0,002 \text{ м}^{-1}$ с сухим или влагонасыщенным грунтом, при температурных перепадах от -20 по $+20$ град. выдерживает землетрясение интенсивностью 8 баллов с остаточным ресурсом прочности 3% .

В табл. 3.2 представлены результаты расчета всех вариантов (для напряжений приведены значения их модулей, кроме напряжений $\sigma_{\Delta T}$). В табл. 3.3 даны значения интенсивности напряжений (локальные эквивалентные напряжения) всех сочетаний главных напряжений для наиболее показательных четырех последних вариантов, в которых $K_R \neq 0, a_c \neq 0$. По ним установлено значение экстремума $\sigma_m = \sigma_3$ – то есть расчетного эквивалентного напряжения, поскольку величина σ_3 во всех вариантах превосходит значения всех компонент тензора напряжений.

Таблица 3.2.

Результаты вариантных расчетов эквивалентных напряжений и остаточного ресурса прочности для труб $D = 1220$ мм при изменении условий эксплуатации с наращиванием нагружения

| № варианта | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Сочетания | 17–18 | | 9–12 | 1–8 | | | |
| δ , мм | 13 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| p_g , МПа | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 | 8,8 |
| K_R , м ⁻¹ | – | – | – | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| ΔT , град. | – | – | – | – | –20 | –20 | +20 |
| A_c , балл | – | – | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| ρ_B , кг/м ³ | – | – | – | – | – | 1000 | 1000 |
| G , кН | 16,40 | 16,40 | 16,40 | 16,40 | 16,40 | 27,89 | 27,89 |
| P_m , МПа | 26,93 | 26,93 | 26,93 | 26,93 | 26,93 | 45,73 | 45,73 |
| M_{kr} , МН·м | – | – | – | 5,59 | 5,59 | 5,59 | 5,59 |
| $\sigma_{МА/МС}$, МПа | 108,50 | 45,84 | 45,84 | 25,32 | 25,32 | 43,00 | 43,00 |
| $\sigma_{НА/НС}$, МПа | 0,034 | 0,022 | 0,022 | 0,41 | 0,41 | 0,697 | 0,697 |
| σ_g , МПа | 412,92 | 268,4 | 268,4 | 268,4 | 268,4 | 268,4 | 268,4 |
| $\sigma_{\Delta T}$, МПа | – | – | – | – | 49,44 | 49,44 | –49,44 |
| σ_{μ} , МПа | 123,88 | 80,52 | 80,52 | 80,52 | 80,52 | 80,52 | 80,52 |
| $\sigma_{gос}$, МПа | 113,55 | 73,81 | 73,81 | 73,81 | 73,81 | 73,81 | 73,81 |
| $\sigma_{c,kr}$, МПа | – | – | – | 251,32 | 251,32 | 251,32 | 251,32 |
| σ_{seism} , МПа | – | – | 54,03 | 54,03 | 54,03 | 54,03 | 54,03 |
| σ_{Σ} , МПа | 452,14 | 272,14 | 278,00 | 403,1 | 442,61 | 444,47 | 446,10 |
| R_S , % | 1,71 | 40,84 | 39,60 | 12,40 | 3,78 | 3,38 | 3,02 |

Таблица 3.3.

Интенсивности напряжений при всех сочетаниях главных напряжений в четырех вариантах; выделены экстремумы – расчетные эквивалентные напряжения в МПа. Глобальный экстремум 446,1 МПа

| № вар. | Сочетание | | | | | | | |
|--------|-----------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 4 | 398,3 | 266,8 | 403,1 | 317,0 | 311,8 | 344,0 | 326,4 | 391,3 |
| 5 | 441,1 | 239,5 | 442,6 | 290,1 | 349,9 | 306,4 | 359,5 | 355,2 |
| 6 | 441,9 | 221,5 | 444,5 | 307,5 | 348,2 | 289,2 | 364,4 | 372,0 |
| 7 | 355,8 | 282,5 | 370,6 | 365,8 | 271,9 | 368,4 | 306,5 | 446,1 |

3.3. Уточненный расчет ресурса прочности МТ при трехкомпонентном сейсмическом воздействии

В условиях сейсмической активности статически напряженный трубопровод подвержен действию сейсмической волны с вектором произвольной ориентации относительно оси МТ. То есть трубопровод оказывается под трехкомпонентным сейсмическим воздействием, и целесообразен уточненный расчет прочности МТ на действие акселерограмм землетрясения. Ниже представлен расчет, основанный на методе автора [8, 9] решения задач волновой динамики с применением стержневой аппроксимации конечных элементов сплошной среды, адаптированном на прочностной расчет магистральных трубопроводов.

Метод позволяет применять различные схемы стержневой структуры на сетке с

характеризующими инерцию системы дискретными массами на пересечениях прямых стержней с силовыми функциями. Далее для плоской деформации сплошной среды применена исходная квадратно - диагональная сетка (рис. 6). Стержневая система на области решения формируется с обеспечением конкретной геометрии изучаемого объекта, впаивного в среду, с эквивалентностью реальным жесткостным и инерционным свойствам объекта и вмещающей среды (в данном случае – грунта). Во всех узлах исходной сетки соединения стержней шарнирные. Параметры зон, соответствующих грунтовой среде, могут быть переменными по координатам, то есть расположение слоев грунта может различаться, что позволяет анализировать динамику трубопровода в сложных геологических условиях. В [8] дано обоснование метода дискретизации по волновым показателям, а также в сравнении с методом конечных элементов на примерах анализа взрывных процессов [10].

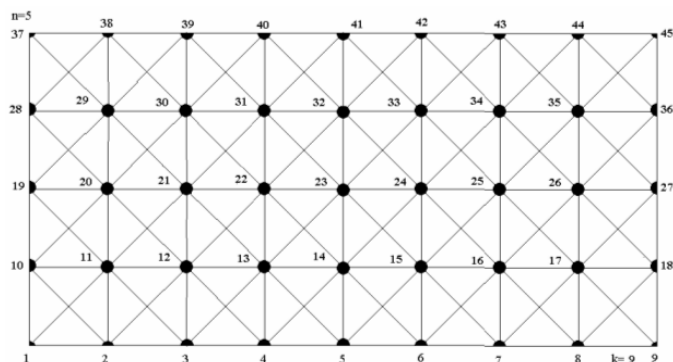


Рис. 6. Пример исходной области решения квадратно-диагональной системы 9 x 5 на прямоугольнике, моделирующей грунтовой массив

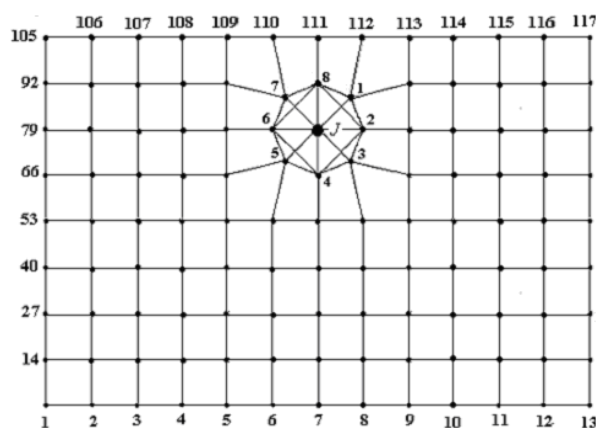


Рис. 7. Область решения на сетке 13 x 9 в сечении XV с примером впайки трубы с минимальным числом элементов (диагональные элементы вмещающего грунтового массива условно не показаны); $J = 85$ – сеточный номер узла в центре трубы

Конструкция совместно с вмещающим массивом сплошной среды рассматривается как единый объект с конечным числом «инженерных» (переносных) степеней свободы. Расчетная

схема объекта представляет замкнутый контур, сопряженный с массивом среды. Контур аппроксимирован многоугольником с массами по концам стержней – в узлах, инерцией вращения которых пренебрегается. В узлах контура шарниры заменяются связями с изгибной жесткостью, обеспечивающей контроль изгибающих моментов и напряжений при изменении кривизны. В программной реализации метода [8] контур объекта имеет слоистое строение сечений произвольной формы, что позволяет моделировать композиты с физически нелинейными свойствами слоев. Движение и НДС деформируемого объекта устанавливается автоматически в процессе решения динамической задачи.

В данной версии алгоритма, адаптированного на анализ магистральных трубопроводов, состояние МТ устанавливается по параметрам движения всей системы в плоскости XU под действием сейсмических волн в грунтовом массиве решением уравнений волновой динамики с рассмотренной дискретизацией. При дифракционном взаимодействии сейсмических волн с трубой по компонентам ускорений центра массы МТ устанавливается переменный во времени вектор динамической нагрузки, по которому вычисляются переменные во времени динамические напряжения по стандартным соотношениям расчета кольца. НДС определяется с учетом начальных статических напряжений с догрузением трубы продольным сейсмическим воздействием.

На рис. 7 приведена схема впайки в среду контура, моделирующего трубу в плоскости XU , нормальной оси Z трубопровода в инерциальной системе координат XYZ . В начальных условиях трубопровод находится под действием давлений засыпки, водоизмещения, искривлений рельефа, температуры и давления транспортируемого продукта.

При значительном числе и разнообразии статических и сейсмических нагрузок глобальный экстремум напряжений и остаточный ресурс прочности МТ находится перебором всех возможных сочетаний напряжений от полной системы воздействий по трем осям.

От *поперечной сейсмической нагрузки* в оболочке трубы переменные по окружности внутренние усилия вызывают кольцевой изгиб и сжатие стенки. Усилия определяются по формулам (3.2)–(3.8), в которых φ – угловая координата с отсчетом от диаметра, ортогонального направлению действия сейсмической компоненты. Давления на оболочку приняты в форме треугольника симметрично по осям вдоль компонент N_x и N_y вектора нагрузки N_{xy} с максимумами давлений $P_x = N_x/R$ и $P_y = N_y/R$. Мгновенные значения усилий определяются ускорениями центра погонной массы m_T трубы с продуктом $N_x = m_T \ddot{X}_T + N_{RX}$,

$N_y = m_T \ddot{Y}_T + N_{RY}$ с учетом реактивного волнового отпора грунта $N_{RX} = \rho_T V_1 D \dot{X}_T$,

$N_{RY} = \rho_T V_1 D \dot{Y}_T$, где ρ_T – плотность грунта, V_1 – скорость волны. Принятое распределение

давлений относится и к вектору нагрузки $N_{xy} = \sqrt{N_x^2 + N_y^2} = P_m R \cos$ давлением $P_m = N_{xy}/R$ с поворотом на угол $\lambda = \arctg(N_x/N_y) (N_y \neq 0)$ локальной системы координат xu относительно инерциальной системы в плоскости XU (рис. 8).

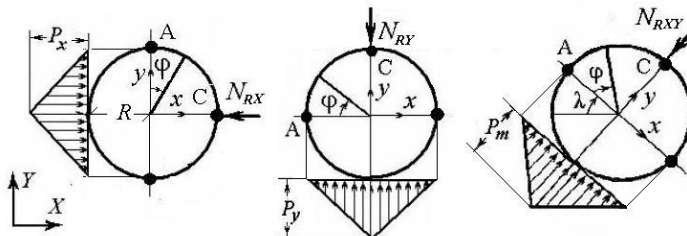


Рис. 8. Аппроксимирующие распределенные погонные сейсмические нагрузки на трубу в плоскости XU инерциальной системы координат

Система уравнений динамики МТ состоит из уравнений движения, определяющих соотношений для материалов МТ и грунтов, граничных и начальных условий. Начальные условия даются литостатическими давлениями, а граничные – сейсмическими воздействиями. Геометрические соотношения (с выражениями для деформаций, перемещений и скоростей) обеспечивают выполнение всех условий совместности на области решения.

Для численного интегрирования система уравнений движения N узлов (массами m) дискретной системы для единичной длины трубопровода $X = P_x/m, Y = P_y/m$ приводится к системе $4N$ уравнений первого порядка

$$\dot{V}_x = P_x/m, \dot{V}_y = P_y/m, \dot{X} = V_x, \dot{Y} = V_y,$$

где P_x, P_y – усилия на узел по осям XU ; V_x и V_y – скорости; \dot{V}_x, \dot{V}_y – ускорения узлов.

Усилия P_x, P_y на узлы определяются по напряжениям деформируемых примыкающих стержней. Усилия на узлы контура трубы представляют дифракционное взаимодействие с сейсмическими волнами в грунте. Масса узла равна полусумме масс сходящихся стержней. Текущие координаты узлов X_j и Y_j определяются интегрированием уравнений движения при начальных условиях: нулевых скоростях и начальных координатах узлов X_{j0} и Y_{j0} . Движение трубы фиксируется по центральному узлу J_0 (рис. 9).

