

МИНИСТЕРСТВО ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОМЕЛЬСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ  
МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

# ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ: ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с сентября 2006 года

Выходит один раз в полгода, один том в год

---

ГОМЕЛЬ, ГИИ МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ · 2006, ТОМ 1, № 1

---

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Бариев Э. Р.</b> Итоги развития и перспективы совершенствования системы мер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь.....	5
<b>Гриб В. В.</b> Теоретические основы моделирования изменения технического состояния и оценки остаточного ресурса опасных промышленных объектов.....	11
<b>Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г.</b> Роль мониторинга технического состояния магистральных нефтепроводов в системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.....	19
<b>Беляев Б. И., Потеха В.Л., Сосенко В. А., Марченко С. А., Аниськов И.П.</b> Авиационный мониторинг в системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.....	24
<b>Астахов П.В., Митюрин Г.С.</b> Использование бесселевых световых пучков при фототермическом зондировании неоднородных сред.....	29
<b>Петуховский С.Г., Заневская Ю.В., Навроцкий О.Д., Емельянов В.К.</b> Повышение огнетушащей эффективности средств пожаротушения мелкодисперсной водой с гидравлическим способом распыливания за счет введения в огнетушащую жидкость добавок поверхностно-активных веществ .....	37

<b>Иванов Ю.С., Яновский С.Б.</b> Пожароопасные параметры фрикционных искр. Методы исследований. Основные проблемы.....	43
<b>Игнатов А. В., Потеха А. В., Потеха В. Л.</b> Разработка автоматизированных систем пожаротушения на базе лафетных пожарных роботов.....	48
<b>Черневич О.В., Быченко И.И.</b> Исследование термических свойств кирпича и растворов, применяемых для кладки бытовых печей.....	55
<b>Кулаковский Б.Л., Палубец С.М.</b> Исследования теплового режима агрегатов и меры повышения боеготовности пожарных аварийно-спасательных автомобилей.....	59
<b>Старовойтов Э. И., Яровая А. В.</b> Колебания трехслойных стержней при резонансе.....	66
<b>Воробьев С.А.</b> Исследование частотных характеристик трехслойного стержня на основе модели вязкого трения.....	74
<b>Максимей И.В., Смородин В.С.</b> Стабилизация уровня надежности техногенноопасных управляемых производственных комплексов с помощью имитационного моделирования.....	81
<b>Нарскин Г.И.</b> Физическая подготовка и система физической реабилитации персонала МЧС с учетом особенностей воздействия повышенного радиационного фона.....	90
<b>Украинец А.А.</b> Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций: социологические аспекты.....	96



**МИНИСТР ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
генерал-майор внутренней службы БАРИЕВ Энвер Ризаевич**

*Современный уровень материального производства и научно-технический прогресс обусловили непосредственное качественно преобразующее влияние науки и образования на производство, лавинообразное создание и широкое внедрение новых технологий, синтез большого числа веществ. Одновременно с позитивными результатами усиливается сверхкритическая эксплуатация человеком био и техносферы, он не в полном объеме, зачастую несвоевременно и ненадежно, осваивает и контролирует свое окружение. Перед человечеством встал ряд глобальных проблем, связанных с неэффективным использованием природных богатств, возникновением и развитием чрезвычайных ситуаций. В мире наблюдается многократный рост количества пожаров, взрывов и техногенных аварий, расширяются зоны химического и радиоактивного загрязнения территорий. Люди живут в экстремальных, стрессовых условиях, под постоянной угрозой региональных и глобальных катастроф, которые могут поставить под вопрос выживание человечества.*

*В таких обстоятельствах, когда практически все чрезвычайные ситуации и их последствия имеют антропогенные причины, именно образование и наука представляются единственными средствами решения проблемы безопасности жизнедеятельности. Несмотря на то, что образование возникло как средство для передачи из поколения в поколение обобщенного и систематизированного знания, накопленного человечеством, существующие механизмы трансляции социального и инженерного опыта, оказываются неэффективными. Традиционные методы обучения и профессиональной подготовки не обеспечивают готовность человека к безопасной жизнедеятельности. Люди проявляют обеспокоенность и неуверенность в принятых решениях, оказываются беспомощными перед проблемами современного мира.*

*Следует отметить, что проблема безопасной жизнедеятельности как предмет научного исследования затрагивает сферы многих наук и может быть решена посредством использования достижений физики, химии, философии, экономики, педагогики, культурологии, информатики, психологии и других областей знания. Вместе с тем, очевидно, что следует ставить вопрос о разработке специализированной отрасли науки, рассматривающей предотвращение и ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Данная наука, имеющая свою специальную методологическую базу, будет не только интегрировать существующие знания о мире, но и обеспечивать выработку и теоретическую схематизацию новых объективных представлений о действительности.*

*На современном этапе развития общества, на фоне процессов глобализации изменяющегося мира, наука и образование, помимо других выполняемых основополагающих функций, становятся безальтернативным базисом обеспечения безопасности жизнедеятельности. Указанный, вывод подтверждается практикой многочисленных катастрофических чрезвычайных ситуаций. Представляется, что вопрос выживания человечества в III тысячелетии зависит от полноты осознания роли и эффективности, целенаправленности развития науки и образования.*

*В таких условиях выход в свет первого номера журнала «Чрезвычайные ситуации: образование и наука» это значимое событие и большая ответственность создателей издания. Но - дорогу осилит идущий. В добрый путь!*

УДК 614.8

## **ИТОГИ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЕР ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

БАРИЕВ Э.Р., Министр по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, кандидат педагогических наук, доцент

*Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь*

В настоящее время обеспечение безопасности требует создания не только органов, способов и средств защиты от различных опасностей, но и соответствующего социально-экономического механизма. С этих позиций проблему безопасности общества необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи с проблемой его перехода к устойчивому развитию.

**Ключевые слова:** чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера, обеспечение национальной безопасности, научно-техническое обеспечение

Уязвимость мирового сообщества от катастроф неуклонно возрастает. Ученые и практики во весь голос говорят о вызовах современности, среди которых чрезвычайные ситуации техногенного и природного характера занимают не последнее место. Анализ основных причин, вызывающих аварии и катастрофы, свидетельствует: сегодня отсутствуют объективные условия кардинального решения этой проблемы, более того, масштабы и ущерб от чрезвычайных ситуаций неуклонно и постоянно повышаются.

Результативные меры по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного и природного характера становятся сегодня одним из важнейших направлений деятельности по обеспечению национальной безопасности, обороноспособности и устойчивого развития Республики Беларусь.

Анализ причинно-следственных характеристик и статистические исследования ЧС позволяют сделать однозначный вывод: возникновение техногенных и последствия природных бедствий – это социально-экономический фактор. Следовательно, результативно решать проблему ЧС можно только обеспечивая трансформации в экономике и социуме. Причем подход должен носить комплексный, системный характер, а все мероприятия должны базироваться на учете существующих в этих сферах закономерностей. Проблема ЧС находится в прямой зависимости от культуры и образованности как отдельной личности, так и всего общества в целом.

В настоящее время обеспечение безопасности требует создания не только органов, способов и средств защиты от различных опасностей, но и соответствующего социально-экономического механизма. С этих позиций проблему безопасности общества необходимо рассматривать в тесной взаимосвязи с проблемой его перехода к устойчивому развитию.

Сегодня стала очевидной невозможность защитить человечество от надвигающихся катастроф без изменения существующих направлений развития общества. Сложилась ситуация, когда доминирующий тип социального развития существенно умножает различные опасности. В результате предупреждение опасностей, так же как и защита от них, оказываются все менее и менее эффективными, проявляются черты, которые уже нельзя считать прогрессивными, и появились проблемы, от решения которых зависит выживание человека.

Таким образом, представляется, что генезис проблемы защиты от ЧС будет иметь три этапа.

Первый – дискретно-эмпирический характеризуется запоздалым реагированием на ситуацию путем принятия отдельных несистемных мер. Деятельность по схеме «ситуация – реакция».

Второй – системно-профессиональный. Создаются специализированные общественные системы реагирования на ЧС. Именно они обеспечивают защиту от бедствий, разработку социально-экономических механизмов. Но их возможности объективно ограничены как организационно, так и ресурсно.

Третий этап – системно-социальный. Устойчивое развитие общества планируется и осуществляется с учетом стратегической оценки существующих угроз. В защите от ЧС участвуют все общественные институты, работают экономические механизмы.

Сегодня в Беларуси мы находимся на втором этапе, который начался в середине 90-х и продлится еще не менее 10 лет. Требуется время на набор «критической массы», да и пока не в полной мере использованы возможности специализированных систем защиты от ЧС.

Актуальным является вопрос – как при дефиците экономических, финансовых и сырьевых возможностей организовать на достаточно высоком уровне защиту человека и производства от аварий и катастроф?

Снижение совокупного техногенного и природного риска, особенности работы в условиях ЧС порождают большое количество проблем фундаментального и прикладного характера, и в первую очередь в создании эффективной системы разработки, планирования и оперативного управления комплексами мероприятий по предупреждению и ликвидации бедствий.

Отсутствие научно обоснованной методологии комплексного анализа и экономической оценки последствий ЧС является причиной недостаточной экономической проработанности принимаемых решений и проводимых мероприятий, а в некоторых случаях – их неэффективности. Разработка подобной методики позволит обосновать стратегию предупреждения и ликвидации катастроф с учетом наносимо-

го ущерба, а также минимизации ущерба от них. Это, в свою очередь, будет способствовать созданию экономических основ для экспертизы проектов, выработке экономически обоснованных требований к потенциально опасным технологиям, разработке экономических нормативов и стандартов безопасности жизнедеятельности.

Требуется создание автоматизированных информационно-аналитических баз, геоинформационной системы прогнозирования, предупреждения и ликвидации ЧС, систем диспетчеризации пожарной и промышленной безопасности.

Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в целях предотвращения гибели людей и минимизации социально-экономического ущерба от ЧС природного и техногенного характера реализует единую государственную политику в этой области, в число приоритетных направлений которой сегодня входят:

- формирование культуры безопасной жизнедеятельности;
- образовательное обеспечение безопасности жизнедеятельности;
- инновационное, научное обеспечение создания современных средств и технологий локализации и ликвидации последствий ЧС.

Одним из обязательных условий результативной деятельности аварийно-спасательных служб является разработка и внедрение целостной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям. Подготовленность кадров МЧС должна соответствовать современной высокодинамичной ситуации, строиться на всестороннем учете уникальной профессионально-предметной сферы борьбы с пожарами, авариями и стихийными бедствиями. Деятельность специалистов должна осуществляться на уровне высокого профессионального мастерства, особой профессиональной подготовленности, которая обеспечивала бы надежность, устойчивость, быстроту и оптимальность осуществления специалистом должностных обязанностей по предотвращению и ликвидации ЧС. В этой связи актуальной задачей является разработка научно-методического, информационного обеспечения и технологий профессиональной подготовки специалистов МЧС.

Исследования в этом направлении необходимо сконцентрировать на следующих направлениях: разработка и внедрение современного учебно-методического и информационно-технического обеспечения учебного процесса в условиях многоуровневой подготовки специалистов с учетом развития образовательной структуры МЧС; разработка и реализация новых принципов организации учебно-методического обеспечения подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов разного образовательного уровня, позволяющих быстро формировать и корректировать теоретические и практические основы обучения; эффективное использование ресурсов современных информационных компьютерных технологий и телекоммуникационных сетей. Итоговым результатом должно быть получение практических решений поставленных задач, их инструментально-методическое обеспечение, разработка комплекса рекомендаций.

Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь уделяет значительное внимание организации и проведению научно-технических разработок по проблемам безопасности и защиты от аварий и катастроф природного и техногенного характера.

В настоящее время МЧС является государственным заказчиком государственной научно-технической программы «Разработать и внедрить современные технику, средства и технологии для государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны» (ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций») на 2005 - 2010 гг.

В рамках программы выполняются научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы по следующим направлениям:

- совершенствование информационно-аналитического обеспечения Государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС;

- создание аппаратных и программных средств дистанционного мониторинга ЧС;

- разработка специальных инструментальных средств и экспериментально обоснованных технологий проведения первоочередных аварийно-спасательных работ и пожаротушения;

- обоснование и разработка путей и средств повышения безопасности функционирования промышленных объектов и технологий, мероприятий по предупреждению гибели людей и минимизации социально-экономического и экологического ущерба от ЧС;

- разработка и совершенствование нормативно-методической базы в области гражданской обороны;

- совершенствование подготовки специалистов аварийно-спасательных служб, образовательного обеспечения безопасности жизнедеятельности.