В цикле по всем узлам проекции на оси XU усилий на каждый (J_{xy} -й) узел определяются суммированием проекций усилий N_i в примыкающих стержнях с учетом текущих значений их углов наклона ψ_i к оси X и массовых сил P_{jg} от собственного веса грунта, трубы с продуктом и выталкивания от водоизмещения (для обводненной среды)

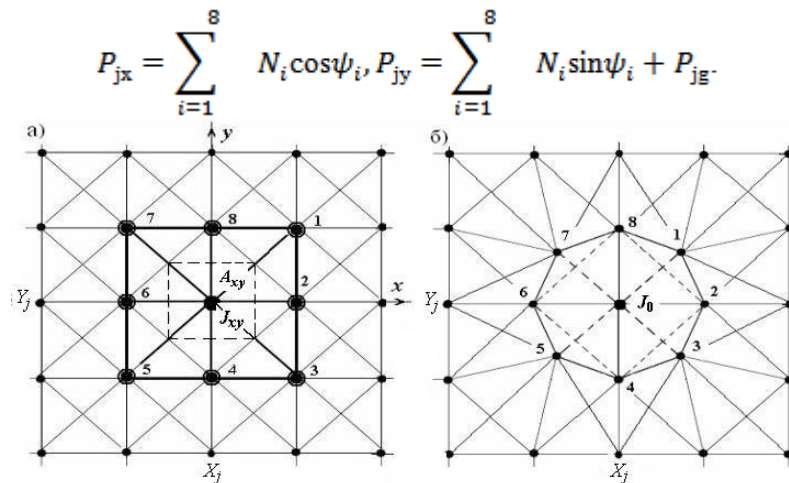


Рис. 9. а) Зона J_{xy} -го (внутреннего) узла расчетной сетки, контролирующей по массе площадь A_{xy} среды; узел нагружен усилиями 8 стержней, соединенных с соседними узлами с номерами 1–8 в локальной системе координат xu ; б) схема контура трубы (вариант – с минимальным числом узлов 1–8), впаиванной в среду; J_0 – глобальный номер узла в центре жидкого продукта, заполняющего все сечение трубы

Усилия N_i по напряжениям $\sigma_i = f_{\sigma}(\varepsilon_i, \varepsilon)$ в примыкающих к узлу стержнях $1 - J_0 \dots 8 - J_0$

определяются их относительными деформациями ε и скоростями $\dot{\varepsilon}$, вычисляемыми совместно с углами ψ_i по узловым координатам и их скоростям, где f_{σ} – оператор обобщенного закона деформирования модели материала и среды с учетом демпфирующих добавок (линейной вязкости) к напряжениям, применяемых в методах сквозного счета.

Деформации, скорости деформаций и углы наклона стержней вычисляются по формулам (нуликом помечены начальные значения величин)

$$l_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}, l_i = X_i X_i + Y_i Y_i / l_i, \varepsilon_i = \ln(l_i / l_i^0), \dot{\varepsilon}_i = \dot{l}_i / l_i, \psi_i = \arctg[(Y_i - Y_j) / (X_i - X_j)].$$

Проекция стержней длиной l_i $X_i = l_i \cos \psi_i, Y_i = l_i \sin \psi_i$, и после дифференцирования по t формулы для угловых скоростей $\dot{\psi}_j = Y_j / X_j - \varepsilon_j \operatorname{tg} \psi_j \equiv -X_j / Y_j + \dot{\varepsilon}_j / \operatorname{tg} \psi_j$, в которых первый член соответствует угловой скорости элемента как твердого тела, а вторым учитывается влияние скорости осевой деформации. Первая из формул используется при $|\operatorname{tg} \psi_i| < 1$, а вторая – при

$$|\operatorname{tg} \psi_j| \geq 1, |\psi_j| \neq \frac{1}{2}\pi. \text{ При } |\psi_j| = \frac{1}{2}\pi \dot{\psi}_j = -\Delta X_j / \Delta Y_j.$$

Продольное усилие в МТ (по оси Z) от сейсмической нагрузки определяется равномерно распределенными касательными напряжениями трения со стороны грунта по окружности

внешней поверхности трубы. Учтены усилия, возникающие из-за попадания различных сечений конструкции в разные фазы сейсмических продольных и поперечных волн. Пусть по трубе со скоростью V_k распространяется волна деформации $\varepsilon = f(z - V_k t)$ длиной \square_0 . Для синусоидальной волны $\varepsilon = \varepsilon_k \sin[(2\pi/\lambda_0)(z - V_k t)]$. Внутренние усилия от набегающей волны k -го типа определяются соотношениями [11]:

$$\text{продольная сила} \quad N_k = EF\varepsilon_k = EFv_m/(\alpha_k V_k) \leq N_\tau,$$

$$\text{изгибающий момент} \quad M_k = EJ a(t)/(\beta_k V_k)^2.$$

Здесь E – модуль упругости материала трубы; F и J – площадь и момент инерции сечения трубы; $v_m(t)$ – скорости частиц грунта; $a(t)$ – мгновенные (в момент времени t) значения ускорений грунта (акселерограмма); V_k – скорость волны k -го типа; α_k и β_k – коэффициенты. Для продольных волн ($k = 1$) $\alpha_1 = 1$; $\beta_1 = 1,6$; для поперечных волн ($k = 2$) $\alpha_2 = 2$; $\beta_2 = 1$. Изменение скорости v_m зависит от категории грунта по сейсмическим свойствам: $v_m = v_0 a(t)/g$, и для грунтов I категории $v_0 = 0,91$ м/с, II категории $v_0 = 1,2$ м/с.

Усилие N_k ограничено предельной силой взаимодействия $N_\tau = \frac{1}{4} \lambda_0 f_\tau$ между грунтом и поверхностью трубопровода, определяемой длиной волны λ_0 и погонной силой трения f_τ . Длина волны зависит от доминантного периода T_0 амплитудного частотного сейсмического спектра, определяемого применением быстрого преобразования Фурье (БПФ) к стационарной части расчетной акселерограммы $\lambda_0 \approx \frac{1}{2} T_0 V_k$ [12]. Сила трения f_τ дается суммарным действием касательных напряжений по контуру трубы, зависящих от коэффициента трения K_T и удельного сцепления C грунта $f_\tau = \pi D (K_T p_s + C) \text{sgn} V$, ($K_T = \text{tg} \phi_B$), где ϕ_B – угол внутреннего трения грунта, $p_s = \rho_\Gamma v_m V_1$ – переменное сейсмическое давление, $\text{sgn} V$ – знак относительной скорости трения V .

Для осевого ускорения трубы Z_T можно дать оценку, отнесенную к λ_0 и к погонной массе, $Z_T \simeq (N_k - k_r \cdot f_\tau)/(\lambda_0 m_T)$, где $k_r < 1$ – коэффициент учета реактивного отпора.

Граничные условия задаются вводом для контурных узлов нижней границы области (рис. 7) вертикальных и горизонтальных ускорений, а также ускорений вдоль оси МТ тремя числовыми массивами сбалансированных и нормированных на задаваемую сейсмичность акселерограмм, возбуждающих в массиве среды продольные и поперечные волны.

Исходные (записанные на сейсмостанциях) акселерограммы обычно нуждаются в обработке: восстановлении нулевой линии, удалении трендов, балансировке и нормировании, а также в

отсечении малоинформативных участков записей. В условиях дефицита сейсмической информации и в целях оценки аварийного риска методом статистического моделирования возможно использование синтетических записей, создаваемых генератором акселерограмм по реальной записи. Указанные операции осуществляются программой «BALANS» и генератором «GAMMA» [12–14].

Статически напряженный трубопровод обжимающим действием сейсмике вектором $N_{xy}(t)$ в плоскости XU при деформировании теряет симметрию, и необходим анализ напряжений в восьми опасных точках, отмеченных на рис. 10, б. Вектор N_{xy} имеет наклон λ , и от динамических усилий N^\square и M^\square в стенке трубы кольцевые нормальные и изгибные напряжения определяются по формулам, в которых усилия даются по (3.2) и (3.3) с сейсмическим давлением $P_m = N_{xy}/R$, зависящим от мгновенного значения N_{xy} .

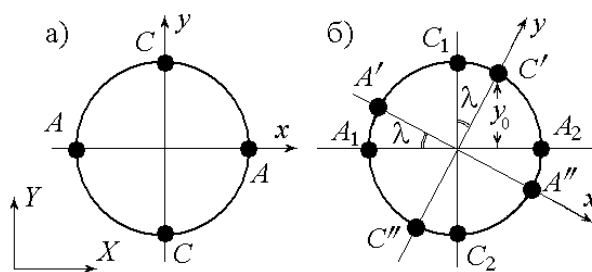


Рис. 10. Опасные точки в нормальном сечении МТ: а) в статике (начальные условия), б) при сейсмических воздействиях с учетом статических напряжений

Для опасной точки в системе XU формулы для усилий и напряжений в стенке трубы при $\varphi = \eta - \lambda$ следующие [для краткости приведены формулы для диапазона $0 \leq \varphi \leq \pi/2$; подробно см. (3.2) и (3.3)]:

$$\begin{aligned} \text{нормальная сила} \quad N^\vartheta &= -P_m R (0,02653 \cos \varphi - \frac{1}{2} \sin \varphi), \\ \text{изгибающий момент} \quad M^\vartheta &= P_m R^2 (0,305 + 0,02653 (1 - \cos \varphi) - \frac{1}{2} \sin \varphi), \\ \text{нормальные сжимающие напряжения} \quad \sigma_{Nd}^\eta &= N^\vartheta(\varphi) / F_\delta, \\ \text{нормальные фибровые изгибные напряжения} \quad \sigma_{Md}^\eta &= \pm M^\vartheta(\varphi) / W_\delta. \end{aligned}$$

По оси Z МТ догружается переменным продольным усилием $N_k(t)$ и волновым изгибающим моментом $M_k(t)$. Компонента сейсмической нагрузки N_k вызывает равномерные по сечению F (и во всех опасных точках), изменяющиеся во времени нормальные напряжения $\sigma_z = \pm N_k / F$. При волновом изгибе МТ в вертикальной плоскости YZ от момента M_k нормальные осевые напряжения σ_{zm} в опасных точках в плоскости XU зависят от ординаты y_0 , которой сопоставим угловую координату η : $\sigma_{zm} = M_k y_0(\eta) / J$, $y_0 = \pm R \sin \eta$ ($y_0 \neq 0$). Наиболее напряженные сечения от момента M_k – при $\eta = \pm \pi/2$ в точках C_1 и C_2 .

Для опасных точек A' и A'' $\varphi = 0$ и $\varphi = \pi$; для точек C' и C'' $\varphi = \pm\pi/2$. В общем случае для i -й точки произвольного сечения с координатой η_i , группируя напряжения на ортогональных площадках и помечая верхним индексом η напряжения, зависящие от наклона вектора N_{xy} , формулы для главных напряжений

$$(\sigma_i^s)_1 = \sigma_{N_{s,i}}^\eta + \sigma_{M_{s,i}}^\eta + \sigma_g, (\sigma_i^s)_2 = \sigma_{kr,i}^\eta + \sigma_{\Delta T} + \sigma_\mu + \sigma_{gos},$$

содержат динамические напряжения от усилий N и M и статические от кривизны рельефа

$$\sigma_{N_{s,i}}^\eta = N_i(\eta)/F_\delta, \sigma_{M_{s,i}}^\eta = \pm M_i(\eta)/W_\delta, \sigma_{kr,i}^\eta = \pm M_{kr} R \sin \eta / J.$$

Динамические напряжения от осевой силы N_k и момента M_k

$$(\sigma_i^d)_1 = \sigma_{Nd,i}^\eta + \sigma_{Md,i}^\eta, (\sigma_i^d)_2 = \sigma_z + \sigma_{zm}^\eta, \sigma_{zm}^\eta = \pm M_k R \sin \eta / J.$$

Главные напряжения в i -й опасной точке (для эквивалентных напряжений):

$$\sigma_1 = \sigma_{N_{s,i}}^\eta + \sigma_{M_{s,i}}^\eta + \sigma_g + \sigma_{Nd,i}^\eta + \sigma_{Md,i}^\eta, \sigma_2 = \sigma_{kr,i}^\eta + \sigma_{\Delta T} + \sigma_\mu + \sigma_{gos} + \sigma_z + \sigma_{zm}^\eta.$$

Наиболее напряженные точки A_1, A_2, C_1 и C_2 с системой напряжений (табл. 3.4 и 3.5), в которой динамические напряжения от обжатия оболочки в плоскости XV даются совместным действием компонент сейсмических усилий N_x, N_y и давлений $P_x = N_x/R, P_y = N_y/R$:

$$\sigma_{SNA} = -(0,02653P_y + 0,5P_x)R/\delta; \sigma_{SMA} = 6(0,305P_y - 0,16847P_x)R^2/\delta^2;$$

$$\sigma_{SNC} = -(0,02653P_x + 0,5P_y)R/\delta; \sigma_{SMC} = 6(0,305P_x - 0,16847P_y)R^2/\delta^2.$$

Таблица 3.4.

Система напряжений в опасной точке А

| Статические напряжения | | Динамические напряжения | |
|---|---------------------|--|-------------------|
| Сжатие стенки | σ_{NA} | Сжатие стенки | σ_{SMA} |
| Изгибные в стенке | $\pm\sigma_{MA}$ | Изгибные в стенке | $\pm\sigma_{SMA}$ |
| Изгибные от кривизны рельефа | $\pm\sigma_{kr}$ | Осевые продольные | $\pm\sigma_z$ |
| Осевые от температурного перепада | $\sigma_{\Delta T}$ | Осевые изгибные | $\pm\sigma_{zm}$ |
| Кольцевые растяжения от давления продукта | σ_g | | |
| Осевые от давления продукта («Пуассона») | σ_μ | | |
| Осевые от давления продукта на торец | σ_{gos} | | |
| Главные напряжения | | Главные полные напряжения | |
| $\sigma_1 = \sigma_{NA} \pm \sigma_{MA} + \sigma_g$ | | $\sigma_1 = \sigma_{NA} \pm \sigma_{MA} + \sigma_g + \sigma_{SMA} \pm \sigma_{SMA}$ | |
| $\sigma_2 = \pm\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_\mu + \sigma_{gos}$ | | $\sigma_2 = \pm\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_\mu + \sigma_{gos} \pm \sigma_z \pm \sigma_{zm}$ | |

Таблица 3.5.