С 2006 года выполняется государственная программа прикладных научных исследований «Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь» (ГППИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций»). В рамках данной программы выполняются научно-исследовательские работы, направленные, главным образом, на разработку информационных технологий для:

- систем мониторинга объектов повышенной опасности;

- прогнозирования ЧС,

- обработки и передачи информации, обеспечивающей деятельность органов исполнительной власти всех уровней в условиях ЧС;

- обеспечения достоверного анализа и оценки рисков ЧС;

- определения и ранжирования территорий по степени тяжести опасностей и угроз, обуславливающих возникновение ЧС;

- определения наиболее эффективных в технико-экономическом плане мер и мероприятий по снижению рисков ЧС.

В рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2006-2010 годы проводятся научно-исследовательские работы, направленные на научное обеспечение:

- реабилитации загрязненных радионуклидами территорий и защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве;
- разработки новых и оптимизации существующих мероприятий радиационно-экологической реабилитации и устойчивого социально-экономического развития загрязненных территорий Брестской области с учетом региональной специфики и отдаленных последствий Чернобыльской катастрофы;
- преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в Могилевской области с учетом региональных особенностей;
- решения медицинских проблем последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС;
- решения долговременных проблем радиобиологических и радиозэкологических последствий Чернобыльской катастрофы.

Развивается международное научно-техническое сотрудничество по проблемам защиты от ЧС.

Для рассмотрения наиболее важных вопросов научно-технического обеспечения в области предупреждения природных и техногенных катастроф, координации совместных действий функционирует Объединенный научно-технический совет МЧС Республики Беларусь и МЧС России. Советом было инициировано проведение ряда совместных научно-исследовательских работ. Выполнена НИР по анализу причин гибели людей при ЧС, связанных с пожарами в Республике Беларусь и европейской части Российской Федерации, совместная НИР по комплексной оценке природных и техногенных рисков населению Витебской области Республики Беларуси и приграничных областей Российской Федерации.

Сформирована Программа совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства на 2006-2010 годы.

Выполняются проекты технического сотрудничества в рамках программ МАГАТЭ и ТАСИС в сфере предупреждения и ликвидации радиологических аварий.

Последовательная реализация проводимой МЧС научно-технической политики позволит:

- повысить уровень защищенности населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера за счет внедрения в практику современных научно-технических разработок и принятия нормативно-технических документов, основанных на полной и достоверной, научно обоснованной и экспериментально проверенной информации;
- снизить потери хозяйственного комплекса республики, вызываемые авариями и катастрофами, за счет повышения эффективности превентивных мер и оперативности действий по ликвидации последствий ЧС;

обеспечить государственную поддержку существующих и формирующихся белорусских научных школ по проблематике защиты от ЧС.

**Bariev E.R. The Results and Prospects for Further Development of the System of Means for Prevention and Liquidation of Emergency Situations in the Republic of Belarus**

At present time the maintenance of safety requires not only creation of bodies, ways and means for the defense from various kinds of danger, but also creations of social and economic mechanism. From this point of view the problem of safety maintenance of the society should be considered in close connection with the problem of its move to stable development.

УДК 621.01

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ОПАСНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В. В. ГРИБ, доктор технических наук, профессор

*Московский автомобильно-дорожный институт (государственный технический университет), г. Москва, Россия*

В статье рассмотрен общий методологический подход к моделированию изменения технического состояния сложных механических систем в процессе изнашивания. Комплекс протекающих в системе деграционных процессов рассматривается во взаимосвязи и взаимовлиянии. Суть метода заключается в дискретизации системы в пространстве и времени и исследовании ее состояния через задаваемый достаточно малый отрезок времени (шаг наработки). Решение задачи реализуется с помощью компьютерных технологий. Метод позволяет прогнозировать техническое состояние объекта на любой момент эксплуатации, сокращать количество экспериментальных методов контроля, прогнозировать остаточный ресурс.

**Ключевые слова:** механическая система, техническое состояние, изнашивание, динамика, прочность, диагностика, остаточный ресурс.

**Введение.** Актуальность проблемы прогнозирования изменения технического состояния механических систем во времени обусловлена катастрофическим старением основных фондов во всех без исключения сферах производства и необходимостью обеспечения безопасности многочисленного парка машинного оборудования, отработавшего нормативный ресурс. Это в первую очередь относится к потенциально опасным видам производства и техники: энергетическому оборудованию, оборудованию нефтегазохимических производств, транспорту, грузоподъемному оборудованию [1].

На протяжении жизненного цикла машины ее элементы подвергаются деграционным процессам, к которым относятся изнашивание деталей и узлов трения, старение и коррозия конструкционных материалов и др. Эти процессы влияют на техническое состояние машины и ее выходные, определяющие служебные свойства, параметры.

Техническое состояние многочисленных видов техники различается в зависимости от их конструкции и функционального назначения, однако общими показателями для большинства машинного оборудования являются: геометрические параметры деталей и сопряжений, кинематические и динамические закономерности движения, напряженно-деформированное и температурное состояние элементов, свой-

ства материалов, изменяющиеся в процессе изнашивания, коррозии и старения под воздействием меняющихся во времени режимов и условий эксплуатации (входных параметров).

Сложность описания поведения механической системы обусловлена динамичностью входных и выходных параметров, изменением ее структуры и свойств во времени, множеством одновременно протекающих и взаимосвязанных процессов: изменением геометрического состояния, кинематических, механических, теплофизических параметров и др., их распределенностью в пространстве и стохастичностью. По этим причинам экспериментальное определение и отслеживание во времени параметров технического состояния механических систем затруднительно, ограничено количеством измеряемых параметров, усложнением конструкции и наличием разнообразных датчиков и сложной измерительной аппаратуры.

Методы моделирования механических систем оказывают существенную помощь в оценке их текущего состояния и остаточного ресурса, сокращая время и средства для проведения этих работ. Эти методы должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать адекватность поведения механической системы и ее модели;
- учитывать множество взаимосвязанных протекающих в системе процессов, т. е. рассматривать поведение механической системы в целом, а не отдельных ее составляющих;
- учитывать различные режимы и условия эксплуатации и изменение их во времени;
- учитывать вероятностный характер параметров технического состояния и их изменения во времени.

**Математическое описание сложного объекта** принято представлять в виде обобщенного вектора в многомерном пространстве параметров

$$X^T = \{X_1, X_2, \dots, X_J\}, \quad (1)$$

где  $J = 1 \dots N$  – множество параметров элементарных процессов, координат точек, совокупностью которых описывается состояние объекта.

Достижение этим вектором границы указанного пространства означает переход системы из работоспособного состояния в неработоспособное, т.е. отказ.

Изменение технического состояния описывается интегральным выражением

$$X = X(t_0) + \int_{t_0}^{t_k} \lambda(X, q) dt, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – обобщенная скорость изменения технического состояния, зависящая от текущего состояния и режима работы механической системы  $q$ .

Общий прием решения этого уравнения требует обращения к численным методам и заключается в дискретизации системы во времени и пространстве и рассмотрении ряда последовательных состояний системы через задаваемый достаточно малый промежуток времени  $\delta t$  (шаг наработки). Скорость изменения состояния сис-

темы на этом отрезке времени принимается зависящей от свойств системы, режимных параметров и состояния системы в начале отрезка времени.

Соответственно уравнение (2) преобразуется в разностное выражение

$$X(t_{i+1}) = X(t_i) + \Delta X_i = X(t_i) + \lambda(t_i) \cdot \delta t \quad (3)$$

и приводится к операторному виду

$$X(t_{i+1}) = AX(t_i) \quad (4)$$

Оператор  $A$  перехода от  $i$  – го к  $i+1$  – му состоянию не содержит производных по времени, что позволяет рассматривать его как суперпозицию операторов элементарных процессов на отрезке времени  $\delta t$ . В конце каждого отрезка времени определяются скорости элементарных процессов для расчета параметров последующего временного интервала. Накапливаемая в результате линеаризации оператора на малом отрезке времени ошибка преодолевается уменьшением шага и применением метода Рунге-Кутты.

**Разработка операторов элементарных процессов.** Формоизменение деталей при изнашивании может быть представлено в виде векторного поля пространства изнашиваемого материала (поля износа), в каждой точке которого определена векторная величина – скорость изнашивания  $\gamma = d\rho / dt$ , где  $\rho$  - радиус-вектор точки. Вектор  $\gamma$  направлен по нормали к поверхности трения в глубь изнашиваемого материала, а его величина зависит от условий в данной точке (удельной нагрузки, температуры, скорости, режима трения) на поверхности трения и свойств материалов.  $\gamma = J \cdot l / \delta x$ , где  $J$ - интенсивность изнашивания материала (отношение толщины изношенного слоя к пройденному пути трения),  $l$  – путь трения, который проходит точка контакта за время  $\delta x$ . Зависимости  $J$  от определяющих изнашивание факторов находятся экспериментальным путем на лабораторных машинах трения.

Каждая взятая на поверхности трения точка совершает в поле износа движение вдоль векторной линии

$$\rho(t_k) = \rho(t_0) + \int_{t_0}^{t_k} \gamma \cdot dt \quad (5)$$

Аналогично (3), это уравнение может быть представлено в разностной форме

$$\rho_{i+1} = \rho_i + \gamma(x_i) \delta t \quad (6)$$

Процесс формоизменения описывается движением множества точек, лежащих на поверхности трения. Разработка операторов перехода от  $i$ -го к  $i+1$ -му состоянию в процессе изнашивания рассмотрена в литературе [2].

Изменение динамики и нагруженности механической системы в зависимости от изнашивания трибосопряжений. Задача динамики состоит в определении движения механической системы под действием заданных сил. Наличие зазоров в трибосопряжениях, появляющихся в результате износа, приводит к появлению дополни-

тельных степеней свободы и изменению динамики и нагруженности механической системы. Математически динамика такого механизма описывается системой уравнений Лагранжа с дополнительными неопределенными множителями

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + \sum_{a=1}^s \lambda_a \frac{\partial f_a}{\partial q_j} \quad (7)$$

где:  $T$  – кинетическая энергия механической системы,  $Q_j$  – обобщенная сила,  $q_j$  – обобщенная координата,  $j = 1, r$  – число обобщенных координат ( $r = k+s$ ),  $f_a$  – условия связи (ограничения, не позволяющие точкам механической системы занимать произвольное положение в пространстве);  $a = \bar{1}, \bar{S}$  – число ограничений;  $\lambda_a$  – неопределенные множители Лагранжа.

Численное решение уравнений Лагранжа осуществляется методом последовательного рассмотрения состояния механической системы через малое изменение обобщенной координаты. В результате решения задачи в конечном итоге определяются координаты, скорости и ускорения точек звеньев механизма и усилия в кинематических парах [3].

Движение деталей трибосопряжений с зазорами приводит к ударам и вибрации, что может быть зафиксировано вибродиагностической аппаратурой и анализом спектральных характеристик. И, наоборот, по известным спектральным характеристикам с помощью имитационной модели поведения механической системы может быть определено ее техническое состояние. Такая возможность рассмотрена в работах [4, 5].

Изменение напряженно-деформированного и температурного состояния деталей машины. Изменение динамики и нагруженности элементов конструкции вследствие изнашивания трибосопряжений приводит к изменению температурного и напряженного состояния деталей. На каждом шаге наработки такое изменение учитывается решением указанных задач методом конечных элементов. В свою очередь на последующем шаге наработки вносится корректировка на изменение механических (в том числе износостойких свойств материалов) с учетом изменения температуры. Таким образом, разрешается обратная связь между режимными параметрами и скоростью деградиационных процессов.

**Накопление повреждений и усталостная прочность деталей.** При циклической работе в деталях машины накапливаются повреждения. Расчет на прочность таких деталей проводится на основании усталостной теории, в основе которой лежит гипотеза линейного накопления усталостных повреждений, известные параметры кривой усталости материала и циклически меняющихся напряжений. Для кривых усталости, имеющих горизонтальный участок, число циклов до разрушения принимается обеспечивающим весь срок службы машины, и накопления усталостных повреждений не происходит. При амплитуде напряжений, превышающих предел усталости, взаимосвязь между напряжением и числом циклов до разрушения подчиняется зависимости  $\sigma^m N$ , где  $m$  – показатель кривой усталости. При изнашивании трибо-

сопряжений, увеличении ударных нагрузок и амплитуды напряжений происходит более быстрое накопление усталостных повреждений. При этом доля выработанного ресурса равна  $n_i/N_i$ , где  $n_i$ ,  $N_i$  – соответственно число отработанных циклов, приводящих к разрушению при уровне амплитуды напряжений  $\sigma_i$ . С учетом накопления повреждений на предыдущем шаге наработки кривая усталости материала смещается в соответствии с зависимостью [6]

$$\sigma_{-1,i+1} = \sigma_{-1,i} \left[ 1 - \frac{n_i}{N_i} K \left( \frac{\sigma_{A,i}}{\sigma_{-1,i}} - 1 \right) \right] \quad (8)$$

где:  $\sigma_{-1}$ - предел выносливости,  $\sigma_A$ - амплитуда напряжений,  $K$  – коэффициент, учитывающий тип стали,  $i$  – номер шага наработки.

Усталостное разрушение происходит за количество шагов наработки, при котором сумма долей ресурса, выработанных на всех уровнях амплитуды напряжений, достигнет единицы.

Совместное решение задач формоизменения деталей при изнашивании, изменения напряженно-деформированного состояния, динамики механизма с зазорами, позволяет воспроизвести изменение технического состояния механической системы в будущем времени и сделать оценку остаточного ресурса.

**Статистическое моделирование технического состояния и расчет ресурса механических систем.** Процессы изнашивания и изменения технического состояния механической системы являются случайными и зависящими от большого количества случайных факторов. Такие статистически сильно смешанные процессы приводят, как правило, к нормальному закону распределения искомых величин: плотности вероятности параметров технического состояния  $p(x)$  при  $t = \text{const}$  и плотности вероятности ресурса  $p(t)$  при  $x = \text{const}$  [7].

Экспериментальное получение статистических закономерностей – трудоемкая задача, требующая большого количества экспериментов и затраты времени. Компьютерное имитационное моделирование позволяет решить эту задачу расчетным путем. Если известны вероятностные закономерности исходных параметров, характеризующих режим работы, свойства и начальное состояние механической системы, то можно провести серии математических экспериментов над детерминистической моделью изменения технического состояния, каждый из которых соответствует случайному набору исходных параметров (метод Монте-Карло). По результатам таких экспериментов по аналогии с натурными испытаниями находят статистические закономерности искомых параметров. Такие эксперименты позволяют производить расчет вероятности безотказной работы механической системы и ее ресурс. Вероятность безотказной работы определяется как вероятность невыхода параметров технического состояния  $X$  за область допустимых работоспособных состояний  $\Omega$  на отрезке времени  $[t_0, t]$ .

$$P(t) = P\{x(\tau) \in \Omega, t \in [t_0, t]\} \quad (9)$$

В качестве основного показателя остаточного ресурса определяется гамма – процентный ресурс, задаваемый двумя численными значениями: наработкой и выраженной в процентах вероятностью того, что в течение этой наработки предельное состояние не будет достигнуто. На рис. 1 схематично показано изменение параметра технического состояния и определение остаточного ресурса при достижении этим параметром предельного значения.

Критерий предельного состояния (совокупность признаков, характеризующих неработоспособное состояние) может быть описан одним параметром (например, предельным зазором, пределом прочности и др.).

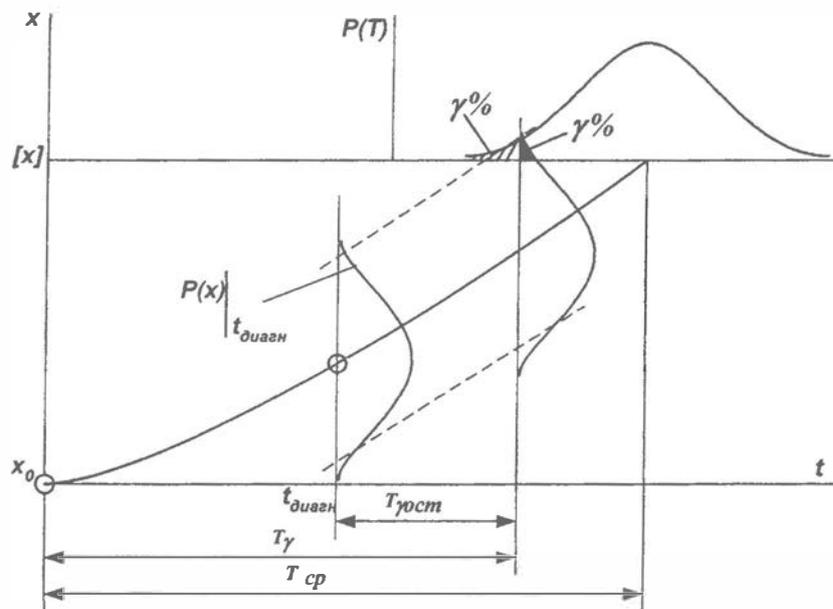


Рисунок 1 - Схема оценки остаточного ресурса по данным технического диагностирования

Наиболее распространенным методом прогнозирования является экстраполяционный метод, при котором рассматриваемый процесс  $x(t)$  представляется в виде детерминированной и случайной составляющих.

$$x(t) = y(t) + z(t) \quad (10)$$

Предполагается, что детерминированная составляющая  $y(t)$  представляет гладкую функцию времени, а случайная составляющая  $z(t)$  – случайный процесс с нулевым математическим ожиданием.

**Заключение.** Рассмотренный метод позволяет проводить оценку технического состояния на многокритериальной основе: по износу трибосопряжений, нагруженности деталей, усталостной прочности, по вибродиагностическим параметрам, с учетом взаимосвязи этих характеристик.

Комплексная модель изменения технического состояния механической системы позволяет оценить состояние системы по косвенным показателям, например, по спектральным характеристикам акустических сигналов.

Методология математического моделирования сложных механических систем включает в себя следующие этапы:

- анализ структуры системы (декомпозиция системы на элементы и протекающие в ней элементарные процессы; установление связей между ними);
- математическое описание элементарных процессов; разработка операторов перехода от одного состояния к последующему;
- разработка алгоритма поведения системы (разработка оператора системы в целом, преобразующего входные параметры в выходные и перехода системы от одного состояния к последующему);
- имитационное моделирование функционирования системы (математический эксперимент над абстрактной моделью).

### Обозначения

$X$  – вектор технического состояния объекта,  $X_j$  – вектор элементарного параметра,  $t$  – время,  $\delta t$  – шаг наработки,  $i$  – порядковый номер технического состояния,  $A$  – оператор перехода от  $i$  – го к  $i + 1$  – му состоянию,  $\gamma$  – скорость изнашивания,  $\rho$  – радиус-вектор точки на поверхности трения,  $l$  – путь трения, пройденный за время  $\delta t$ ,  $T$  – кинетическая энергия системы,  $Q_j$  – обобщенная сила,  $q$  – обобщенная координата,  $r$  – количество обобщенных координат,  $s$  – число ограничений,  $\lambda_a$  – неопределенный множитель Лагранжа,  $\sigma_{.1}$  – предел выносливости,  $\sigma_A$  – амплитуда напряжений,  $p(X)$  – плотность вероятности параметра технического состояния объекта,  $P(t)$  – вероятность безотказной работы,  $\Omega$  – область работоспособных состояний объекта,  $T_\gamma$  – гамма-процентный ресурс.

### Литература

1. Гриб В.В. Диагностика технического состояния оборудования нефтегазохимических производств. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2002 – с.268.
2. Гриб В.В. Изнашивание твердых тел. //Трение, износ, смазка (трибология и триботехника). Под ред. А.В.Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003.
3. Луканин В.Н., Гриб В.В., Сафонов Б.П., Жуков Р.В. Динамический анализ стержневых механизмов с зазорами. – М.:МАДИ (ГТУ), 2000, 36 с.
4. Гриб В.В., Жуков Р.В. Анализ виброакустических характеристик поршневого компрессора.// Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2001, №1
5. Гриб В.В., Жуков Р.В. Особенности спектральной вибродиагностики поршневых компрессорных машин. // Компрессорная техника и пневматика, 2001, №8, С. 30-32.
6. Гриб В.В., Петрова И.М. Накопление усталостных повреждений и оценка остаточного ресурса деталей с учетом изнашивания трибосопряжений в машине. – М.: Вестник МАДИ (ГТУ), 2005, вып. 4, с.22-24.
7. Гриб В.В. Диагностика технического состояния и прогнозирование остаточного ресурса магистральных нефтегазопроводов. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2004, 64 с.

**Grib V. Methodological approach to modeling behavior changing and estimation of endurance industrial haggard objects**

This article discusses general methodological approach to modeling behavior changing and estimation of endurance mechanical systems during wear.

УДК 519.673

## РОЛЬ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

С.В. ШИЛЬКО, Ю.Г. КУЗЬМИНСКИЙ

*Институт механики металлополимерных систем НАН Беларуси им. В.А. Белого,  
г. Гомель, Беларусь*

Показана роль диагностического мониторинга технического состояния сложных технологических систем в обеспечении безопасного функционирования и эффективного преодоления чрезвычайных ситуаций. В качестве примера рассматриваются проблемы мониторинга, существующие способы получения первичной информации и возможности автоматизированных систем мониторинга магистральных нефтепроводов.

**Ключевые слова:** безопасность, мониторинг, техническое состояние, магистральные нефтепроводы

**Введение.** В настоящее время мониторинг сложных технологических систем, к которым относятся магистральные нефтепроводы, является важным средством обеспечения их эксплуатационной надежности и снижения потерь вследствие нештатных ситуаций.

Физический износ основного оборудования, вплоть до исчерпания ресурса, и значительное повышение требований к экологической безопасности – характерные особенности условий работы трубопроводного транспорта нефти на постсоветском пространстве (рис. 1).

Стала очевидной необходимость совершенствования системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в отрасли, включая:

- внедрение систем мониторинга технического состояния нефтепроводов и объектов инфраструктуры;
- совершенствование технологий планирования ремонта и предотвращения отказов нефтепроводов на основе анализа технического состояния; степени опасности выявляемых дефектов; их ранжирования и устранения, в первую очередь, наиболее опасных;
- разработку информационных технологий анализа технического состояния на основе сопоставления данных об отказах, авариях и ситуационных изменениях на трассе трубопровода.

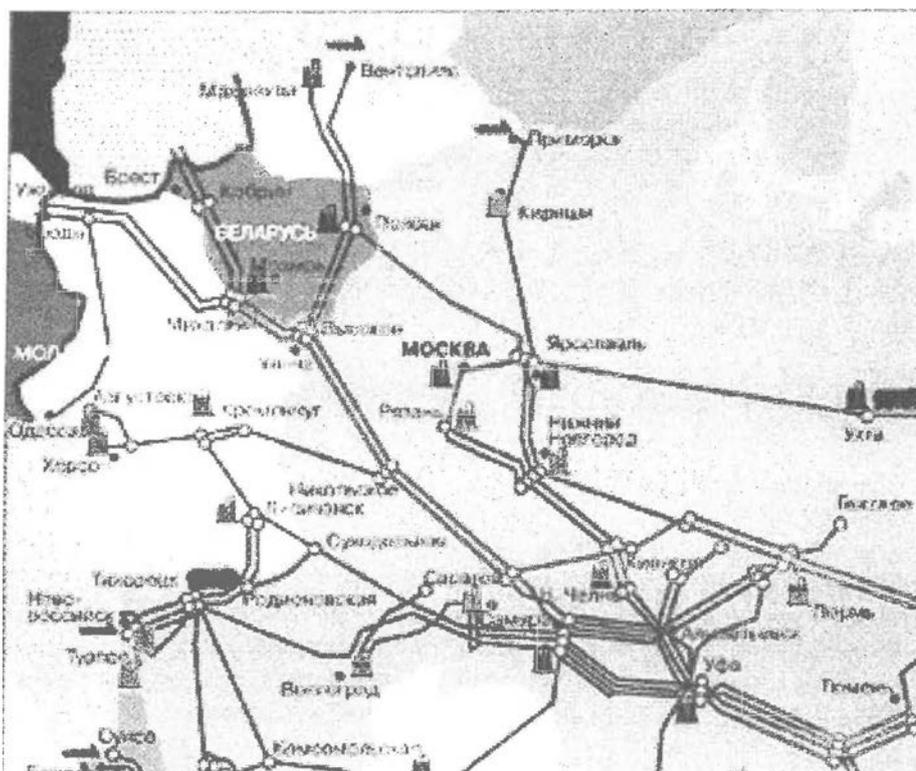


Рисунок 1 - Схема нефтепроводов европейской части ОАО «Транснефть»

**1. Проблемы мониторинга магистральных нефтепроводов.** Подчеркнем, что предупреждение и ликвидация аварий на магистральных нефтепроводах - это, прежде всего, создание системы предупреждения и быстрого реагирования на возникшие чрезвычайные ситуации. Магистральные нефтепроводы имеют характерные признаки объекта, подлежащего непрерывному контролю [1]:

- разрушение конструкции может приводить к значительным материальным и экологическим потерям (обусловлено протяженностью трубопровода, высокой мощностью перекачивающих станций, большими объемами перекачки, значительным давлением нефти);
- доступ для проведения периодического контроля отсутствует или затруднен (причиной является заглубление трубопровода);
- периодическое диагностирование невозможно или связано с большой трудоемкостью подготовительных работ и контроля (существующее оборудование для сканирования является уникальным и дорогостоящим);
- конструкция обладает низкой эксплуатационной живучестью (на большей части трубопровода отсутствуют дублирующие ветви - лупинги).