Система напряжений в опасной точке А

| Статические напряжения | | Динамические напряжения | |
|---|---------------------|--|-------------------|
| Сжатие стенки | σ_{MC} | Сжатие стенки | σ_{SNC} |
| Изгибные в стенке | $\pm\sigma_{MC}$ | Изгибные в стенке | $\pm\sigma_{SMC}$ |
| Изгибные от кривизны рельефа | $\pm\sigma_{kr}$ | Осевые продольные | $\pm\sigma_z$ |
| Осевые от температурного перепада | $\sigma_{\Delta T}$ | Осевые изгибные | $\pm\sigma_{zm}$ |
| Кольцевые растяжения от давления продукта | σ_g | | |
| Осевые от давления продукта («Пуассона») | σ_{μ} | | |
| Осевые от давления продукта на горец | σ_{gos} | | |
| Главные напряжения | | Главные полные напряжения | |
| $\sigma_1 = \sigma_{NC} \pm \sigma_{MC} + \sigma_g$ | | $\sigma_1 = \sigma_{NC} \pm \sigma_{MC} + \sigma_g + \sigma_{SNC} \pm \sigma_{SMC}$ | |
| $\sigma_2 = \pm\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{gos}$ | | $\sigma_2 = \pm\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{gos} \pm \sigma_z \pm \sigma_{zm}$ | |

Приведенные формулы для напряжений – символические, поскольку экстремумы динамических напряжений достигаются в различные моменты времени, не суммируются, и ресурс прочности оценивается по мгновенному значению в момент t_m глобального экстремума $\sigma_{\text{ЭГ}}$ из числа эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{э}}$, вычисленных для всех сочетаний знакопеременных компонент тензора напряжений. При этом возможны случаи, когда в момент t_m значения компонент тензора напряжений не экстремальны. В динамических условиях $\sigma_{\text{э}}$ – функция времени, и при i -м сочетании изменяющихся со временем динамических главных напряжений ее экстремум – частное значение эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{э}i}$. Наибольшее из $\sigma_{\text{э}i}$ представляет расчетное напряжение $\sigma_{\text{ЭГ}}$.

Условие обеспеченной прочности дается сравнением экстремумов компонент тензора напряжений σ_i и эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{ЭГ}}$ в опасных точках с предельно допустимым напряжением $\sigma_i \leq [\sigma_d], \sigma_{\text{ЭГ}} \leq [\sigma_d]$, и при удовлетворении неравенств ресурс прочности $R_{\text{пр}}$ определяется по максимальному (σ_m) из этих напряжений $R_{\text{пр}} = 1 - \sigma_m / [\sigma_d]$.

Напряжения σ_1 и σ_2 с вариациями знакопеременных параметров при оценке ресурса контролем в опасных точках А и С определяются следующими соотношениями.

Для точки А и напряжения σ_1 – двузначные компоненты изгибных напряжений $\pm\sigma_{MA}$ и $\pm\sigma_{SMA}$ могут также менять знак от полигармонической функции сейсмического воздействия. В запас расчета, принимая одинаковыми знаками для статического и динамического изгибных напряжений, запишем сочетания напряжений в новых обозначениях:

$$X_{11} = \sigma_{NA} + \sigma_{MA} + \sigma_g + \sigma_{SNA} + \sigma_{SMA}, X_{12} = \sigma_{NA} - \sigma_{MA} + \sigma_g + \sigma_{SNA} - \sigma_{SMA}.$$

Для точки А и напряжения σ_2 :

$$X_{21} = \sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} + \sigma_Z + \sigma_{zm}; X_{22} = -\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} + \sigma_Z + \sigma_{zm},$$

$$X_{23} = +\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} + \sigma_Z - \sigma_{zm}; X_{24} = -\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} + \sigma_Z - \sigma_{zm},$$

$$X_{25} = +\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} - \sigma_Z + \sigma_{zm}; X_{26} = -\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} - \sigma_Z + \sigma_{zm},$$

$$X_{27} = +\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} - \sigma_Z - \sigma_{zm}; X_{28} = -\sigma_{kr} + \sigma_{\Delta T} + \sigma_{\mu} + \sigma_{\text{го5}} - \sigma_Z - \sigma_{zm}.$$

Для точки С применены те же соотношения, в которых $\sigma_{NA}, \sigma_{MA}, \sigma_{SNA}, \sigma_{SMA}$ заменены на $\sigma_{NC}, \sigma_{MC}, \sigma_{SNC}, \sigma_{SMC}$, то есть X_{11} заменяется на X_{13} , а X_{12} – на X_{14} :

$$X_{13} = \sigma_{NC} + \sigma_{MC} + \sigma_g + \sigma_{SNC} + \sigma_{SMC}; X_{14} = \sigma_{NC} - \sigma_{MC} + \sigma_g + \sigma_{SNC} - \sigma_{SMC}.$$

В итоге имеем 32 сочетания напряжений для $\sigma_1 - \sigma_2$:

для точки А: 1) $X_{11} - X_{21}$; 2) $X_{11} - X_{22}$; 3) $X_{11} - X_{23}$; 4) $X_{11} - X_{24}$; 5) $X_{11} - X_{25}$; 6) $X_{11} - X_{26}$;

7) $X_{11} - X_{27}$; 8) $X_{11} - X_{28}$; 9) $X_{12} - X_{21}$; 10) $X_{12} - X_{22}$; 11) $X_{12} - X_{23}$; 12) $X_{12} - X_{24}$; 13) $X_{12} - X_{25}$; 14) $X_{12} - X_{26}$; 15) $X_{12} - X_{27}$; 16) $X_{12} - X_{28}$;

для точки С: 17) $X_{13} - X_{21}$; 18) $X_{13} - X_{22}$; 19) $X_{13} - X_{23}$; 20) $X_{13} - X_{24}$; 21) $X_{13} - X_{25}$; 22) $X_{13} - X_{26}$; 23) $X_{13} - X_{27}$; 24) $X_{13} - X_{28}$; 25) $X_{14} - X_{21}$; 26) $X_{14} - X_{22}$; 27) $X_{14} - X_{23}$; 28) $X_{14} - X_{24}$; 29) $X_{14} - X_{25}$; 30) $X_{14} - X_{26}$; 31) $X_{14} - X_{27}$; 32) $X_{14} - X_{28}$.

Глобальное значение эквивалентного напряжения определяется поиском экстремума в цикле $k = 1 \dots 32$, $i = 11 \dots 14$, $j = 21 \dots 28$ по переменным напряжениям σ_i и σ_j :

$$\sigma_G = \sqrt{\sigma_i^2 + \sigma_j^2 - \sigma_i \sigma_j |k^{\max}}.$$

Напомним, что динамические напряжения в приведенных формулах – изменяющиеся со временем функции сейсмических воздействий. Рассмотренный алгоритм реализован в программе DYNAMIC-T. Численное интегрирование уравнений осуществляется методом Рунге-Кутты 4-го порядка сквозным счетом с линейной тензорной искусственной вязкостью. Алгоритм обеспечивает комплексный анализ прочности при всех предусмотренных воздействиях, некоторые из которых могут отсутствовать (например рельеф с нулевой кривизной, отсутствие температурного перепада и др.). В таких частных случаях число рабочих сочетаний напряжений будет меньше 32, а при отсутствии сейсмических воздействий результат анализа будет отражать ресурс статической прочности.

По данной программе выполнен расчет прочности МТ с приведенными в п. 3.2 данными варианта 7 с вводом трех акселерограмм, синтезированных по одной из записей Карпатского землетрясения, нормированных на интенсивность 8 баллов. Установлено, что (по 8-му сочетанию напряжений) напряжение $\sigma_{ЭГ} = 502,8$ МПа, то есть превысило предел текучести стали. По результатам сравнения расчетов прочности МТ по двум программам с данными вар. 7

при уменьшенном значении кривизны рельефа до $0,001 \text{ м}^{-1}$ получено:

по программе DYNAMIC-T $\sigma_{ЭГ} = 409,0 \text{ МПа}$, $R_s = 11,1 \%$;

по программе STRING $\sigma_{Э} = 354,1 \text{ МПа}$, $R_s = 23,0 \%$.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52079–2003. Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
2. Оценка сейсмостойкости магистральных трубопроводов / А.А. Александров, В.А. Котляревский, В.И. Кушнарёв [и др.] // В.А. Котляревский, В.И. Ларионов, С.П. Суцев. Энциклопедия безопасности. Строительство, промышленность, экология, Т. 3. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений. / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – С. 132–164.
3. СТО Газпром 2-2.1-459-2010. Нормы проектирования переходов трубопроводов через водные преграды, в том числе в условиях крайнего севера. – 115 с.
4. Котляревский В.А. Оценка прочности подвесных систем. // Безопасность России. Безопасность строительного комплекса. – М.: «ЗНАНИЕ», 2012. – 32 с.
5. Рекомендации по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлоконструкциях. – М.: ЦНИИПСК им. Мельникова, 1991. – 64 с.
6. Биргер И.А. Растяжение и изгиб стержней. // Прочность, устойчивость, колебания, Т. 1. – М.: Машиностроение, 1968. – С. 183–238.
7. СНиП 2.05.06-85*, с изм. 1996 г. Магистральные трубопроводы. – 71 с.
8. Котляревский В.А. Моделирование волн сжатия в грунте стержневой структурой. // В.А. Котляревский, В.И. Ганнушкин, А.А. Костин [и др.]. Убежища гражданской обороны. Конструкция и расчет. / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Стройиздат, 1989. – С. 506–517.
9. Котляревский В.А. Взрывостойкость сооружений как упругопластических систем. // В.А. Котляревский, В.И. Ларионов, С.П. Суцев. Энциклопедия безопасности. Строительство, промышленность, экология, Т. 2. Законы поражения. Прочность и динамика сооружений. / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – С. 583–616.
10. Котляревский В.А., Чистов А.Г. Численный анализ дифракции волн в упруговязких средах при плоской деформации. // Изв. АН СССР, МТТ, 1976, № 3. – С. 119–132.
11. НП-031-01. Введ. 01.01.2002. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. – М.: Госатомнадзор РФ, 2002. – 25 с.
12. Котляревский В.А. Статистическое моделирование нестационарных случайных процессов, применительно к анализу сейсмостойкости сооружений. Программа ГАММА. Информ. л. №

352–87. – М.: МГЦНТИ, 1987. – 2 с.

13. Котляревский В.А. Статистическое моделирование сейсмических воздействий на сооружения. // Строительная механика и расчет сооружений, 1988, № 3. – С. 44–48.

14. Котляревский В.А. Статистическое моделирование динамики подвесных энергетических систем при сейсмических нагрузках // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика и техника ядерных реакторов. – М.: НИКИЭТ, 1984. – С. 50–60.



Экологическая безопасность

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЛИЩА BUILDING MATERIALS AND ENVIRONMENTAL SAFETY HOUSING

УДК 691.33:676.27

Баталин Б.С

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, профессор, д.т.н.

Batalin B.S.

Professor, National Research Perm Polytechnic University

Козлов И.А

инженер

Kozlov IA

an engineer

Аннотация

В последние годы в промышленно развитых странах стали уделять особенно пристальное внимание санитарно-гигиеническим характеристикам жилых и общественных зданий. Современные исследования показывают присутствие вредных для здоровья людей химических веществ в помещениях, где в качестве утеплителя использовали искусственные органические материалы или материалы на их основе, а также снижения теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Решение подобных проблем может лежать в области использования защитных штукатурок, которые могут послужить как сорбционно-активными веществами, способными защитить от вредных веществ, так и дополнительной теплоизоляцией ограждающих конструкций.

Summary

In recent years, industrialized countries have been paying particularly close attention to the sanitary characteristics of residential and public buildings. Recent studies show the presence of any harmful chemicals in the premises, where the insulation used synthetic organic materials or materials on their basis, as well as reducing the thermal characteristics of building envelopes. The solution of these problems may lie in the use of protective plaster that can serve as a sorption-active substances capable of protecting against harmful substances, as well as additional insulation walling.

Ключевые слова:

Экология, пенополистирол, теплоизоляция, сорбционная защита.

Key words:

Ecology, Styrofoam, insulation, protection of sorption.

В Российской Федерации проблема энергосбережения в строительстве остаётся актуальной. Решение её в большей мере сосредоточено на повышении теплозащитных свойств ограждающих конструкций путём монтажа теплоизоляционного материала внутрь ограждающей конструкции или на её поверхности.

В качестве теплоизоляционного материала часто используется пенополистирол и другие органические утеплители. Подобное использование пенополистирола способствует возникновению ряда проблем, основными из которых являются конструктивные и экологические.

К конструктивным проблемам относится проблема нарушения однородности ограждающих конструкций, приводящей к увлажнению утеплителя, снижению сопротивления теплопередаче и сроков службы стены. Кроме того, срок эксплуатации пенополистирола, по разным оценкам, не превышает 25-50 лет, что делает проблематичным его использование в строительстве зданий со сроком службы 100 лет и более [1].

Экологическая безопасность органических утеплителей в последнее время не внушает доверия. Все или почти все искусственные органические утеплители выделяют вредные для здоровья людей вещества, такие как ароматические и предельные. Следует отметить, что среди химических веществ, мигрирующих из строительных материалов, преобладают ароматические углеводороды – производные бензола, хлорпроизводные углеводороды жирного ряда (хлороформ), большинство которых относятся ко второму классу токсичности по ГОСТ 12.1.007-76, т.е. к высокотоксичным соединениям, обладающим кумулятивными и канцерогенными свойствами.