Надежность магистральных нефтепроводов зависит от многих факторов, связанных со свойствами трубных сталей, состоянием и степенью защиты поверхности труб, напряженно-деформированным состоянием, внешних условий и режимов эксплуатации. Только четкое знание состава и текущего состояния оборудования позволяет организовать правильное планирование ремонтных и профилактических работ и

в результате снизить потери от аварийных ситуаций, разрушения оборудования, выплаты неустоек потребителям и компенсации ущерба окружающей среде.

Попытки осуществлять паспортизацию сложных технологических систем традиционными средствами, когда паспорта объектов создаются в виде книг, ограничены рамками стандартного бланка, не охватывающего всего многообразия структур и взаимосвязей производственных подразделений, технологических установок, сетей различного назначения и т.д.

Отсутствует также возможность выполнения выборки или группировки объектов по каким-либо признакам. Практически неразрешима задача сбора, накопления и анализа объективных результатов эксплуатации оборудования с приемлемой периодичностью (сутки, декада) традиционными способами. Например, быстро отыскать крановую площадку на карте или схеме может лишь эксплуатационник, точно знающий ее расположение.

Анализ предметной области показал, что мы имеем дело с технологической системой, где сложность и многоплановость топологических связей сочетаются с неопределенностью в терминологии и в структурном описании объектов и оборудования, когда даже в наименованиях основных объектов имеются разночтения.

Следовательно, в целях преодоления нештатных ситуаций требуется создать инструмент, позволяющий описывать объекты, классификация и структура которых заранее неизвестна. Для работы с такими данными требуется создать специальный метод выборки и группировки объектов, обеспечить включение в систему картографической и схематической информации, организовать взаимно однозначную связь между объектами на карте (схеме) и в базе данных.

**2. Источники первичной информации, модели процессов.** Отказы и аварийные ситуации при эксплуатации нефтепроводов и сопутствующего оборудования обусловлены, с одной стороны, снижением прочностных характеристик материалов и изнашиванием узлов трения насосных агрегатов и запорной арматуры, с другой – возникновением повышенных нагрузок из-за гидродинамических явлений, характерных для переходных режимов. В связи с большими сроками службы трубопроводов (не менее 30 лет) и длительным воздействием эксплуатационных и природно-климатических факторов развивается коррозия стенок. Это вызывает рост усталостных трещин и снижает эксплуатационную живучесть, приводя в конечном счете к разрушению. Следовательно, важна роль источников первичной информации о повреждении.

К ним относятся интегральные, прежде всего, акустоэмиссионные средства неразрушающего контроля, а также локальные методы, применяемые в зонах интенсивного износа и высокой вероятности появления усталостных трещин, – ультразвуковая толщинометрия и дефектометрия, а также тензометрия, которая служит для непрерывного измерения текущих деформаций и оценки напряжений в конструкции и сравнения их с нормативными значениями.

Для измерения отклонения трубопровода вследствие смещения опор, проседания фундамента под резервуаром или грунта на трассе трубопровода от их про-

ектного положения используются датчики линейных перемещений индуктивного или иного типа. Вибродиагностический метод используется для измерения динамических нагрузок в оборудовании насосных станций, отводах трубопроводов обвязки. Для мониторинга трубопроводов применяются также датчики измерения скорости коррозии металла, действующие на принципе изменения омического сопротивления активного элемента и датчики электрохимического типа.

Прогнозирование аварийных ситуаций подразумевает также этап расчета параметров переходных процессов, оценки напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса трубопровода. С этой целью экспериментальные методы дополняются анализом параметров гидродинамики в реальном масштабе времени, кинетики коррозионных и усталостных повреждений, определяющих фактические деформационно-прочностные свойства материала труб.

**3. Возможности компьютерной системы мониторинга магистральных нефтепроводов.** Наряду с источниками первичной информации и математическими моделями процессов транспорта нефти, особую важность приобретают компьютерные методы паспортизации и контроля на основе геоинформационных технологий (рис. 2), позволяющие создать адаптивную (с обратной связью) систему управления «средства мониторинга – компьютерная модель нефтепровода – диспетчер – исполнительные устройства» [2].

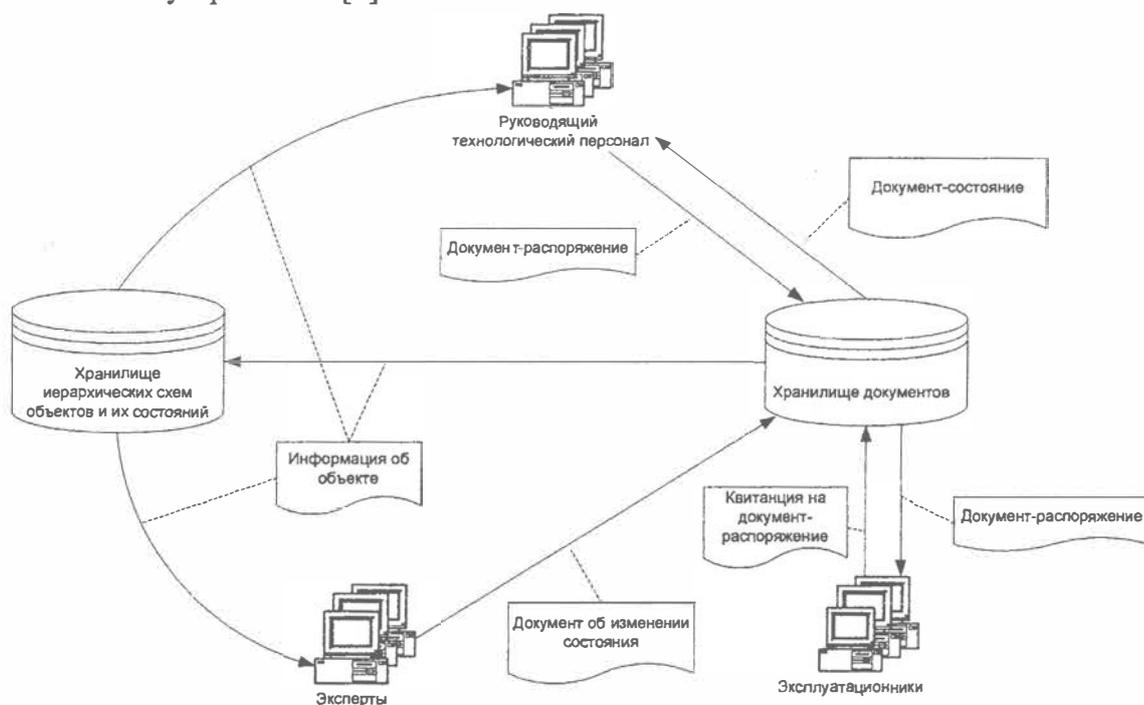


Рисунок 2 - Функциональное представление системы мониторинга

В частности, для организации информации, включая сбор, обработку и хранение, целесообразны следующие действия.

Реализуется поисковая организация базы объектов, позволяющая отказаться от применения единой системы классификации и кодирования. Каждый вид (класс) объектов может иметь собственный набор классификационных признаков и пара-

метров. Каждый объект получает свой идентификатор, обеспечивающий привязку к нему любых таблиц данных и связь с графическими объектами. Из таблиц данных исключаются семантически ориентированные наименования полей. Все показатели кодируются и расшифровываются через справочник. Система становится информационно открытой и позволяет создавать и вводить в список новые объекты со своими наборами параметров, корректировать состав параметров и вводить новые наборы параметров без вмешательства в программное обеспечение и структуру баз данных.

**Выводы.** Диагностический мониторинг технического состояния сложных технологических систем играет ключевую роль в обеспечении безопасного функционирования и эффективного преодоления чрезвычайных ситуаций. Интеграция современных способов получения первичной информации, деформационно-прочностного анализа, моделей гидродинамических процессов и возможностей автоматизированных систем организации информации позволяет реализовать наиболее эффективные и безопасные режимы эксплуатации магистральных нефтепроводов.

#### Литература

1. Гумеров А.Г., Гумеров Р.С., Гумеров К.М. Безопасность длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов. – М.: Недра-Бизнесцентр. – 2003. – 310 с.
2. Кузьминский Ю.Г., Шилько С.В., Вьюн В.И.. Идентификация модели переходных процессов течения нефти в магистральных трубопроводах (реальный масштаб времени) // Материалы, технологии, инструмент.– 2006.– Т. 11, № 1.– С. 15–21.

**Shilko S. V., Kusminskiy U.G. The role of monitoring of technical condition of magistral oil pumping ways in the system of prevention and liquidation of emergency situations**

For the prediction and overcome incidents which is caused by oil transportation, the monitoring of pipe's state has been analyzing and adaptive control system «monitoring–computer model–operator–device» based on primary information sources, stress-strained and hydrodynamics modeling as well as automatic information systems has been discussed.

УДК 629.73:614.8

## **АВИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В СИСТЕМЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Б.И. БЕЛЯЕВ<sup>1</sup>, доктор физико-математических наук, профессор,  
В.Л. ПОТЕХА<sup>2</sup>, доктор технических наук РФ и РБ,  
В.А. СОСЕНКО<sup>1</sup>, кандидат физико-математических наук,  
С.А. МАРЧЕНКО<sup>2</sup>,  
И.П. АНИСЬКОВ<sup>2</sup>, кандидат экономических наук

<sup>1</sup> - НИИ прикладных физических проблем им. А. Н. Севченко БГУ, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> - Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь

Рассматриваются результаты работы по созданию системы авиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций, выполняемой в рамках государственной научно-технической программы «Защита от чрезвычайных ситуаций».

**Ключевые слова:** авиационный мониторинг, чрезвычайные ситуации, государственная научно-техническая программа.

**Введение.** Чрезвычайные ситуации (ЧС) стали неотъемлемой частью нашего времени. Все более увеличивающееся число ЧС вынуждает практически все государства мира прикладывать значительные усилия на их предупреждение и ликвидацию. При этом число погибших и размеры экономического ущерба от природных и техногенных катастроф имеют тенденцию к постоянному и заметному увеличению.

Как следствие, все большее внимание ученых и специалистов сосредотачивается на разработке систем мониторинга ЧС, чтобы в максимально возможной степени минимизировать тот ущерб, который они потенциально могут нанести экономической и социальной сферам стран. В Республике Беларусь в настоящее время также созданы и в разных ведомствах функционируют технические средства мониторинга природной среды.

В Госкомгидромете действует система наземного экологического мониторинга и система радиационного мониторинга территории Республики Беларусь. Осуществляется прием информации с метеорологического спутника NOAA (США) с разрешением на местности 1x1 км собственной станцией приема спутниковых данных. Аналогичные станции для приема информации со спутников есть в НИП «Геоинформационные системы» НИО «Кибернетика» и Комлесхозе. Еще одну систему авиационной съемки территорий имеет Белорусское предприятие сельскохозяйст-

венных аэрофотогеодезических изысканий (БелПСХАГИ) Госкомитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии. С самолета АН-2 ГП «Беллесавиа» с помощью аэрофотосъемочной аппаратуры RC-30 Швейцарской фирмы «Leica» БелПСХАГИ проводит аэрофотосъемки в интересах Комитета по земельным ресурсам для определения границ землевладения и землепользования.

Для съемок лесных территорий с борта вертолета МИ-2 НИИ ПФП БГУ разработал и создал для Комитета лесного хозяйства авиационный аппаратно-программный комплекс оперативного контроля состояния лесов «ВСК-2».

Однако все эти системы не позволяют оперативно оценивать ситуацию при ЧС и доводить ее до командных и исполнительных инстанций в реальном масштабе времени.

В рамках государственной научно-технической программы «Защита от чрезвычайных ситуаций» Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем Белорусского государственного университета совместно с учреждением образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь выполняет проект, в котором планируется совместно с Белорусской космической системой дистанционного зондирования Земли (БКС ДЗЗ) создать единую систему многоуровневого (космического и авиационного) мониторинга зон чрезвычайных ситуаций (ЧС) и обеспечить работу по сбору и передаче соответствующей информации. Проект включает в себя создание авиационных аппаратно-программных средств регистрации спектрозональных и тепловых изображений, разработку методов контроля за обстановкой в зоне ЧС, методов сжатия и хранения данных для решения следующих задач:

- оперативное построение картосхем тепловых полей лесных и торфяных пожаров, а также пожаров других объектов в условиях сильной задымленности, с координатной привязкой очагов горения, определение масштабов пожаров и последствий от них;

- определение масштабов утечек из нефте- и продуктопроводов, оценка их последствий;

- построение картосхем повреждений от ураганов;

- построение картосхем затопленных территорий и оценка последствий от наводнений.

**Основная часть.** В рамках проекта будет создана авиационная система АСК-ЧС, методы ее калибровки, методики измерения параметров различных объектов и сред, программы управления работой системы и тематической обработки данных.

Наиболее оптимальный набор аппаратуры аппаратно-программной авиационной системы для дистанционного контроля районов ЧС и решения вышеперечисленных задач включает в себя блок оптических датчиков и блок накопления информации. В состав блока оптических датчиков входят следующие модули (рис. 1):

- модуль зональной съемки (рис. 2), предназначенный для получения псевдоцветного изображения одновременно в трех каналах с возможностью обработки

данных и получения синтезированных изображений в диапазоне 0,4-0,7 мкм с числом элементов изображений 3456×2304;

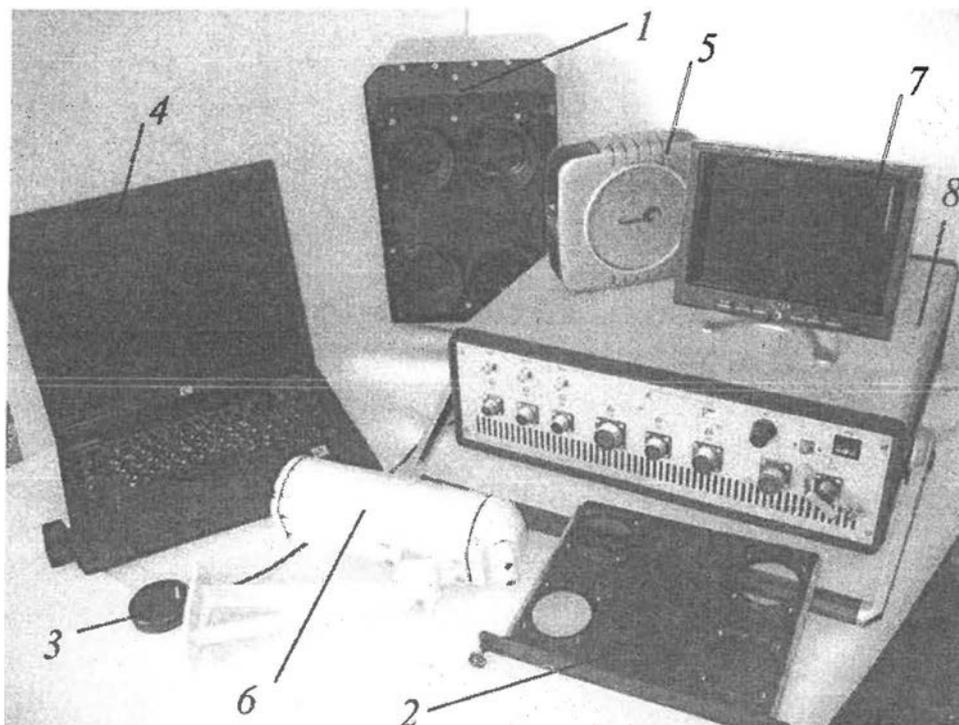


Рисунок 1 - Модули АСК-ЧС

1 – модуль зональной съемки (МЗС); 2 – сменная кассета со светофильтрами МЗС; 3 – модуль координатной привязки; 4 – бортовой компьютер; 5 – блок накопления видеоданных; 6 – модуль телевизионной съемки; 7 – монитор пилота; 8 – модуль питания и коммутации

– модуль обзорной съемки, предназначенный для регистрации цветных изображений под большим углом зрения;

– модуль инфракрасной съемки, предназначенный для регистрации тепловых полей в ИК области спектра 8-14 мкм (320×256 элементов изображения) с целью определения очагов горения в условиях сильной задымленности и построения картосхем;

– модуль координатной привязки в составе GPS-приемника для точного определения положения носителя в пространстве и координатной привязки регистрируемой информации.

Блок накопления информации включает в себя:

– бортовой компьютер, обеспечивающий: выдачу команд управления режимами работы блока оптических датчиков (БОД); прием служебной информации о режимах работы БОД; прием, запись и хранение спектрозональных изображений от МЗС, их обработку и выдачу синтезированных тематических изображений на видеомонитор; прием, запись и хранение ИК изображений от МИС и выдачу изображений на видеомонитор; прием, запись и хранение обзорной видеоинформации и выдачу ее на видеомонитор; прием, запись и хранение данных координатной привяз-

ки зоны съемки и выдачу этих данных на монитор оператора; прием и выдачу видеоизображения трассы съемки на монитор оператора; тестирование (контроль состояния) модулей БОД;

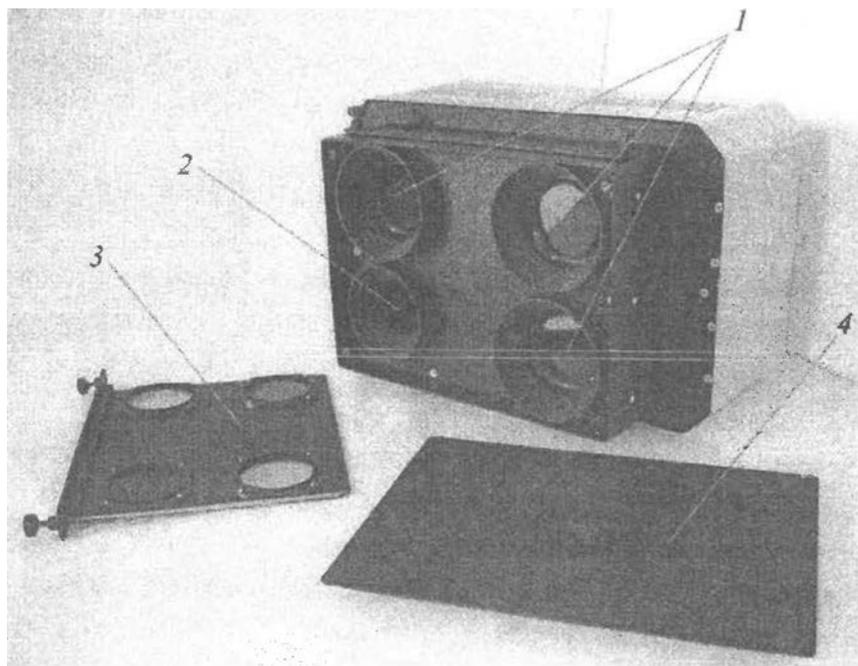


Рисунок 2 - МЗС, вид со стороны объектива  
1 – объективы МСС; 2 – объективы МОС;  
3 – сменные кассеты со светофильтрами, 4 - крышка

бортовой накопитель видеоданных, предназначенный для накопления данных съемки объемом до 200 Гбайт;

– модуль телевизионной съемки с монитором пилота, предназначенные для получения видеоизображений зоны съемки и трассы полета с целью точного позиционирования самолета над объектом съемки;

– модуль питания и коммутации, предназначенный для питания всех модулей и блоков АСК-ЧС от бортовой сети носителя и коммутации составных частей системы;

– специальное программное обеспечение, включающее в себя алгоритмы управления системой и ее тестирования; а также алгоритмы предварительной обработки, сжатия и хранения данных.

Авиационная система, предназначенная для реализации технологий дистанционной диагностики оптических излучений при контроле за обстановкой в зоне ЧС, определении масштабов и оценки последствий от чрезвычайных ситуаций различного уровня, будет иметь следующие характеристики:

точность определения географических координат объекта с помощью системы GPS-11-30 м (в дифференциальном режиме - 2-3 м);

точность определения площади ЧС в видимом диапазоне  $\pm 2\%$ , в ИК -  $\pm 5\%$ ;

масса блоков оптических датчиков - не более 10 кг, блока накопления информации - не более 10 кг.

Решение задачи детектирования действующего пожара будет осуществляться с помощью камеры теплового РЖ диапазона, чувствительной в области 8-14 мкм. В этой области спектра лежат окна прозрачности атмосферы (в том числе прозрачен и дым от пожара), что позволяет в пределах прямой видимости регистрировать ИК излучение пламени как верховых, так и низовых (сквозь несомкнутости полога леса) пожаров. По зарегистрированному излучению рассчитывается поле яркостной температуры и строятся алгоритмы (пороговые по температуре) классификации каждого пикселя изображения. Точность определения площади пожара и минимальный по площади обнаруживаемый пожар определяются пространственным разрешением ИК-камеры и высотой съемки и составляют с высоты 1500 м от нескольких до десятков квадратных метров.

**Заключение.** Авиационная система мониторинга ЧС и их последствий может эффективно использоваться для решения задач предупреждения и ликвидации ЧС. Решение других задач (обнаружение утечек из нефтепроводов, ветровалов, наводнений и пр.) основано на использовании различных соотношений величин отраженного излучения разных объектов (нефть, растительность, вода) в трех специально выбранных спектральных каналах в видимой и ближней ИК области спектра. Применение спектральных фильтров и линейной комбинации сигналов нескольких каналов позволяет получать отражательные характеристики объекта (изображения) в характерных зонах спектра, в том числе и в зонах, соответствующих зонам аппаратуры БелКА. Полученные зональные изображения дают возможность проводить идентификацию различных поверхностей (нефть, вода, растительность и др.) и тематическую классификацию изображений.

Испытания авиационной системы мониторинга АСК-ЧС будут проводиться на воздушных судах авиационного поисково-спасательного звена Гомельского инженерного института МЧС Республики Беларусь в четвертом квартале 2006 года. Срок ввода системы в эксплуатацию – 2-е полугодие 2007 года.

**Belyaev B.I., Potekha V.L., Sosenko V.A., Marchenko C.A., Aniskov I.P. Air monitoring in the System of Prevention and Liquidation of Emergency.**

The State Research programm "Emergency Defense" provides working out the system of air monitoring in emergencies. The results of this work are analyzed in the article.

УДК 535.16:534.341

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ ПРИ ФОТОТЕРМИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

<sup>1</sup>П.В. АСТАХОВ, кандидат физико-математических наук, доцент

<sup>2</sup>Г.С. МИТЮРИЧ, доктор физико-математических наук, профессор

<sup>1</sup>Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, г. Гомель, Беларусь

Работа посвящена исследованию термофизических свойств пространственно неоднородных сред методом фотодефлекционной спектроскопии с возбуждением образца лазерным бесселевым пучком.

**Ключевые слова:** фототермическая спектроскопия, неразрушающий контроль, техническая диагностика, бесселев световой пучок.

Рассмотрим возможность применения лазерных бесселевых пучков при фототермическом зондировании неоднородных образцов. В общем случае многомодовый бесселев пучок лазерного света может быть описан как линейная комбинация частных решений уравнения Гельмгольца. Бесселевы световые пучки начали изучаться сравнительно недавно [1, 2], что в основном было связано с бездифракционностью их распространения. Последующие исследования проведены для ряда нелинейных эффектов, таких как частотное и параметрическое преобразования, самовоздействие [3], где выяснены преимущества и указаны перспективы применения бесселевых пучков в нелинейной оптике. Привлекают внимание исследователей вопросы взаимодействия бездифракционных пучков с различными средами. В частности, представляет интерес выяснение особенностей лазерной генерации звука бесселевыми пучками для целей ультразвукового неразрушающего контроля, эхоскопии, оптоакустики биологических сред. С точки зрения технического применения различных устройств, важным является также наличие эффективных методик формирования бесселевых световых пучков из лазерных мод гауссова типа, основанных на применении конических линз - аксиконов. Существуют и другие способы получения бесселевых пучков, основанные на использовании голограмм или пространственных модуляторов света, подробно описанные в соответствующей литературе (см. список источников в работе [3]).

**Теоретическая модель.** Как известно, процесс формирования фотодефлекционного сигнала в пространственно неоднородных объектах основывается на модулированном поглощении энергии возбуждающего светового излучения. По этой причине, в первую очередь необходимо проанализировать характер диссипации световой энергии исследуемыми образцами. Данный подход позволяет провести детальное рассмотрение вкладов взаимодействующих мод в процесс генерации результирующего сигнала.

Будем предполагать, что падающее излучение имеет пространственный профиль, определяемый комбинацией цилиндрических функций Бесселя. В таком случае интенсивность пучка  $I$  определяется выражением

$$I = \frac{c}{4\pi} I_0 \left( 2|J_0(q\rho)|^2 + \tan^2 \beta |J_1(q\rho)|^2 \right) \exp(-k_z z) f(t), \quad (1)$$

где  $J_0(q\rho)$ ,  $J_1(q\rho)$  - функции Бесселя нулевого и первого порядка соответственно;  $f(t)$  - функция, описывающая временную форму лазерного импульса;  $I_0$  - интенсивность падающего пучка;  $k_z$  - коэффициент поглощения света;  $\beta$  - параметр конусности бесселева светового пучка, равный половине угла при вершине конуса волновых векторов, определяющих спектр пространственных частот пучка.