По существующим данным количество летучих компонентов (пикограммы), выделяемых 1 гр. исследуемого образца пенополистирола в замкнутом объеме (20 см³) при 50 С⁰ достигает: бензола - 4944,00; хлороформ – 1420,00; стирол – 172600,00; толуол - 1200,00. Согласно СанПиН 2.1.2.729-99 содержание вредных веществ в разумных пределах допустимо, если их количество не превышает предельно-допустимые концентрации (ПДК), но никто не учитывает временной факт воздействия этих компонентов на организм человека [2, 3, 4, 5]. Таким образом, возникает проблема защиты людей от вредных воздействий утеплителя. Одно из решений данной проблемы заключается в использовании сорбционно-активных веществ. В качестве одного из таких веществ можно выделить так называемый скоп - отход картонного производства, образующийся в огромных количествах при производстве бумаги целлюлозно-бумажными комбинатами, в том числе и предприятием ООО «Пермский картон» [6, 7], скоп которого использовался нами в исследованиях.

Указанный скоп представляет собой волокно целлюлозы с примесями лигнина, карбонатов натрия, калия, магния и кальция, а также небольшого количества фосфатов и нитратов этих же металлов. Волокно по объему составляет 75-90% скопа, тонкость помола - 60-63⁰ [8], влажность скопа до переработки в листы – 19-65%, pH – 5,9-6,5, скоп представлен волокнами целлюлозы длиной до 150-250 мкм, толщиной 1-5 мкм. Волокна скопа расположены хаотично относительно друг друга, либо переплетены между собой. Твердые включения или примеси в образцах скопа не обнаружены [9]. По данным института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН ГУПР по Пермской области скоп предприятия ООО «Пермский картон» относится к V классу опасности для окружающей среды [10].

Существующие разработки в области материаловедения позволяют говорить о перспективности использования скопа как основного сырья для производства материалов строительного назначения, таких как плиты из скопа, гипсоплиты, неснимаемая опалубка из скопа с цементом и т.д. Благодаря своему химическому составу и строению скоп можно использовать и в качестве самостоятельного органического композиционного вяжущего. Используемый в строительных материалах скоп может одновременно выступать и в качестве сорбента.

Для доказательства способности скопа к адсорбции вредных веществ, в лаборатории кафедры строительных материалов и спецтехнологий были изготовлены образцы-кубы пенополистирола с нанесением на их поверхность слоя чистого влажного скопа толщиной 1 см, а также образцы-кубы пенополистирола с нанесением на их поверхность слоя влажной смеси скопа и цемента толщиной 1 см. Смесь скоп-цемент может выступать в качестве штукатурки. Дополнительно для подтверждения чистоты экспериментов нами были изготовлены образцы цементно-песчаного раствора с нанесением на их поверхность аналогичных составов скопа и скопа с цементом. Образцы изготовляли в количестве 3-х шт. каждого состава. Изготовленные образцы хранили в течение 1 года в нормальных условиях, после чего произвели химический анализ слоя чистого скопа, а также смеси скоп-цемент на предмет обнаружения выделенных пенополистиролом и адсорбированных скопом вредных органических соединений, таких как: формальдегид, стирол бензол, толуол, этилбензол, о,м,п-ксилол. Исследования были осуществлены совместно с Пермским Институтом детской экопатологии.

Селективное определение формальдегида в образцах проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в обращенно-фазном варианте на колонке, заполненной Диасорбом 130 C₁₆T, с использованием УФ-детектора. Методика анализа основана на предварительном переводе формальдегида в 2,4-динитрофенилгидразон формальдегида, его концентрировании из образца экстракцией гексаном, высушивании гексанового экстракта, растворении высушенного остатка в ацетонитриле и анализе на жидкостном хроматографе «Милихром-4» при длине волны 358 нм. Методика анализа обеспечивает определение формальдегида в материале в диапазоне концентраций 0,001-2,0 мкг/мг с суммарной погрешностью, не превышающей ±9,52 % для формальдегида. Определению не мешают другие альдегиды, а также алифатические спирты, карбоновые кислоты, кетоны.

Селективное определение стирола в исследуемых образцах проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в обращенно-фазном варианте на колонке, заполненной Сепарон C₁₈, с использованием УФ-детектора. Методика анализа основана на извлечении стирола из субстрата путем экстракции гексаном в присутствии гидроксида натрия и анализе экстракта на жидкостном хроматографе с насосом высокого давления НРР 5001 (ЧССР) при длине волны 254 нм. Методика анализа обеспечивает определение стирола в диапазоне концентраций 0,1-550 мкг/мг с суммарной погрешностью, не превышающей 16,60 % при доверительной вероятности 0,95. Определению не мешают алифатические и ароматические углеводороды.

Исследования по определению содержания ароматических углеводородов выполнены на газовом хроматографе ЛХМ-80. Нижний предел обнаружения: бензола-0,002 мкг/мл, толуола-0,002 мкг/мл, этилбензола-0,005 мкг/мл, п.м-ксилолов-0,005 мкг/мл, о-ксилола-0,005 мкг/мл.

Выполнение измерений массовой концентрации ароматических углеводородов проводили методом газовой хроматографии с детектором ионизации в пламени с использованием стальной колонки 3м, заполненной неподвижной жидкой фазой ApiezonL на хроматоне N-супер фракции 0,16-0,20 мм. Методика основана на предварительном выделении ароматических углеводородов из образцов путем нагревания объекта в герметичном объеме и последующем газохроматографическом анализе парогазовой пробы [11, 12, 13].

Предварительная подготовка исследуемых образцов из скопа и скопа с цементом заключалась в измельчении и гомогенизации этих образцов с целью получения усредненной пробы. Исследования образцов скоп и скоп-цемент проведены из соответствующих партий сорбентов по трем навескам массой 1 г. из каждой партии. Результаты химического анализа образцов представлены в таблице 1. В результате проведенных исследований были обнаружены соединения класса углеводородов бензол и толуол, а также формальдегид, во всех образцах скопа и скопа с цементом, контактировавших с пенополистиролом. Стирол, этилбензол и о-, м-, п-ксилолы в указанных образцах не обнаружены. Исследования показывают, что пробы скопа и скопа с цементом, контактировавшие с образцами цементно-песчаного раствора в отличие от аналогичных проб, контактировавших с пенополистиролом, не содержат в своём составе предельные и ароматические углеводороды.

Полученные результаты позволяют разработать технологии строительных материалов из скопа, который может выступать не только как волокнистый наполнитель, но и как сорбционно-активное вещество, способное на различных этапах эксплуатации строительного объекта поглощать вредные для здоровья людей органические соединения.

Таблица 1

Результаты химического анализа образцов скопа и скопа с цементом

| № | Образец | Концентрация, мкг/г | | |
|---|-------------------------|---------------------|---------------|--------------|
| | | Бензол | Толуол | Формальдегид |
| 1 | скоп | 0,078 | 0,24 | 0,026 |
| | скоп | 0,036 | 0,054 | 0,075 |
| | скоп | 0,079 | 0,34 | 0,142 |
| | Среднее значение | 0,064 | 0,211 | 0,081 |
| 2 | скоп | 0,083 | 0,025 | 0,436 |
| | скоп | 1,0 | 0,025 | 0,224 |
| | скоп | 0,08 | 0,05 | 0,419 |
| | Среднее значение | 0,388 | 0,033 | 0,360 |
| 3 | скоп | 0,18 | 0,56 | 0,315 |
| | скоп | 0,5 | 0,60 | 0,164 |
| | скоп | 0,087 | 0,05 | 0,246 |
| | Среднее значение | 0,256 | 0,403 | 0,242 |
| 1 | Скоп+цемент | 0,012 | 0,02 | 0,096 |
| | Скоп+цемент | 0,055 | не обнаружено | 0,117 |
| | Скоп+цемент | 0,126 | не обнаружено | 0,171 |
| | Среднее значение | 0,064 | 0,007 | 0,128 |
| 2 | Скоп+цемент | 0,042 | не обнаружено | 0,083 |
| | Скоп+цемент | не обнаружено | 0,03 | 1,64 |
| | Скоп+цемент | не обнаружено | не обнаружено | 1,60 |
| | Среднее значение | 0,014 | 0,010 | 1,108 |
| 3 | Скоп+цемент | не обнаружено | не обнаружено | 0,60 |
| | Скоп+цемент | 0,152 | 0,05 | 4,82 |
| | Скоп+цемент | не обнаружено | не обнаружено | 0,202 |
| | Среднее значение | 0,051 | 0,017 | 1,874 |

Библиографический список

- Сахаров Г.П. Эффективные материалы с повышенными теплозащитными и строительно-эксплуатационными свойствами // «Поробетон-2005»: Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. С. 39-49.
- Ясин Ю.Д. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций / Ю.Д. Ясин, В.Ю. Ясин, А.В. Ли // Строительные материалы. - 2002. - №5 – С.33-35.
- Васильев Г.А. Полимеры и среда обитания человека / Г.А.Васильев, В.В. Бояркина // Мост. - 1999. - №2. – С.10-12.
- Ананьев А.И. Фактическая и прогнозируемая долговечность пенополистирольных плит в наружных ограждающих конструкциях зданий / А.И. Ананьев, О.И. Лобов, В.П. Можаяев, П.А. Вязовченко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2003. - №10. - С.16-17.

5. Жуков Д.Д. Жуков. Осторожно – пенополистирол! / Д.Д. Жуков // Белорусская деловая газета, от 20.01.2004.
6. Патент РФ № 2180261 С1 МПК₇ В01D53/02, В01J20/24. Способ очистки отходящих газов от комплекса дурнопахнущих веществ / Я.И. Вайсман, Л.В. Рудакова, И.С. Глушанкова, Т.А. Зайцева, Я.С. Шишкин; заявитель и патентообладатель Аналитический центр Пермского областного комитета по охране природы; заявка № 2000116514/12 от 21.06.2000, опубл. 10.03.2002. Бюл. №7 – 10 с.
7. Патент РФ № 2180262 С1 7В01D53/02, В01J20/24. Фильтр-адсорбер / В.Н. Басов, И.В. Гельфенбуйм, Я.И. Вайсман, Л.В. Рудакова, Г.Р. Нурисламов; заявитель и патентообладатель Аналитический центр Пермского областного комитета по охране природы; заявка №2000116515/12 от 21.06.2000, опубл. 10.03.2002. - №7. – 16 с.
8. ГОСТ 14363.4 – 89. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. – Введ. 1989-01-01. – М.: Изд-во стандартов. 1979. – 12 с.
9. Баталин Б.С. Исследование физико-механических свойств скопа предприятия Пермский картон / Б.С. Баталин, И.А. Козлов // Изв. Вузов. Строительство. - 2004. - №1. - С. 32-34.
10. Заключение о классе опасности для окружающей природной среды отхода: скоп неочищенный ООО «Пермский картон» №3/О от 25.03.2004: отчёт о НИР / Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН ГУПР по Пермской области: рук. Черешнев В.А.; исп.: Пшеничнов Р.А., Никитина Н.М., Дёмина М.В. – Пермь, 2003. – 7 с.
11. Сборник методических указаний МУК 4.1.763-4.1.779-99. Определение химических соединений в биологических средах. – М.: Минздрав РФ, 2000. – 152 с.
12. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04. 186-89. М.: Минздрав РФ, 1991. – 327 с.
13. ВЭЖК определение формальдегида и предельных альдегидов (C₂-C₁₀) в воздухе: МУК 4.1.1045-01. - Минздрав РФ, 2002. – 10 с.



СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ПАДЕНИЯ АСТЕРОИДОВ НА ЗЕМНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

SEISMIC DANGER of FALLING the ASTEROIDS ON TERRESTRIAL SURFACE

УДК 523.6+629.78

Котляревский В.А.

Научно-образовательный центр исследования экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) Московского государственного технического университета (МГТУ) имени Н.Э. Баумана. Главный научный сотрудник НОЦ ИЭС.

Kotlyarevsky W.A.

Extreme Situations Research Center of Bauman Moscow State Technical University, Moscow. Lead researcher of Scientific Educational Center of Extreme Situations Analysis.

Ларионов В.И.

Научно-образовательный центр исследования экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) Московского государственного технического университета (МГТУ) имени Н.Э. Баумана. Заместитель директора НОЦ ИЭС.

Larionov W.I.

Extreme Situations Research Center of Bauman Moscow State Technical University, Moscow. Deputy director of Scientific Educational Center of Extreme Situations Analysis.

Аннотация

Рассмотрены опасности от падения на земную поверхность астероидов и других космических материалов и возможные последствия их действия на здания, сооружения и системы жизнеобеспечения в городах в связи с возникновением интенсивных сейсмических волн, способных также в качестве пусковых механизмов вызывать в сейсмически активных регионах землетрясения.

Summary

Considered dangers from falling on terrestrial surface of asteroids and other cosmic material and possible consequences of their action on buildings in cities in connection with arising the intensive seismic waves, capable also as activate mechanisms to cause in seismic active regions of earthquake.

Ключевые слова:

Астероид, энергия удара, сейсмические волны, магнитуда землетрясения, уязвимость населения.

Key words:

Asteroid, energy of nock, seismic waves, intensity earthquakes, criticality of population.

1. Общие положения

Сейсмическая опасность при падении на земную поверхность астероидов и других космических материалов связана с возникновением от ударных воздействий интенсивных сейсмических волн, то есть колебаний грунта, действующих на здания, сооружения и систему жизнеобеспечения в городах и населенных пунктах. Кроме того, в сейсмически активных регионах такие удары могут послужить пусковым механизмом землетрясений. Возможные последствия в каждом конкретном случае зависят от условий входа космического тела в атмосферу, мест его падения, массы и скорости в момент удара, то есть выделяющейся энергии.

Космические тела подлетают к Земле в широком диапазоне скоростей V вплоть до десятков километров в секунду. Мелкие метеориты сгорают в земной атмосфере, крупные могут ее пробить, высвобождая при ударе о Землю в доли секунды определенное количество энергии,

равное кинетической энергии $U_k = \frac{1}{2}mV^2$, где m – масса тела. Найденные космические тела –

метеориты обычно небольшой массы (рис. 1) и не представляют реальной опасности.

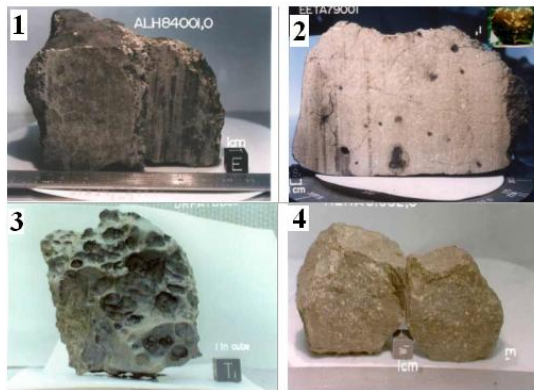


Рис. 1. Типичные астероиды из мировой коллекции: 1 – метеорит ALH84001,0 ($d \square 12$ см), 2 – марсианский метеорит EETA79001 ($d \square 20$ см); 3 – железный метеорит, 4 – хондрит- метеорит

Параметры весьма опасных в сейсмическом отношении крупных тел при больших скоростях вследствие взрывов при прохождении атмосферы устанавливаются теоретическим анализом по эффекту воздействия на окружающую среду и найденных их небольших фрагментов. Оценка параметров поражающих факторов воздушных взрывов возможна с использованием известных методов расчета параметров ударных волн и тепловой радиации взрывов конденсированных взрывчатых веществ, газовых и ядерных взрывов [1].

Сейсмические эффекты астероидов при широком диапазоне исходных параметров определяют разнообразные сценарии, учитывающие как чисто ударные воздействия, так и совместно со взрывом астероида при подлете к земле (рис. 2).

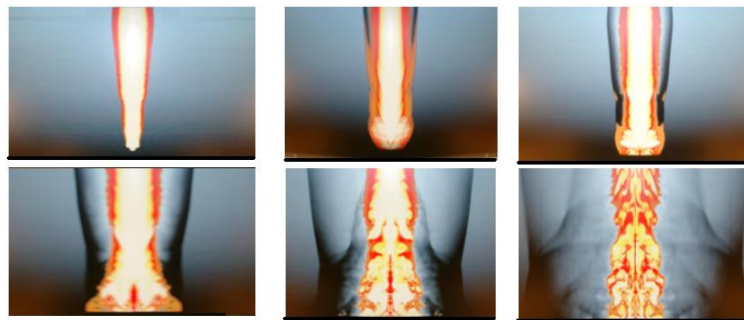


Рис. 2. Математическое моделирование баллистики и удара о землю высокоскоростного космического тела [2]

Далее рассмотрены методы математического моделирования ударного воздействия космических тел о земную поверхность в целях установления сейсмических эффектов, вызываемых ударами с различными скоростями и энергиями.

2. Эффекты ударного действия космических тел

В математических моделях ударных воздействий полная система уравнений волновой динамики содержит реологию материалов космического тела и грунта (далее – мишени). При небольших и средних скоростях удара модели материалов могут представлять нелинейно-упругое тело, вязкоупругое и упруго-пластическое. При больших скоростях прочность мишени

не учитывают и используют гидродинамическое описание – зависимость «сжимаемость – давление», то есть среда рассматривается как жидкость.

2.1. Удар при средних скоростях по мишеням из уруговязкого и уругопластичного материалов с прочностью

Математическое моделирование удара твердого тела по мягкому грунту может выполняться численными методами с применением различных моделей, учитывающих нелинейно-упругие, вязкие и пластические свойства сплошной среды. В [3–5] результаты таких расчетов сравнивались с экспериментами по удару штампа о грунтовую поверхность. Для воспроизведения удара штамп, установленный на грунт, подвергался действию взрывного импульса, вызывающего движение штампа с начальной скоростью удара. Установлено, что форма диаграммы объемного деформирования, учет пластической сжимаемости и вязкости среды слабо сказываются на напряжениях под штампом, но существенно влияют на его кинематику и возбуждаемое волновое поле.

Первая серия опытов проводилась на массиве суглинка естественного сложения с незначительными включениями мелкого гравия (компрессионная кривая 1 на рис. 3). На том же рисунке показаны типичные осциллограммы давлений под штампом и его смещений. Вторая серия экспериментов проводилась на влажном песчаном грунте (компрессионная кривая 2).

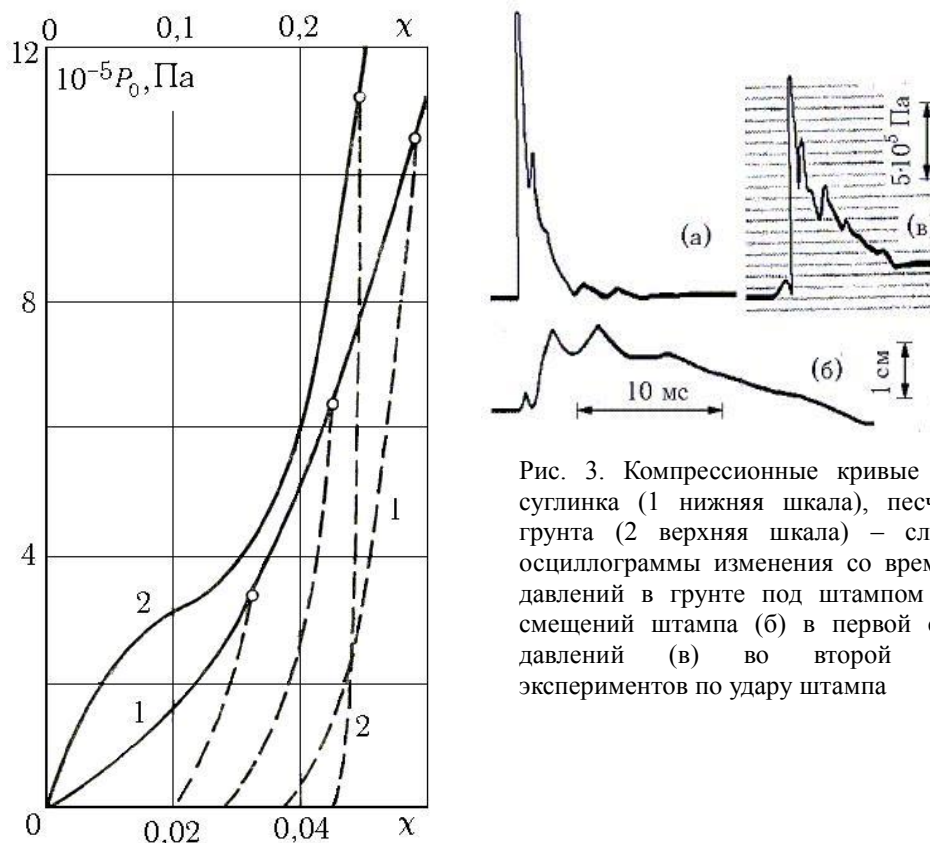


Рис. 3. Компрессионные кривые $P_0(\square)$ суглинка (1 нижняя шкала), песчаного грунта (2 верхняя шкала) – слева и осциллограммы изменения со временем: давлений в грунте под штампом (а) и смещений штампа (б) в первой серии; давлений (в) во второй серии экспериментов по удару штампа

Математическое моделирование проведено по программам: <M> и <MS> – двумерных

движений упругопластических сред [3, 4] и по программе <F> – одномерных движений нелинейной упруговязкой среды [5].

В программах реализован автоматический переход взаимодействующих сред от одного фазового состояния к другому: упругость – вязкоупругость – пластичность – жидкость. Поверхность текучести в пространстве главных напряжений принята в виде замкнутой деформируемой поверхности вращения с вырождением вследствие частичной потери прочности в цилиндрическую поверхность Мизеса переменного радиуса с учетом сопряжения с гидродинамическим описанием в зоне высоких давлений.

В программе <F> для описания волновых движений сплошной среды при ударных воздействиях со средними скоростями использовано уравнение состояния наследственного типа

$$\varepsilon = \frac{p}{C} + \int_0^t \Gamma(\dot{\varepsilon}, p) d\xi \xi \Gamma = \begin{cases} \Gamma_{(1)}(\dot{\varepsilon}, p) \geq 0 \\ \Gamma_{(2)}(\dot{\varepsilon}, p) < 0 \end{cases}$$

$$\varepsilon_{-} = \varepsilon - p/C, C = 3K / (\mu + 2K_{\delta})$$

Здесь $\Gamma_{(1)}$ и $\Gamma_{(2)}$ – сопрягаемые ядра ползучести для условий одноосной деформации (\square), C – соответствующий мгновенный модуль упругости, K – модуль объемного сжатия, p – осевое давление, точка сверху означает производную по времени. Данные программ приведены в табл.

Таблица 1.

Расчетные варианты удара штампа по деформируемой среде с использованием нелинейно-упругой и упругопластических моделей

| № варианта | Среда | Программа и закон сжимаемости (по рис.3) | Условие текучести |
|------------|---|--|---|
| 6 | Нелинейно-упругая без прочности (жидкость) | <M> Жесткая диаграмма нелинейно-упругого сжатия (кривая 1) | – |
| 2 | Нелинейно-упругая с прочностью (грунт) | <M> Жесткая диаграмма нелинейно-упругого сжатия (кривая 1) | – |
| 1 | Идеальная упругопластическая среда Прандтля -Рейсса пластически несжимаемая | <M> Жесткая диаграмма нелинейно-упругого сжатия (кривая 1) | Мизеса (динамическое) наложено на девиатор упругих напряжений |
| 5 | Упругопластическая Григоряна пластически сжимаемая | <MS> Жесткая диаграмма упругопластического сжатия (кривые 1) | Мизеса – Шлейхера наложено на девиатор полных напряжений |
| 10 | То же | <MS> Диаграмма упругопластического сжатия двойкой кривизны (кривые 2) | То же |

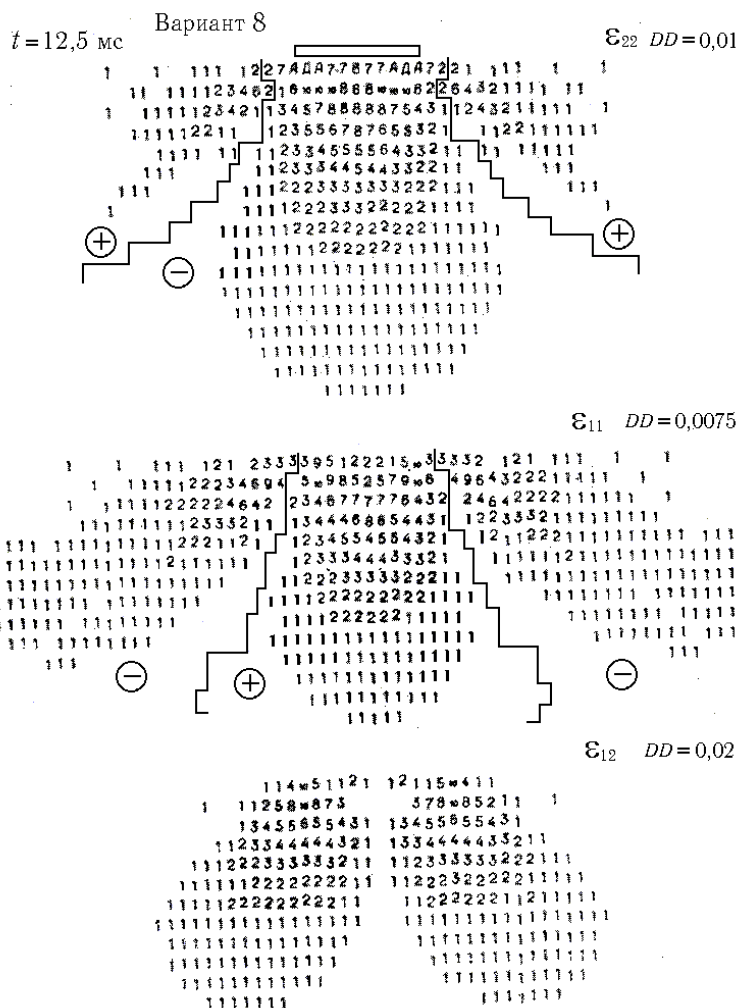


Рис. 5. Матрицы компонент тензора деформаций грунта под штампом в варианте 8 в момент времени 12,5 мс

На рис. 6 и 7 показаны изменения со временем вертикальной компоненты тензора напряжений в среде под штампом и смещений штампа для всех вариантов расчета с номерами кривых, соответствующими номерам вариантов. Приведенные данные дают сравнительную оценку поведения моделей сред и согласия с экспериментальными кривыми *A*, *B*.

Получено, что пластическое течение начинается немедленно после удара под всей подошвой штампа и распространяется вглубь среды. Деформации сдвига, распространяющиеся от углов штампа к оси симметрии, в начальной фазе окаймляют треугольную зону под центром штампа, в которой лагранжева сетка сжата, но остается прямоугольной.