Для расчета величины поглощенной световой энергии сформулируем и решим граничную задачу электродинамики и определим напряженности электрического и магнитного полей в образце. При решении граничных задач электродинамики и нахождении величины диссипации световой энергии будем исходить из типовых уравнений связи:

$$D = \varepsilon E, \quad B = H \quad (2)$$

где  $\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$  - диэлектрическая проницаемость среды. Используя найденные компоненты напряженностей электрического и магнитного полей, перейдем к вычислению величины поглощенной световой энергии. Для определения диссипации световой энергии в образце воспользуемся законом сохранения энергии:

$$\operatorname{div} S = -Q, \quad (3)$$

где  $Q$  – диссипация энергии,  $S$  – энергетический поток. В случае  $TE$ -поляризации падающего излучения, после соответствующих преобразований запишем следующее соотношение для закона сохранения энергии:

$$Q^{TE} = -\frac{\partial S_z^{TE}}{\partial z}. \quad (4)$$

Дальнейшие расчеты и анализ будем проводить для светового излучения пространственной  $TE$ -моды, поскольку, из-за симметрии задачи относительно оси возбуждающего пучка, для нахождения компонентов вектора плотности потока энер-

гии, достаточно знать только  $z$  и  $\rho$  компоненты соответствующих полей. На основании (4) окончательно для диссипации энергии бesselева светового пучка  $TE$ -поляризации получим:

$$Q^{TE} = \frac{\omega |\varepsilon_1 \varepsilon_2|}{2\pi} \left( \left( \frac{m}{q\rho} \right)^2 J_m^2(q\rho) + J_m'^2(q\rho) \right) e^{-2k_z z}. \quad (5)$$

Диссипация энергии  $Q^{TE}$ , определенная согласно равенству (5), представляет собой плотность мощности тепловых источников в системе уравнений теплопроводности [4]. Для определения величины фотодефлекционного сигнала необходимо на основе системы уравнений теплопроводности совместно с условиями непрерывности температуры и тепловых потоков на границах раздела рассчитать распределение температурных полей в изучаемых средах. Решение данной задачи было выполнено на основе метода спектральных передаточных функций. Далее перейдем непосредственно к определению величины отклонения пробного луча. При исследовании фотодефлекционным методом объектов, значительно поглощающих световое излучение, предпочтительно использование схемы с ортогональной ориентацией считывающего и возбуждающего пучков друг относительно друга [5]. При этом считывающий пучок распространяется в граничащей с исследуемым образцом, прозрачной, обычно газообразной, среде параллельно его поверхности. Фотодефлекционный сигнал в этом случае возникает вследствие теплопередачи через границы образца и окружающих сред. Предполагая, что пробный луч распространяется через прозрачную среду с показателем преломления  $n_0$  параллельно поверхности исследуемого слоя, для трансверсальной составляющей угла отклонения запишем выражение:

$$\Phi^{TE}(\mathbf{r}, z) = \frac{1}{n_0} \frac{dn_0}{dT} \int_y \frac{dT^{TE}(\mathbf{r}, t)}{dx} dy, \quad (6)$$

которое в дальнейшем и будем анализировать. В (6)  $dn_0/dT$  - температурный градиент показателя преломления среды, через которую распространяется пробный луч.

Анализ и обсуждение полученных результатов. Анализ диссипации энергии бesselева светового пучка и сравнение характера поглощения с гауссовым пучком были выполнены с использованием численных методов. Основным инструментом численных расчетов и графического моделирования явился математический пакет Maple 8, обладающий рядом специфических возможностей для решения физических задач [6].

Как и ожидалось, характер диссипативных процессов в образце определяется пространственным распределением энергии возбуждающего пучка. Из расчетов следует, что функции  $Q^{TE}$  для бesselевых пучков нулевой и первой моды осциллируют в противофазе. Данная особенность обусловлена наличием противофазной состав-

ляющей  $S_{\varphi}^{TE}$ . Искажение формы  $Q^{TE}$  для пучков первой и второй мод  $TE$ -поляризации происходит вследствие влияния двух факторов: наличия азимутального потока энергии  $S_{\varphi}^{TE}$  и отсутствия радиального потока  $S_{\rho}^{TE}$ . Совместный вклад указанных факторов обуславливает расширение зоны, прилегающей к оси пучка.

Количественные оценки амплитуды фотодефлекционного сигнала, возникающего в пространственно неоднородном образце, также были проведены численно. Данный подход зачастую является более эффективным, чем аналитический, особенно в случае относительной сложности правых частей уравнений теплопроводности. Температурные распределения, с учетом соответствующих граничных условий, были получены с использованием метода конечных разностей [7]. Вычисления проводились с использованием явной схемы разностной аппроксимации. Для обеспечения сходимости явной схемы было выбрано условие  $\tau \leq 0,5h^2$ , означающее, что шаг по времени выбран достаточно малым по сравнению с шагом по пространственной координате.

Для расчетов были выбраны следующие характерные параметры исследуемого образца и окружающих его сред [8]:  $\rho = 9.232 \text{ г/см}^3$ ,  $\varepsilon' = 6.304$ ,  $\varepsilon'' = 2.56$ ,  $d = 1.0 \text{ см}$ ,  $\beta_2 = 0.0019 \text{ см}^2/\text{с}$ ,  $n_0 = 1.0$ ,  $n_2 = 1.5$ . Рассматривались импульсные источники излучения, использование которых для целей фототермической спектроскопии является предпочтительным по сравнению с непрерывными. Температура среды, окружающей систему, и температура в начальный момент времени приняты равными  $300 \text{ К}$ . Как следует из расчетов, эффективность преобразования энергии светового излучения в тепло для бесселева источника несколько выше, чем при использовании гауссова светового пучка. Имеются дополнительные температурные максимумы, обусловленные радиальным перераспределением световой энергии, описываемым функцией Бесселя нулевого порядка. Однако наиболее четко различие процессов поглощения энергии светового излучения исследуемым образцом проявляется при анализе бесселева пучка второй моды. Согласно принятой модели, диссипация световой энергии бесселева пучка второй моды имеет характерные максимумы, удаленные от геометрического центра пучка. Температурное распределение, возникшее в результате воздействия такого пучка также имеет максимумы, расположение которых повторяет зависимость диссипации энергии в образце. Зависимость температуры от времени в значительной мере определяется частотой амплитудной модуляции возбуждающего излучения. При выбранной для расчетов частоте  $1 \text{ мГц}$  наблюдается достаточно плавное нарастание температуры. При более высоких частотах температура увеличивается скачками, что объясняется термической инерционностью системы.

Генерация фототермического сигнала бесселевым световым пучком в ряде случаев более эффективна по сравнению со световым пучком гауссова профиля ин-

тенсивности. Например, при  $\rho = 110 \text{ нм}$ ,  $z = 0,5 \text{ см}$  модуль фотодефлекционного отклика, возбуждаемого гауссовым пучком составляет лишь 25 % от величины сигнала, генерируемого бесселевым световым пучком (рис. 1).

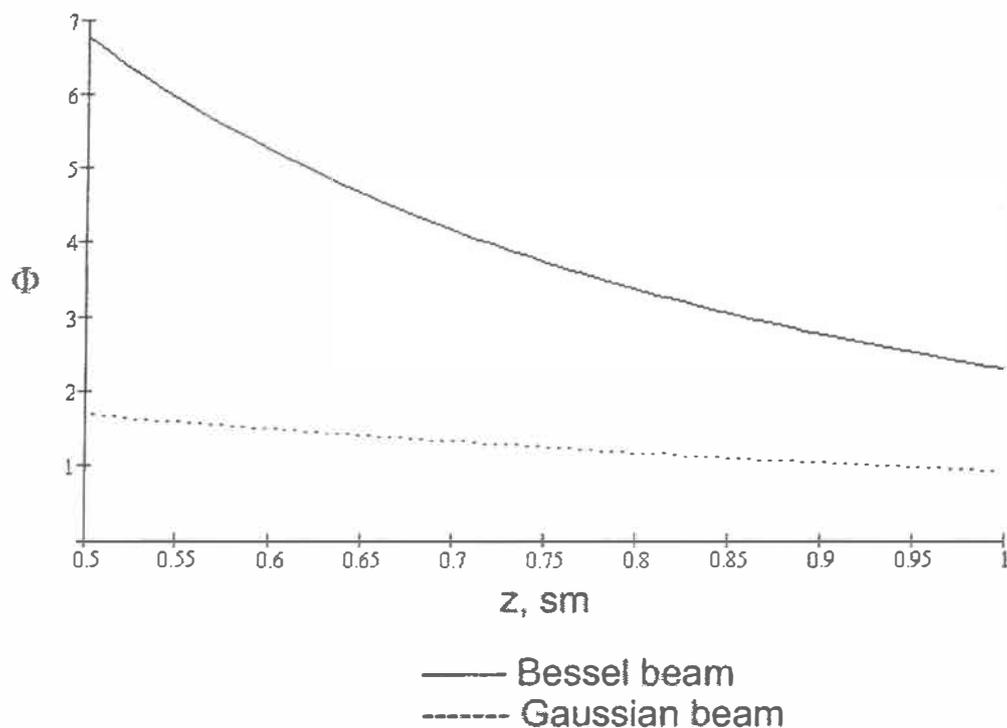


Рисунок 1 - Эффективность фототермического преобразования при возбуждении световыми пучками бесселева и гауссова профиля интенсивности

Зависимость угла отклонения пробного луча от координат  $x$  и  $t$  приведена на рис. 2. Анализ показывает, что величина угла дефлексии в зонах, соответствующих дополнительным температурным максимумам, при использовании бесселевых световых пучков для возбуждения температурных колебаний выше, чем при аналогичных ситуациях, когда используется световое излучение гауссова профиля интенсивности. Эта разница, как видно на рис. 2, наиболее сильно проявляется при использовании бесселевых пучков четной моды ( $m = 2, 4, \dots$ ).

Таким образом, представляется оптимальным проведение фототермических измерений в указанных пространственных областях с возбуждением образца бесселевым пучком с  $m = 2$ . Необходима также оптимизация по частоте амплитудной модуляции возбуждающего излучения, что позволит уменьшить характерный размер неоднородностей, регистрируемых в процессе измерений. Наличие у исследуемого образца неоднородностей структуры, в частности, свойств пространственной дисперсии, также отражается на амплитуде фототермического сигнала. Расчетные величины фотодефлекционного отклика изотропного образца и образца, обладающего гиротропными свойствами, различаются. В обоих случаях для возбуждения сигнала используется бесселев световой пучок с правой циркулярной поляризацией. Сравне-

ние показывает, что величина отклика определяется неоднородностями свойств структуры исследуемого объекта, разница отклонений в обоих случаях может быть четко зафиксирована.

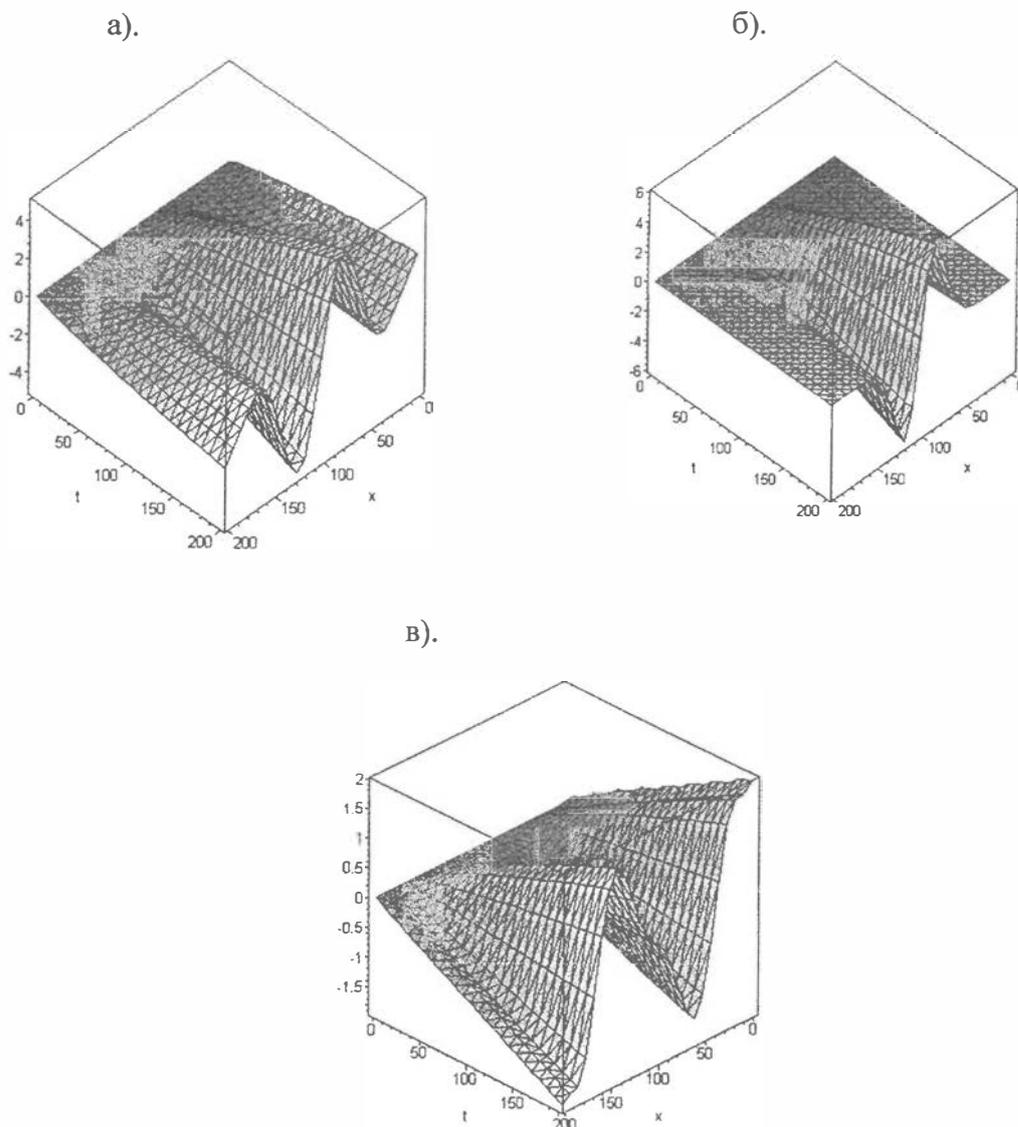


Рисунок 2 - Фотодефлекционный сигнал, возбужденный: а - бесселевым световым пучком,  $m = 0$ ; б - бесселевым световым пучком,  $m = 2$ ; в - гауссовым световым пучком

Рассмотренные выше особенности возникновения фототермического сигнала могут быть использованы для бесконтактного измерения температуры поверхности тел с помощью лазерной фототермической спектроскопии при импульсно-периодическом и непрерывном воздействиях на исследуемый объект.

Результаты позволяют непосредственно связывать амплитуду измеряемых сигналов с величинами коэффициентов объемного и поверхностного поглощения. По экспериментальной зависимости амплитуды фотодефлекционного сигнала у по-

верхности образца можно судить о колебаниях температуры и определить расположение приповерхностного поглощающего слоя относительно границы раздела. Данная информация, в свою очередь, может быть использована для контроля паяных, клеевых и сварных соединений, состояния материала (коррозия, микротрещины) под различными покрытиями, состояние поверхностных слоев самих конструкционных материалов, оценка уровня локальных напряжений и т.п.

В работе [9] показано, что термоупругие деформации и напряжения, возникающие в рассматриваемой системе под действием модулированного лазерного излучения, пропорциональны производным фотодефлекционного сигнала по пространственным координатам. Данный факт позволяет предложить бесконтактный метод определения температурных напряжений на границах раздела исследуемых сред по экспериментально измеренной величине фотодефлекционного сигнала.

**Заключение.** Таким образом, на основе проведенных исследований установлено, что эффективность формирования фотодефлекционного сигнала, возбуждаемого бесселевым световым пучком, в ряде случаев выше, чем при использовании для возбуждения источника с гауссовым распределением интенсивности. Указанный факт открывает дополнительные возможности применения метода фотодефлекционной спектроскопии для исследования упруго-напряженных областей различных материалов и конструкций. В дальнейшем представляется интересным изучить процессы формирования фототермического сигнала в образцах, обладающих более сложным распределением внутренних дефектов.

Работа выполнена при поддержке Государственной комплексной программы научных исследований «Техническая диагностика».

### Литература

1. Durnin J. J. Opt. Soc. Amer. A, 2, 110 (1985); 4, 651 (1987).
2. Turunen J., Vasara A., Friberg A.T. Appl. Optics, 27, 3959 (1988).
3. Белый В.Н., Казак Н.С., Хило Н.А. Кв. электроника, 30, 753 (2000).
4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. - М.: Мир, 1964. - 451 с.
5. Campillo A.J., Petuchowski S.J., Davis C.C. Fabri-Perot photothermal trace detection // Appl. Phys. Lett. - 1982. - Vol. 41. - P. 327-329.
6. Maple 8. Learning Guide. Waterloo Maple Inc, 2003.
7. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики - М.: Наука, 1980. - 482 с.
8. Акустические кристаллы. Справочник. / А.А. Блистанов, В.С. Бондаренко, В.В. Чкалова и др.; Под редакцией М.П. Шаскольской. - М.: Наука, 1982. - 632 с.
9. Астахов П.В., Митюрин Г.С., Рогозенко В.Н. Оптика и спектроскопия, 24, 85 (1998).

**Astakhov P.V., Mityurich G.S. The Use of Bessel Light Beams for the Photothermal Probing of Heterogeneous Media.**

The work is devoted to the research of thermophysical properties spatially heterogeneous media by the photodeflection spectroscopy method with the excitation of the sample by laser Bessel beam.

УДК 614.842.615

**ПОВЫШЕНИЕ ОГNETУШАЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ  
ПОЖАРОТУШЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ВОДОЙ С  
ГИДРАВЛИЧЕСКИМ СПОСОБОМ РАСПЫЛИВАНИЯ ЗА СЧЕТ ВВЕДЕНИЯ  
В ОГNETУШАЩУЮ ЖИДКОСТЬ ДОБАВОК ПОВЕРХНОСТНО-  
АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ**

С.Г. ПЕТУХОВСКИЙ, кандидат химических наук,  
Ю.В. ЗАНЕВСКАЯ, О.Д. НАВРОЦКИЙ, В.К. ЕМЕЛЬЯНОВ

Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

Проведены исследования по установлению закономерностей влияния добавок фторсодержащих и углеводородных поверхностно-активных веществ к воде на размер капель распыленного гидравлическим способом при давлении нагнетания 0,6 МПа огнетушащего состава. Установлено, что для уменьшения диаметра капель факела распыла, образуемого средствами пожаротушения распыленной водой с гидравлическими форсунками при давлении подачи огнетушащей жидкости в форсунке 0,6 МПа, может быть рекомендовано использование огнетушащего состава, представляющего собой 0,02 %-ный водный раствор триэтанолamina лаурилсульфата.

**Ключевые слова:** мелкодисперсная вода, огнетушащий состав, факел распыла, гидравлическая форсунка, распыливание, поверхностно-активные вещества.

**Постановка задачи.** В последнее время широкое применение находят средства пожаротушения мелкодисперсной водой. Высокая эффективность тушения этими средствами достигается, в первую очередь, за счет высокой степени дисперсности получаемого водного аэрозоля. Для диспергирования огнетушащей жидкости в средствах пожаротушения мелкодисперсной водой используются форсунки различных типов распыливания. Как показал анализ литературных источников [1-8], самыми простыми в своем конструктивном исполнении, надежными в работе и экономичными по потреблению энергии являются форсунки гидравлического типа распыливания. Тем не менее, при гидравлическом распыливании получение факела распыла высокой степени дисперсности достигается за счет создания больших значений давления нагнетания (вплоть до 8 МПа), что влечет за собой повышение стоимости средств пожаротушения мелкодисперсной водой. В связи с этим изучение возможностей повышения огнетушащей эффективности средств пожаротушения мелкодис-

персной водой с гидравлическими форсунками при небольших значениях давления нагнетания является перспективным и актуальным научным направлением.

Нами проведены исследования по установлению закономерностей влияния добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) на дисперсность факела распыла, образуемого гидравлическими форсунками при давлении 0,6 МПа.

**Проведение исследований.** Измерение размеров капель распыленной огнетушащей жидкости осуществлялось с помощью метода оптической микроскопии в сочетании с получением изображения капель факела распыла посредством телекамеры и ЭВМ [9].

В качестве рабочих использовались водные растворы углеводородного неионогенного ПАВ - алкилполигликозида с концентрацией от 0,005 до 1,0 %, углеводородного анионоактивного ПАВ - триэтаноламина лаурилсульфата с концентрацией от 0,001 до 1,0 %, фторсодержащего ПАВ – перфторалкиламинооксида с концентрацией от 0,001 до 0,5 %. После измерения поверхностного натяжения всех растворов была сделана выборка значений концентраций, при которых соседние значения поверхностного натяжения отличаются не менее чем на 3,0 мН/м, поскольку при меньших различиях в значениях поверхностного натяжения значения диаметра капель образуемых водных аэрозолей незначительно отличаются друг от друга (таблица).

Таблица - Значения концентрации и поверхностного натяжения исследуемых растворов ПАВ

ПАВ	Концентрация, %	Поверхностное натяжение, мН/м
Алкилполигликозид	0,005	53,4
	0,01	49,5
	0,02	45,3
	0,05	36,7
	0,1	30,3
	0,2	27,7
Триэтаноламина лаурилсульфат	0,001	66,0
	0,005	59,5
	0,01	48,7
	0,02	41,6
	0,05	36,4
	0,1	33,0
	0,2	29,2
Перфторалкиламинооксид	0,001	49,5
	0,002	42,5
	0,005	33,3
	0,02	19,5
	0,2	15,5

Распыливание воды и растворов ПАВ осуществлялось с помощью лабораторной установки, реализующей гидравлический тип распыливания при давлении нагнетания 0,6 МПа. Установка работала следующим образом. Воздух компрессором подавался в ресивер. Ограничение нормативного давления осуществлялось по контрольному манометру, соединенному с предохранительным клапаном. В рабочую емкость заливалась вода или исследуемые растворы ПАВ. Из ресивера воздух по пневмомагистрали через запорный кран подавался в верхнюю часть рабочей камеры. Необходимое экспериментальное давление (0,6 МПа) контролировалось манометром и регулировалось дроссельным краном. Исследуемая жидкость по сифонной трубке подавалась в нагнетательную магистраль, а затем по нагнетательной магистрали - к гидравлической форсунке с диаметром выходного отверстия 1,33 мм, укрепленной на штативе. Распыленная вода попадала в кювету с улавливающей средой, закрепленной на штативе.

В качестве улавливающей среды была взята смесь вазелинового масла и вазелина в соотношении 7:1.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При распыливании воды без добавок средний объемный медианный диаметр каплей составил 406 мкм (поверхностное натяжение воды равно 72,7 мН/м).

Результаты измерений при использовании водных растворов ПАВ представлены на рис. 1-3 в виде графических зависимостей среднего объемного медианного диаметра каплей распыленной жидкости от ее поверхностного натяжения.

Как видно из рис. 1-3, с уменьшением поверхностного натяжения огнетушащего состава средний объемный медианный диаметр каплей уменьшается.

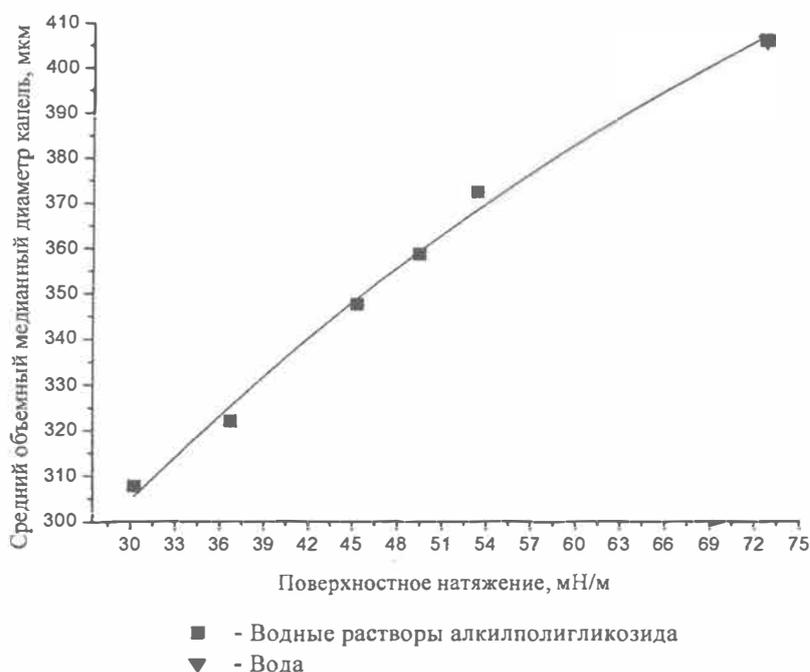


Рисунок 1 - Зависимость среднего объемного медианного диаметра каплей распыленных огнетушащих жидкостей (вода и водные растворы алкилполиглюкозида) от их поверхностного натяжения