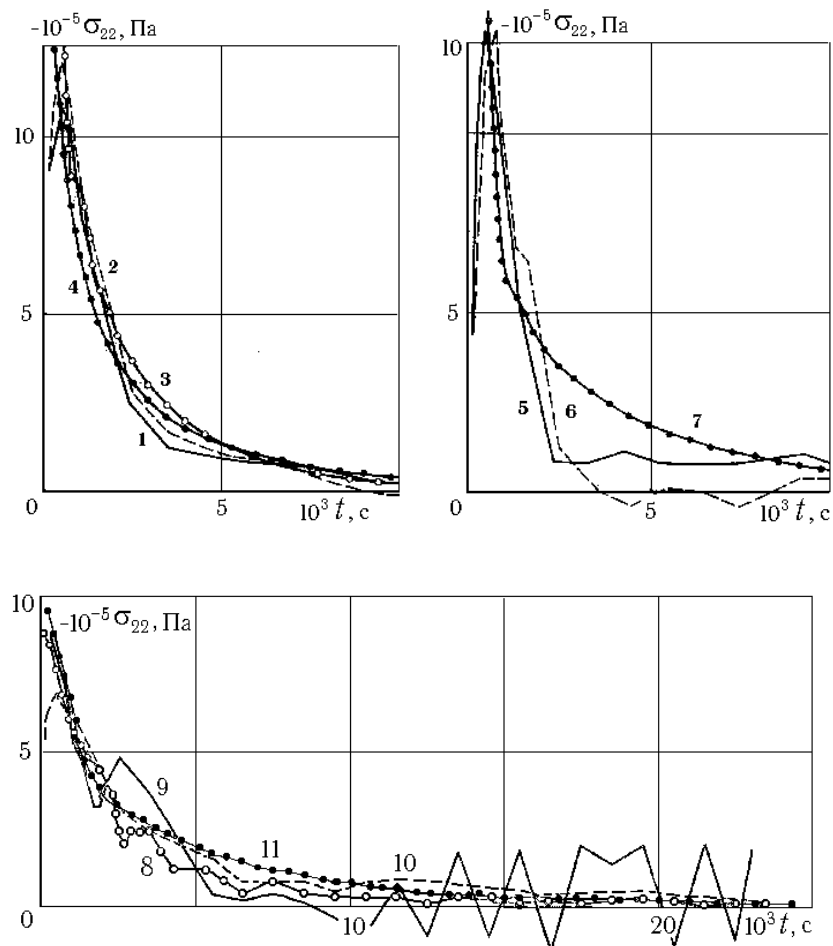


Рис. 6. Изменение во времени расчетных напряжений в грунте под штампом в вариантах с номерами, указанными на кривых

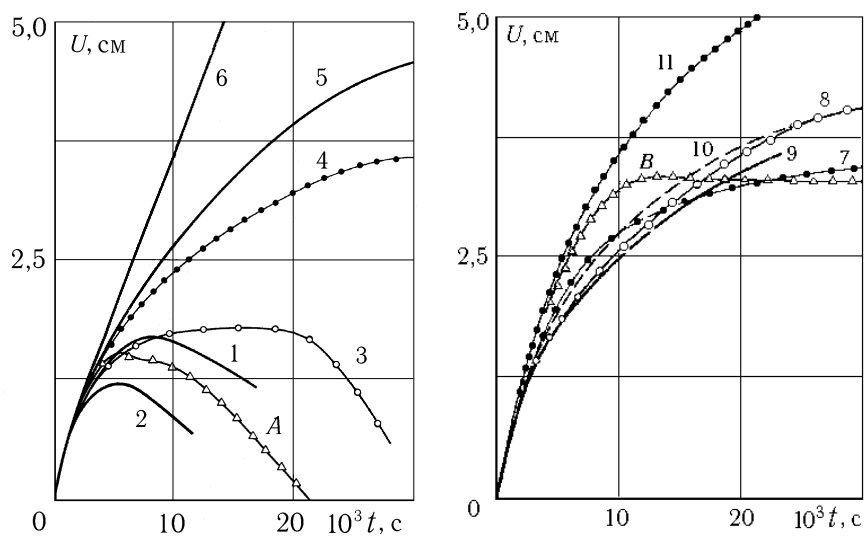


Рис. 7. Изменение во времени расчетных перемещений штампа в вариантах с номерами, указанными на кривых, и экспериментальные смещения штампа: *A* – на суглинистом грунте, *B* – на песчаном грунте

2.2. Удар при больших скоростях по мишеням из материалов без прочности (гидродинамическое приближение)

При больших скоростях удара свойства грунтовой среды описывают в гидродинамическом приближении. Вопросы удара в такой постановке аналитически рассмотрены в работе [6]. Решение численными методами волновых уравнений гидродинамики задачи удара по жидкой среде позволяет получить результаты для более широкого временного интервала, чем решение аналитическими методами. В работе [7] показана возможность моделирования процесса удара и взаимодействия с жидкой средой твердого тела с использованием конечно-разностного лагранжевого метода. Решение, лимитированное предельно допустимыми искажениями лагранжевых ячеек сетки, доводится до момента времени десятикратного пробега звуковой волны вдоль диаметра ударника. Приведем результаты расчета удара по жидкой среде с определением полей давлений (p), массовых скоростей (v) и перемещений (u). На рис. 8 показаны изменения (с безразмерным временем s) функций – давления $P_{\square}(s)$ в диаметральной плоскости ударника (кривая 1), скорости $V(s)$ (2) и функции $-G(s)/\square$ (3), характеризующей реакцию торможения, обезразмеренных согласно соотношениям:

$$P_{\delta} = \frac{p}{\rho_0 V_0} \sqrt{\frac{\rho_0}{K}}, V = \frac{v}{V_0}, G = \frac{dV}{ds}, \xi = \frac{2\rho_0 b^2}{m}, s = \frac{t}{b} \sqrt{\frac{K}{\rho_0}}.$$

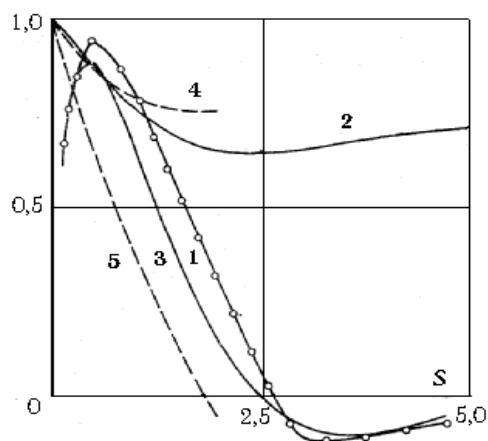


Рис. 8. Параметры взаимодействия ударника со средой по результатам численного расчета в сравнении с аналитическим решением

Для сравнения кривыми 4 и 5 показаны функции $V(s)$ и $-G(s)/\square$, полученные из аналитического решения [6] для условий потенциального течения жидкости

$$V = \frac{\xi}{\lambda_2 - \lambda_1} \left[\left(1 - \frac{1}{2\lambda_1} \right) \exp(\lambda_1 s) - \left(1 - \frac{1}{2\lambda_2} \right) \exp(\lambda_2 s) \right],$$

$$\lambda_{1,2} = -\frac{1}{2} \left(\mp \sqrt{\xi^2 - 2\xi} \right) \quad (0 < s \leq 2).$$

Результаты расчетов на рис. 9 приведены в системе координат $X_i = X_i^{\circ}/b$ ($i = 1, 2$), где X_i° –

координаты Лагранжа, фиксирующие начальное положение частиц среды. Получено, что растяжение в среде впервые возникает при $s = 2,4$ у поверхности ударника в точках на расстояниях $\square X_1^{\circ}/b \square 0,5$ от диаметральной плоскости. В процессе торможения ударника зона растяжения расширяется, как это видно из рисунка (слева), где показано положение границы зоны растяжения жидкости в моменты времени $s = 2,88; 3,80; 5,66$. Наибольшее растяжение $P_0 = -0,151$ ($p = -15 \square 10^5$ Па) достигается при $s = 2,88$, то есть в реальных условиях происходит образование каверн.

Волновое поле давлений в среде при $s = 3,80$ показано на рис. 9 справа, причем цифры в шести зонах означают диапазоны для давлений P_{\square} :

- 1) $-0,1375 < P_{\square} < -0,1125$; 2) $-0,1125 < P_{\square} < -0,0375$; 3) $-0,0375 < P_{\square} < +0,0375$;
- 4) $0,0375 < P_{\square} < 0,0875$; 5) $0,0875 < P_{\square} < 0,1625$; 6) $0,1625 < P_{\square} < 0,2625$.

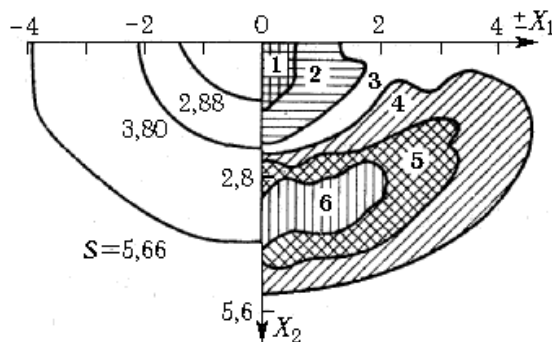


Рис. 9. Положение границы зоны растяжения жидкости в различные моменты времени от момента контакта s (слева) и поле давлений при $s = 3,8$ в шести зонах P_{\square} (справа)

Положение поверхности жидкости справа от диаметральной плоскости в различные моменты времени представлено на рис. 10 изображением центров лагранжевых ячеек верхнего слоя среды (точки $j = 0, 1, 2, \dots$) в системе координат X_i^* , причем $X_1^* = 0,04X_1 + u_1/b$, $X_2^* = u_2/b$, где u_i – компоненты вектора смещения центров ячеек, совмещенных с осью X_1^* при $s = 0$. Для наглядности изображения горизонтальных смещений начальное положение частиц вдоль X_1^* введено с масштабным коэффициентом 0,04, то есть при $s = 0$ для радиуса ударника (A на рис. 10) $j = 2,5$; $X_1^* = 0,04$; $X_2^* = 0$.

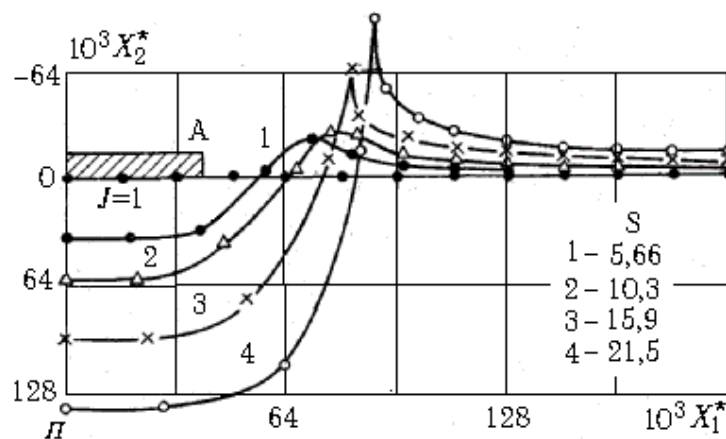


Рис. 10. Положение поверхности жидкости справа от диаметальной плоскости в моменты времени s

Численное моделирование высокоскоростного удара в различные среды в [8] проведено также в гидродинамическом приближении. Материалы этих исследований тесно связаны с проблемой противометеоритной защиты космических кораблей. Основное внимание было сосредоточено на проникание ударника в мишень с определением картины и параметров образования кратера. Рассматривались задачи соударения ударников малой плотности с мишенями для определения влияния пористости космического вещества на окончательные размеры кратера. Работа проведена в лаборатории космических исследований с использованием программ, основанных на трех схемах – эйлеровой, лагранжевой и частиц в ячейках, что обеспечивало сшивание всех стадий процессов при ударе. Так, для изучения систем противометеоритной защиты применялись: программа частиц в ячейках третьего поколения VISTA и объединенные программы VISTA–GRAM и VISTA–DEPROSS [9–11]. Получены поля давлений и массовых скоростей в мишени, что дает принципиальную возможность перейти к оценкам сейсмических эффектов. Для иллюстрации на рис. 11 и 12 представлена визуализация результатов моделирования эффектов удара со скоростью 20 км/с в последовательные моменты времени.

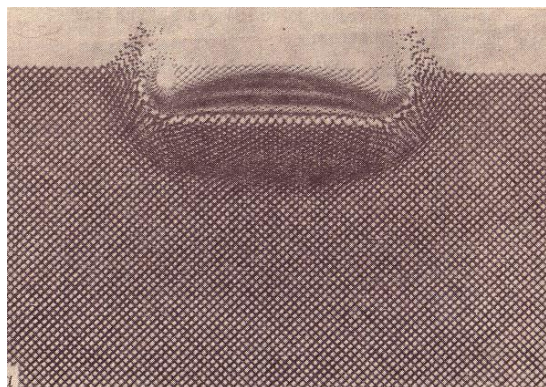


Рис. 11. Конфигурация ударника и кратера при скорости удара 20 км/с в момент времени 0,238 мкс от начала контакта

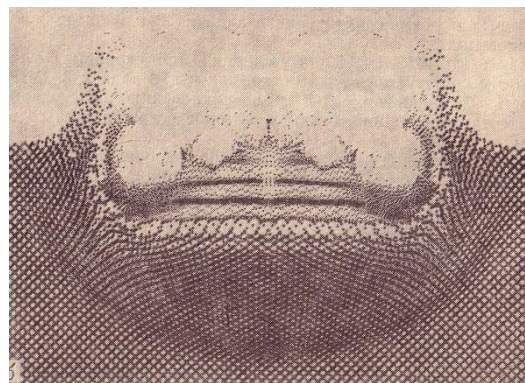


Рис. 12. Конфигурация ударника и кратера при скорости удара 20 км/с в момент времени 0,418 мкс от начала контакта

3. Сейсмический эффект ударов астероидов

Силу землетрясения характеризует сейсмическая интенсивность (или балльность J), зависящая от магнитуды, связанной с энергией сейсмического источника и эпицентральной расстоянием, убывая от эпицентра к периферии. Магнитуда имеет много определений. По ранней магнитудной шкале Рихтера магнитуда определяется как десятичный логарифм амплитуды записи сейсмографом с определенными параметрами на твердом грунте в 100 км от эпицентра. При очень больших магнитудах применяют телескопическую шкалу и унифицированную шкалу Гутенберга.

Полную энергию очага W , эрг, в функции магнитуды определяют по формуле [12] $\lg W = \alpha M + B_1$, где для сильных землетрясений $\alpha=1,5$; $B_1=12$ и для слабых землетрясений $\alpha=1,8$; $B_1=11$ (1 Дж= 10^7 эрг). Например, при слабом землетрясении с магнитудой $M=5$ имеем $\lg W=1,8 \cdot 5+11=20$ и $W=10^{20}$ эрг= 10^7 МДж, что по энергии соответствует взрыву бомбы с тротиловым эквивалентом 2,36кт. Интенсивность землетрясений на поверхности земли оценивают по 12-балльной шкале MSK-64 Медведева-Шпонхойера-Карника и MMSK-86, усовершенствованной Шебалиным в 1986г.

Далее приведены результаты расчета магнитуд и балльности сейсмике по параметрам удара о грунт падающего астероида.

Энергия удара астероида определена по кинетической энергии в момент контакта

$$Q_0 = \frac{1}{2} m_0 \cdot V^2$$

где Q_0 – энергия, Дж; m_0 – масса космического материала, кг; V – скорость удара, м/с.

Сейсмический эквивалент магнитуды M эффекта удара

$$M = (\lg Q - B_1) / \alpha \quad (Q = 10^7 \cdot Q_0),$$

где Q – энергия в эргах; B_1 и α – константы для средних значений сейсмической интенсивности: $B_1 = 11,5$ и $\alpha = 1,65$.

Интенсивность сейсмических сотрясений J на конкретной площадке по 12-балльной шкале определяется в зависимости от магнитуды M , эпицентрального расстояния R , км, глубины энергетического источника h , км, и региональных констант a_3 , b_3 и c_3 (для России (Н. Шебалин) $a_3=3$; $b_3=1,5$ и $c_3=3,5$)

$$J = a_3 + b_3 M - c_3 \lg \sqrt{R^2 + h^2}.$$

Учитывая широкий диапазон параметров астероидов, приведем данные по их энергетическому спектру в диапазонах космических тел диаметром $d = 5 - 1000$ м и массой $m_0 = 0,2 - 1,57 \cdot 10^6$ тыс. тонн при скоростях встречи $V = 0,5 - 50$ км/с (табл. 2). Масса тела определялась приведением к сфере с плотностью материала 3000 кг/м^3 . Зависимость магнитуды

от энергии источника дана в табл. 3.

Таблица 2.

Энергетический спектр (МДж) астероидов в диапазонах их диаметров d и скоростей встречи V с земной поверхностью

| d , м | m_0 , кг | V , км/с | | | | | |
|---------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | 0,5 | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 |
| 5 | 0,196 | $2,45 \cdot 10^4$ | $9,82 \cdot 10^4$ | $2,45 \cdot 10^6$ | $9,82 \cdot 10^6$ | $6,14 \cdot 10^7$ | $2,45 \cdot 10^8$ |
| 10 | 1,57 | $1,96 \cdot 10^5$ | $7,85 \cdot 10^5$ | $1,96 \cdot 10^7$ | $7,85 \cdot 10^7$ | $4,91 \cdot 10^8$ | $1,96 \cdot 10^9$ |
| 20 | 12,57 | $1,57 \cdot 10^6$ | $6,28 \cdot 10^6$ | $1,57 \cdot 10^8$ | $6,28 \cdot 10^8$ | $3,93 \cdot 10^9$ | $1,57 \cdot 10^{10}$ |
| 50 | $1,96 \cdot 10^2$ | $2,45 \cdot 10^7$ | $9,82 \cdot 10^7$ | $2,45 \cdot 10^9$ | $9,82 \cdot 10^9$ | $6,14 \cdot 10^{10}$ | $2,45 \cdot 10^{11}$ |
| 100 | $1,57 \cdot 10^3$ | $1,96 \cdot 10^8$ | $7,85 \cdot 10^8$ | $1,96 \cdot 10^{10}$ | $7,85 \cdot 10^{10}$ | $4,91 \cdot 10^{11}$ | $1,96 \cdot 10^{12}$ |
| 500 | $1,96 \cdot 10^5$ | $2,45 \cdot 10^{10}$ | $9,82 \cdot 10^{10}$ | $2,45 \cdot 10^{12}$ | $9,82 \cdot 10^{12}$ | $6,14 \cdot 10^{13}$ | $2,45 \cdot 10^{14}$ |
| 1000 | $1,57 \cdot 10^6$ | $1,96 \cdot 10^{11}$ | $7,85 \cdot 10^{11}$ | $1,96 \cdot 10^{13}$ | $7,85 \cdot 10^{13}$ | $4,91 \cdot 10^{14}$ | $1,96 \cdot 10^{15}$ |

Таблица 3.

Зависимость магнитуды сейсмоки от кинетической энергии астероида в момент удара о земную поверхность

| Q_0 , мДж | M | Q_0 , мДж | M | Q_0 , мДж | M | Q_0 , мДж | M |
|-------------|------|----------------|------|-------------------|------|-------------------|-------|
| 50 | 1,94 | $5 \cdot 10^4$ | 3,76 | $5 \cdot 10^9$ | 6,78 | $5 \cdot 10^{14}$ | 9,82 |
| 100 | 2,12 | $5 \cdot 10^5$ | 4,36 | $5 \cdot 10^{10}$ | 7,39 | $5 \cdot 10^{15}$ | 10,42 |
| 500 | 2,54 | $5 \cdot 10^6$ | 4,97 | $5 \cdot 10^{11}$ | 8,00 | $5 \cdot 10^{16}$ | 11,03 |
| 1000 | 2,73 | $5 \cdot 10^7$ | 5,58 | $5 \cdot 10^{12}$ | 8,61 | $5 \cdot 10^{17}$ | 11,64 |
| 5000 | 3,15 | $5 \cdot 10^8$ | 6,18 | $5 \cdot 10^{13}$ | 9,21 | $5 \cdot 10^{18}$ | 12,24 |

Результаты вычисления значений магнитуд M и сейсмической интенсивности J в функции расстояния R (при $h = 10^{-3}$ км) в широком диапазоне энергии удара Q_0 приведены в табл. 4 – 6 и на рис. 13.

Таблица 4.

Интенсивность сейсмоки на территории от удара астероида с энергией в диапазоне $Q_0 = 50 - 5 \cdot 10^4$ МДж

| $Q_0 = 50$ $M = 1,94$ | | $Q_0 = 500$ $M = 2,54$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^3$ $M = 3,15$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^4$ $M = 3,76$ | |
|--------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ |
| 0,1 | 9,40 | 0,2 | 9,26 | 0,4 | 9,10 | 0,4 | 10,03 |
| 0,2 | 8,35 | 0,4 | 8,21 | 0,6 | 8,50 | 0,6 | 9,41 |
| 0,3 | 7,74 | 0,6 | 7,60 | 0,8 | 8,07 | 0,8 | 8,97 |
| 0,4 | 7,30 | 0,8 | 7,15 | 1,0 | 7,73 | 1,0 | 8,64 |
| 0,5 | 7,00 | 1,0 | 6,80 | 1,2 | 7,45 | 1,2 | 8,36 |
| 0,6 | 6,68 | 1,2 | 6,54 | 1,4 | 7,21 | 1,4 | 8,12 |
| 0,7 | 6,45 | 1,4 | 6,30 | 1,6 | 7,00 | 1,6 | 7,92 |
| 0,8 | 6,25 | 1,6 | 6,20 | 1,8 | 6,82 | 1,8 | 7,74 |
| 0,9 | 6,00 | 1,8 | 5,92 | 2,0 | 6,67 | 2,0 | 7,58 |
| 1,0 | 5,90 | 2,0 | 5,76 | 2,2 | 6,53 | 2,2 | 7,44 |
| - | - | - | - | 2,4 | 6,40 | 2,4 | 7,30 |
| - | - | - | - | 2,6 | 6,27 | 2,6 | 7,18 |
| - | - | - | - | - | - | 2,8 | 7,00 |
| - | - | - | - | - | - | 3,0 | 6,97 |
| - | - | - | - | - | - | 3,2 | 6,87 |
| - | - | - | - | - | - | 3,4 | 6,78 |
| - | - | - | - | - | - | 3,6 | 6,69 |
| - | - | - | - | - | - | 3,8 | 6,61 |
| - | - | - | - | - | - | 4,0 | 6,53 |
| - | - | - | - | - | - | 4,2 | 6,45 |
| - | - | - | - | - | - | 4,4 | 6,38 |
| - | - | - | - | - | - | 4,6 | 6,32 |
| - | - | - | - | - | - | 4,8 | 6,25 |
| - | - | - | - | - | - | 5,0 | 6,19 |

Таблица 5.

Интенсивность сейсмичности на территории от удара астероида с энергией в диапазоне $5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^9$ МДж

| $Q_0 = 5 \cdot 10^5$ $M = 4,36$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^6$ $M = 4,97$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^7$ $M = 5,58$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^8$ $M = 6,18$ | | $Q_0 = 5 \cdot 10^9$ $M = 6,80$ | |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------|
| $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ | $R, \text{ км}$ | $J, \text{ балл}$ |
| 1 | 9,54 | 1 | 10,45 | 2 | 10,30 | 5 | 9,83 | 5 | 10,70 |
| 2 | 8,49 | 2 | 9,40 | 4 | 9,26 | 10 | 8,77 | 10 | 9,68 |
| 3 | 7,87 | 3 | 8,78 | 6 | 8,64 | 15 | 8,16 | 15 | 9,06 |
| 4 | 7,44 | 4 | 8,35 | 8 | 8,20 | 20 | 7,72 | 20 | 8,63 |
| 5 | 7,10 | 5 | 8,00 | 10 | 7,86 | 25 | 7,38 | 25 | 8,29 |
| 6 | 6,82 | 6 | 7,73 | 12 | 7,59 | 30 | 7,10 | 30 | 8,00 |
| 7 | 6,59 | 7 | 7,50 | 14 | 7,35 | 35 | 6,87 | 35 | 7,78 |
| 8 | 6,38 | 8 | 7,29 | 16 | 7,15 | 40 | 6,66 | 40 | 7,57 |
| 9 | 6,20 | 9 | 7,11 | 18 | 6,97 | 45 | 6,49 | 45 | 7,39 |
| 10 | 6,04 | 10 | 6,95 | 20 | 6,80 | 50 | 6,33 | 50 | 7,23 |
| - | - | 11 | 6,80 | 22 | 6,64 | 55 | 6,18 | 55 | 7,09 |
| - | - | 12 | 6,68 | 24 | 6,53 | 60 | 6,00 | 60 | 6,96 |
| - | - | 13 | 6,55 | 26 | 6,40 | 75 | 5,71 | 65 | 6,84 |
| - | - | 14 | 6,44 | 28 | 6,30 | 100 | 5,27 | 70 | 6,72 |
| - | - | 15 | 6,34 | 30 | 6,20 | 125 | 4,93 | 75 | 6,62 |
| - | - | 16 | 6,24 | 35 | 6,00 | 150 | 4,66 | 80 | 6,50 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 90 | 6,34 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 100 | 6,10 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 125 | 5,84 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | 150 | 5,56 |

Таблица 6.

Интенсивность сейсмике на территории от удара астероида с энергией в диапазоне $5 \cdot 10^{10} - 5 \cdot 10^{14}$ МДж

| $Q_0 = 5 \cdot 10^{10}$ M = 7,39 | | $Q_0 = 5 \cdot 10^{11}$ M = 8 | | $Q_0 = 5 \cdot 10^{12}$ M = 8,61 | | $Q_0 = 5 \cdot 10^{13}$ M = 9,21 | | $Q_0 = 5 \cdot 10^{14}$ M = 9,82 | |
|-------------------------------------|---------|----------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|-------------------------------------|---------|
| R, км | J, балл | R, км | J, балл | R, км | J, балл | R, км | J, балл | R, км | J, балл |
| 5 | 11,64 | 50 | 9,05 | 50 | 9,96 | 50 | 10,87 | 50 | 11,78 |
| 10 | 10,60 | 100 | 8,00 | 100 | 8,91 | 100 | 9,83 | 100 | 10,71 |
| 20 | 9,54 | 150 | 7,38 | 150 | 8,29 | 150 | 9,20 | 150 | 10,11 |
| 30 | 8,92 | 200 | 6,95 | 200 | 7,85 | 200 | 8,77 | 200 | 9,67 |
| 40 | 8,48 | 250 | 6,61 | 250 | 7,52 | 250 | 8,42 | 250 | 9,33 |
| 50 | 8,14 | 300 | 6,33 | 300 | 7,24 | 300 | 8,16 | 300 | 9,06 |
| 75 | 7,53 | 350 | 6,09 | 350 | 7,00 | 350 | 7,91 | 350 | 8,82 |
| 100 | 7,09 | 400 | 5,89 | 400 | 6,80 | 400 | 7,72 | 400 | 8,62 |
| 125 | 6,75 | 450 | 5,71 | 450 | 6,62 | 450 | 7,53 | 450 | 8,44 |
| 150 | 6,47 | 500 | 5,55 | 500 | 6,46 | 500 | 7,38 | 500 | 8,28 |
| - | - | 600 | 5,28 | 600 | 6,18 | 600 | 7,10 | 600 | 8,00 |
| - | - | 700 | 5,04 | 700 | 5,95 | 700 | 6,87 | 700 | 7,72 |
| - | - | 800 | 4,84 | 800 | 5,75 | 800 | 6,66 | 800 | 7,57 |
| - | - | 900 | 4,66 | 900 | 5,59 | 900 | 6,49 | 900 | 7,39 |
| - | - | 1000 | 4,5 | 1000 | 5,41 | 1000 | 6,33 | 1000 | 7,23 |

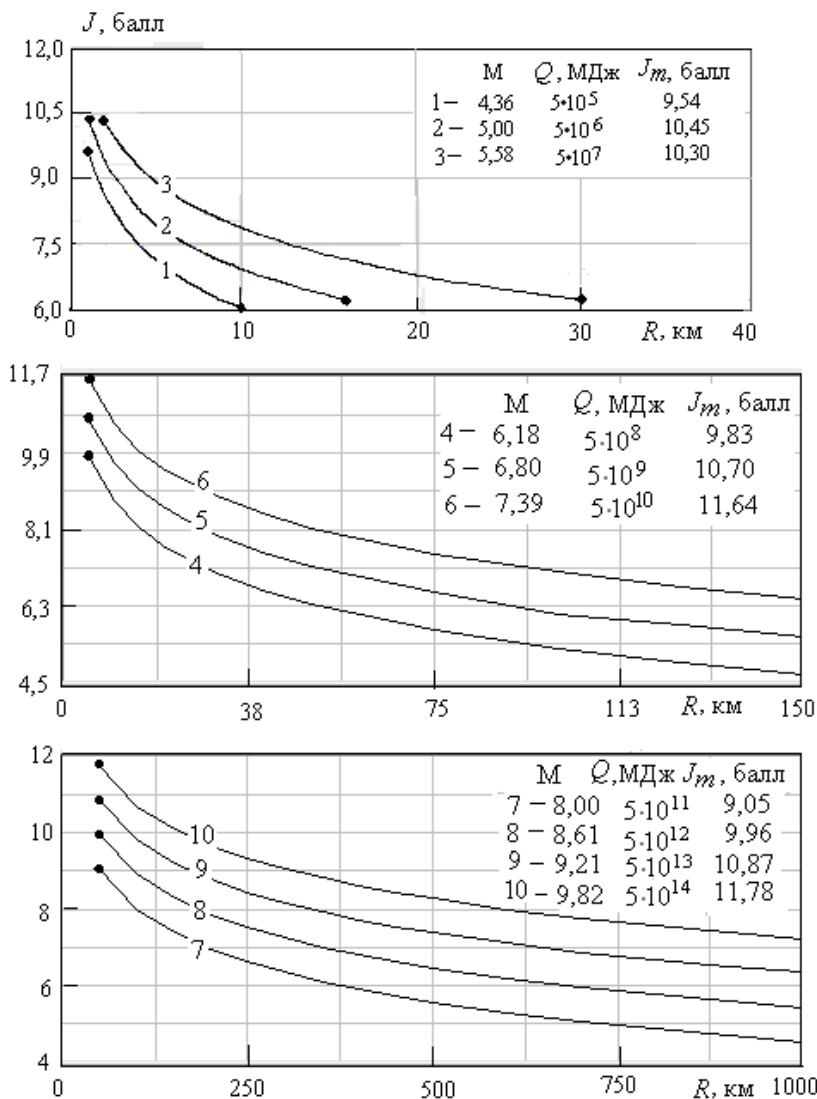


Рис. 13. Зависимость сейсмической интенсивности J от эпицентрального расстояния R при ударе астероидов с энергиями $5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^{14}$ МДж

4. Оценка уязвимости населения

Уязвимость населения по сейсмической опасности оценивают для людей, размещенных в однотипных зданиях и в зданиях различных типов населенного пункта в целом. Уязвимость населения $V_{sj}(I)$ в зданиях j -го типа равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом $M(N_j)$ в результате сейсмического воздействия интенсивностью I к общему числу людей N_j в зданиях рассматриваемого типа [12, 13]

$$V_{sj}(I) = M(N_j) / N_j .$$

Уязвимость населения $V_s(I)$, проживающего в зданиях различного типа в целом по населенному пункту, равна отношению ожидаемого числа пораженных с летальным исходом $M(N)$ в населенном пункте к общему числу N , проживающих в населенном пункте,

$$V_s(I) = M(N) / N = (\sum_{j=1}^m V_{sj}(I) \cdot N_j) / N .$$

Математическое ожидание $M(N_j)$ числа пораженных с летальным исходом в зданиях j -го типа определяется по формуле $M(N_j) = P_t N_j P_j(I)$, где P_t – вероятность размещения людей в зданиях в течение суток; N_j – число людей в зданиях j -го типа; $P_j(I)$ – вероятность гибели людей в зданиях j -го типа.

Результаты расчетов приведены в табл. 7 и 8. Варианты расчета для астероида $d = 500$ м при скорости удара 50 км/с показаны на рис. 14 и 15.

Таблица 7.

Уязвимость населения в зданиях
при землетрясениях интенсивностью 6–12 баллов

| Тип здания по шкале ММСК-86 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|--------------------------------|---|------|------|------|------|-----|-----|
| А | 0 | 0,05 | 0,38 | 0,59 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Б | 0 | 0,01 | 0,18 | 0,53 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| В | 0 | 0 | 0,05 | 0,38 | 0,59 | 0,7 | 0,8 |
| С7 | 0 | 0 | 0,01 | 0,18 | 0,53 | 0,7 | 0,8 |
| С8 | 0 | 0 | 0 | 0,05 | 0,38 | 0,6 | 0,8 |
| С9 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 0,18 | 0,5 | 0,8 |

Таблица 8.

Возможное число пораженных (тыс.) с летальным исходом при землетрясениях от ударов астероидов диаметром d со скоростями V

| Астероид | | Европейская часть | Восточная Сибирь |
|------------|---------|-------------------|------------------|
| V , км/с | d , м | | |
| 10 | 50 | 100 | 50 |
| | 500 | 800 | 100 |
| | 1000 | 1500 | 300 |
| 50 | 50 | 200 | 100 |
| | 500 | 2500 | 400 |
| | 1000 | 4500 | 800 |

Возможное число погибших для европейской части России превышает число погибших в Восточной Сибири за счет более высокой плотности населения.

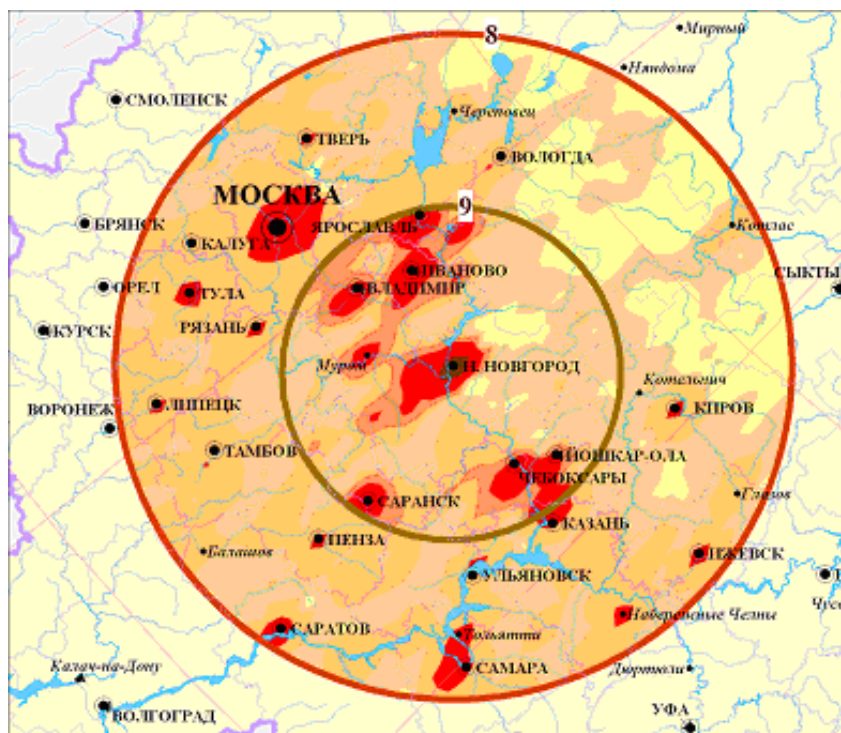


Рис. 14. Сценарии сейсмической опасности при ударе астероида диаметром 500 м о земную поверхность со скоростью 50 км/с в районе европейской части России

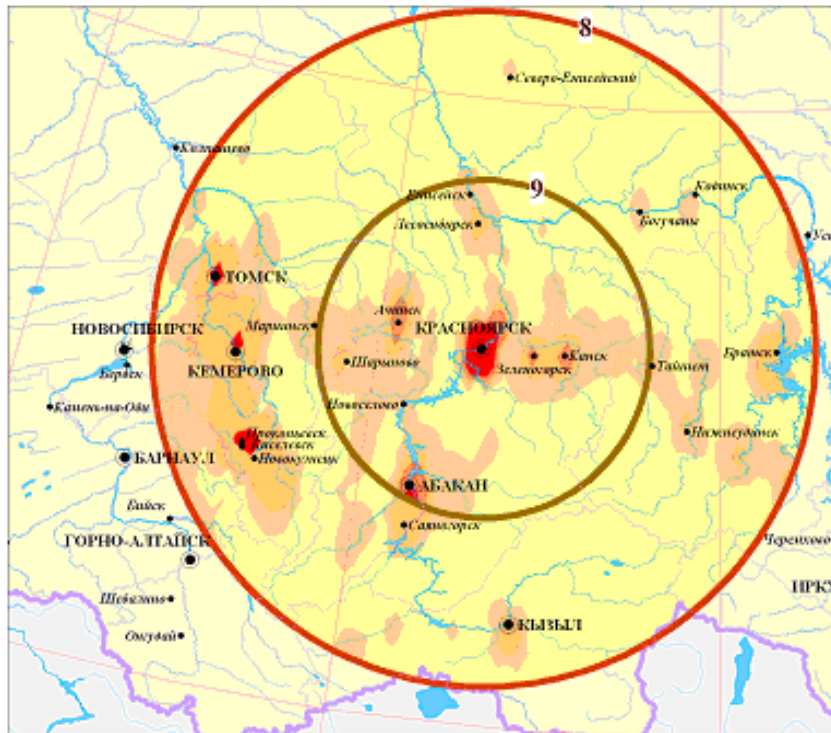
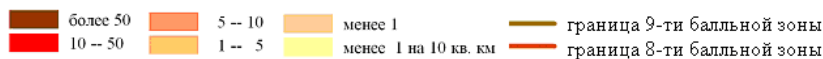


Рис. 15. Сценарии сейсмической опасности при ударе астероида диаметром 500 м о земную поверхность со скоростью 50 км/с в районе Восточной Сибири

На рисунках – математическое ожидание числа пораженных с летальным исходом (чел./км²) в обозначениях для зон:



Библиографический список

1. Котляревский В.А. Взрывные и ударные воздействия. // Котляревский В.А., Ларионов В.И., Суцев С.П. Энциклопедия безопасности. Строительство, промышленность, экология. Том 1. / Под ред. В.А. Котляревского. – М.: «НАУКА», 2005.– С. 272–643.
2. Boslough Mark В.Е. Тунгусский метеорит. Компьютерная программа симуляции нового поколения Марка Бослоу. Department of Computational Physics and Mechanics Sandia National Lab. – Albuquerque, 2007.
3. Котляревский В.А., Чистов А.Г. Численный анализ дифракции волн в упруговязких средах при плоской деформации. // Изв. АН СССР, МТТ, 1976, № 3. – С. 120–132.
4. Котляревский В.А., Румянцева Р.А., Чистов А.Г. Расчеты удара штампа по грунтовому массиву с использованием различных моделей упругопластических сред в условиях плоской деформации. // Изв. АН СССР, МТТ, 1977, № 5. – С. 132–146.
5. Котляревский В.А., Румянцева Р.А., Шишикин А.И. Волны в мягком грунте как упруговязкой среде. // Физика горения и взрыва, 1977, № 2. – С. 229–238.

6. Сагомоян А.Я. Проникание. М.: Изд-во МГУ, 1974. – 236 с.
7. Котляревский В.А. Удар по пластинке, находящейся на поверхности жидкости. // Изв. АН СССР, МЖГ, 1978, № 3. – С. 143–145.
8. Рини Т. Численное моделирование явлений при высокоскоростном ударе. // High-velocity impact phenomena. – Acad. Press New York - London, 1970. / Русский перевод: Высокоскоростные ударные воздействия. – М.: Мир, 1973. – С. 164–219.
9. Balmer H.A. Mass. Inst. Techn. Rept. ASRL TR-128-3, 1965.
10. Harlow F.H. Los Alamos Scientific Lab. Rept. LA-2301, 1959.
11. Wilkins M.L., Giroux R. Lawrence Radiation Lab. Rept. UCRL-7322, 1963.
12. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. [и др.]. Землетрясения. // Энциклопедия безопасности. Строительство, промышленность, экология. Том 3. Сейсмостойкость и теплозащита сооружений. / Под ред. В.А. Котляревского – М.: Изд-во АСВ, 2010. – С. 2–24.
13. Ларионов В.И., Фролова Н.И. Особенности оценки уязвимости для сейсмических воздействий. // Природные опасности России. – М.: Изд-во КРУК, 2003. – С. 120–129.