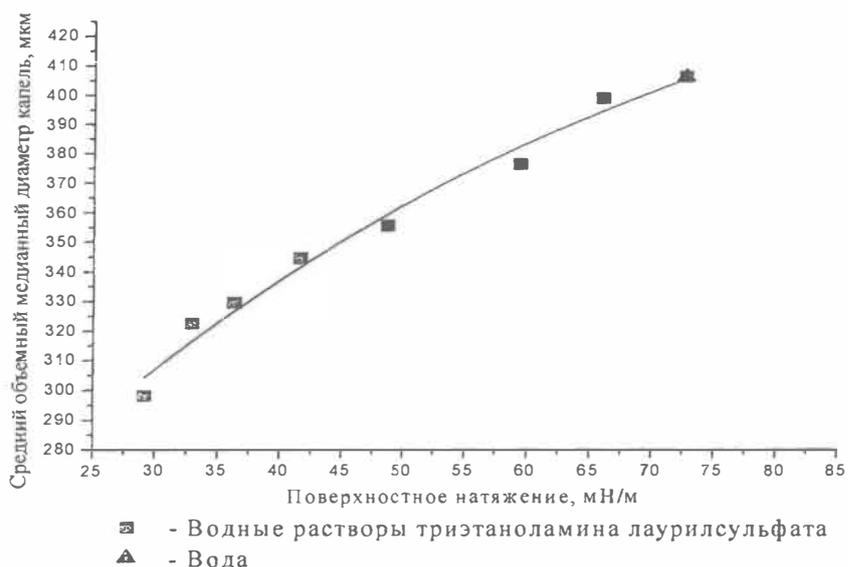


Рисунок 2 - Зависимость среднего объемного медианного диаметра капель распыленных огнетушащих жидкостей (вода и водные растворы триэтаноламина лаурилсульфата) от их поверхностного натяжения

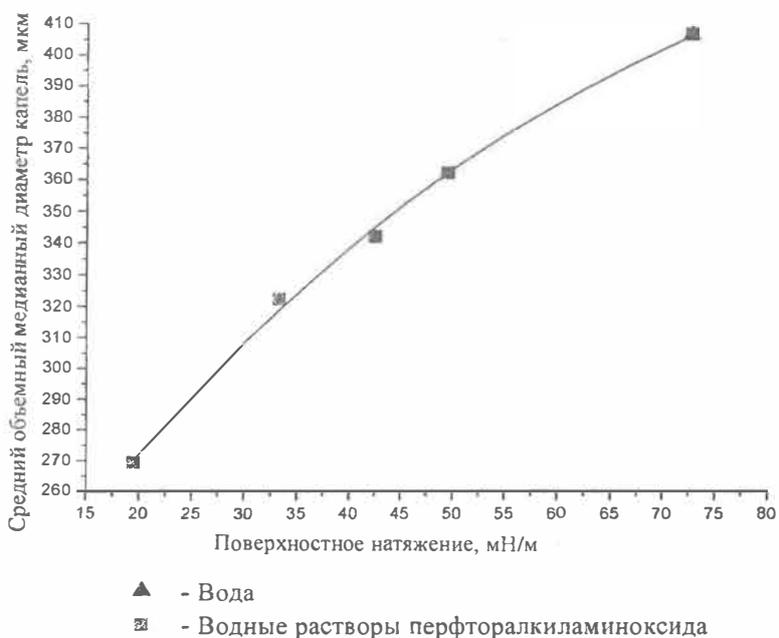


Рисунок 3 - Зависимость среднего объемного медианного диаметра капель распыленных огнетушащих жидкостей (вода и водные растворы перфторалкиламинооксида) от их поверхностного натяжения

В зависимости от состава огнетушащей жидкости наблюдалась следующая корреляция между значениями поверхностного натяжения и среднего объемного медианного диаметра капель: при распыливании воды без добавок ПАВ с поверхностным натяжением, равным 72,7 мН/м, средний объемный медианный диаметр капель составлял 406 мкм; при использовании в качестве огнетушащей жидкости водных

растворов алкилполигликозида с концентрацией от 0,005 до 0,1 % при уменьшении поверхностного натяжения от 53,4 до 30,3 мН/м средний диаметр изменялся в диапазоне 372-308 мкм; в случае применения водных растворов триэтаноламина лаурилсульфата с концентрацией от 0,001 до 0,2 % при изменении поверхностного натяжения от 66,0 до 29,2 мН/м средний диаметр уменьшался в диапазоне 399-298 мкм, а при распыливании водных растворов перфторалкиламинооксида с концентрацией от 0,001 до 0,02 % с уменьшением поверхностного натяжения от 49,5 до 19,5 мН/м средний диаметр уменьшался в диапазоне 362-269 мкм.

Наименьший диаметр, равный 269 мкм, имели капли факела распыла водного раствора перфторалкиламинооксида с концентрацией 0,02 %. Водные растворы алкилполигликозида и триэтаноламина лаурилсульфата с тем же значением концентрации позволяли получить капли диаметром 348 и 344 мкм соответственно.

При проведении исследований было установлено, что при распыливании водных растворов алкилполигликозида и триэтаноламина лаурилсульфата с концентрацией выше 0,02 % и водного раствора алкилполигликозида с концентрацией выше 0,1 %, помимо капель, образуется пена. При использовании в качестве добавки к воде перфторалкиламинооксида с концентрацией больше 0,02 % определение размеров капель затрудняется из-за образования фторсодержащим ПАВ на поверхности улавливающей среды водной пленки.

Из результатов исследований следует, что для уменьшения диаметра капель распыленной огнетушащей жидкости в качестве добавок к воде могут быть рекомендованы все вышеперечисленные ПАВ с концентрацией 0,02 %. При этом в меньшей степени уменьшению диаметра капель способствует использование 0,02%-ного раствора алкилполигликозида, а в большей - 0,02%-ного раствора перфторалкиламинооксида. Однако применение в средствах пожаротушения распыленной водой в качестве добавки к воде триэтаноламина лаурилсульфата предпочтительнее по сравнению с перфторалкиламинооксидом, поскольку стоимость фторсодержащих ПАВ превышает стоимость углеводородных ПАВ в 10-15 раз.

Тем не менее, применение ПАВ в качестве добавок к воде при гидравлическом распыливании, осуществляемом при соблюдении вышеописанных гидродинамических характеристик и диаметре соплового отверстия, не позволяет получить мелкодисперсную воду с диаметром капель менее 100 мкм.

**Выводы.** Таким образом, с целью уменьшения размера капель факела распыла, образуемого средствами пожаротушения распыленной водой с гидравлическими форсунками при давлении нагнетания 0,6 МПа, может быть рекомендовано использование огнетушащего состава, представляющего собой 0,02%-ный водный раствор триэтаноламина лаурилсульфата.

### Литература

1. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия, 1984. – 247 с.

2. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Распылители жидкости. – М.: Химия, 1979. – 216 с.
3. Пажи Д.Г. и др. Форсунки в химической промышленности. – М.: Химия, 1971. – 224 с.
4. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В. Распыливание жидкостей. – М.:1977.
5. Holder for mounting a spray head: U.S. Patent № 6,536,534 // Sundholm; Goran – опубл.25.03.2003.
6. Jeweled orifice fog nozzle: U.S. Patent № 5,620,142 // Michael V.Elkas - № 474,947; Заявл. 7.07.1995; Опубл. 15.04.1997.
7. Душкин А.Л., Янышев С.С., Карпышев А.В. Мобильные и стационарные системы пожаротушения тонкораспыленной водой // Крупные пожары: предупреждение и тушение: Материалы XVI научно-практической конференции, часть 2.– М.: ВНИИПО, 2001. - С.30-33.
8. Жарков А.С., Жаринов Ю.Б., Жуков А.П. и др. Методические вопросы отработки установок пожаротушения тонкораспыленной водой с пиротехническим источником рабочего газа // Крупные пожары: предупреждение и тушение: Материалы XVI научно-практической конференции, часть 3– М.: ВНИИПО, 2002. - С.57-59.
9. Заневская Ю.В., Навроцкий О.Д., Емельянов В.К., Петуховский С.Г. Определение степени дисперсности водных аэрозолей // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. - 2005. - №8 (18). - С. 70-78.

S.Petuhovsky, Y.Zanevskaia; O.Navrotsky; V.Emelianov **Enhancement of fire-fighting efficiency of water mist systems with hydraulic water spray method by the intake of surface active agent additives into the fire-fighting liquid**

The research work was carried out to determine dependences of the size of drops of fire fighting composition was sprayed by hydraulic way under the injection pressure of 0.6 MPa on additives of fluorid and hydrocarbon surface active agents. It was determined that to decrease the size of drops of jet, which is created by water spray fire extinguishment means with hydraulic sprayers under the pressure of the fire-fighting liquid into the sprayer of 0.6 MPa, it may be recommended to apply fire-fighting composition, representing a 0,02 % water solution of triethanolamine lauryl-sulfate.

УДК 630.432

## ПОЖАРООПАСНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФРИКЦИОННЫХ ИСКР. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ.

Ю.С. ИВАНОВ

С.Б. ЯНОВСКИЙ, кандидат физико-математических наук

<sup>1</sup> - НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> - Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Беларусь

Проведен анализ проблемы фрикционного искрообразования технических материалов. Показана необходимость разработки нормативно-правовой документации, регламентирующей применение материалов по искроопасности и методам экспериментальной оценки искробезопасности материалов.

**Ключевые слова:** фрикционные искры, фрикционный контакт, взрывопожаробезопасность, искробезопасность, испытательная установка, моделирование

**Введение.** Фрикционные частицы, образующиеся в результате относительно го перемещения двух контактирующих поверхностей, в зависимости от их дисперсности, начальной температуры, наличия окислителя и других факторов могут разогреваться до температуры видимого свечения. Такие частицы принято называть фрикционными искрами.

Фрикционные искры являются одним из распространенных источников зажигания взрывоопасных сред. Анализ пожаров и взрывов показывает, что приблизительно в 25% случаев их источником являются фрикционные искры. Таким образом, разработка новых и уточнение существующих экспериментальных методов и расчетных методик оценки искробезопасности материалов является актуальной.

**Анализ технических требований, предъявляемых к материалам по фрикционной искроопасности.** Вопросом разработки стандартов для эксплуатации неэлектрического оборудования в условиях потенциально взрывопожароопасных газовоздушных, паровоздушных и пылегазовых атмосферах придается чрезвычайно высокое внимание.

Европейский Союз финансирует в рамках директивы 100а-94/9/ЕС Европейского парламента и Совета от 23 марта 1994 г. относительно сближения законодательств государств-членов, касающихся приборов и защитных систем для при-

менения в потенциально взрывоопасных атмосферах (ATEX) [1], и директивы по химическим агентам (CAD) [2] исследования по разработке критериев и методов оценки рисков возгорания от механических источников. Эти исследования ложатся в основу улучшения и модификации приложений к ряду европейских стандартов.

Аналогичные исследования проводятся в Великобритании в рамках директивы "Регламент по опасным веществам и взрывоопасным атмосферам" (DSEAR) [3].

Несмотря на большое число экспериментальных работ, посвященных изучению поджигающей способности частиц, образующихся при трении и соударении, вопрос фрикционного искрообразования изучен далеко не полно. Сложность процесса искрообразования и его зависимость от большого числа факторов, одновременно имеющих место при проведении экспериментов, часто приводит к противоречивым результатам, вследствие чего в настоящее время еще не выработаны единые принципы и методы оценки искробезопасности материалов.

Отсутствие единой теории механизма фрикционного зажигания горючих смесей обуславливает наличие большого объема разноречивых данных по поджигающей способности фрикционных искр, что в свою очередь приводит к необоснованным требованиям к обеспечению фрикционной безопасности в регламентирующих документах. Требования, не учитывающие реальной опасности фрикционных искр, вызывают неоправданные материальные и трудовые затраты. В действующих нормативных документах отсутствует классификация материалов по искроопасности по отношению к различным взрывоопасным смесям, а также отсутствует однозначное определение искроопасности материала. Существующие нормативные документы имеют в основном рекомендательный характер и не дают ссылки на стандартизированный метод испытаний. В связи с этим необходимо привести требования нормативных документов к единым научно-обоснованным рекомендациям.

**Расчетная методика определения пожарной опасности фрикционных искр.** Анализ существующих стандартов показывает, что приведенные в них методики по определению пожароопасных параметров от механических источников зажигания далеки от совершенства, поскольку в основе их лежат неадекватные реальным процессам физико-механические модели. Так, например, в настоящий момент имеется только одна расчетная методика определения пожарной опасности фрикционных искр, приведенная в [4]. Эта методика не содержит расчета начальной температуры фрикционных искр в зависимости от теплофизических и механических свойств материалов фрикционной пары и динамического режима их взаимодействия. В действующей методике приводятся приближенные зависимости для коэффициента теплоотдачи, не учитывающие особенности конвективного теплообмена при движении частицы в горючей смеси. Предложенный в методике способ определения времени зажигания горючей смеси графическим методом дает погрешности, достигающие сотен процентов.

Вследствие изложенного возникла необходимость уточнения действующей методики, на основании детального анализа механических и теплофизических процессов в зоне фрикционного контакта, определяющих начальную температуру фрикционных искр. Необходимо также установить аналитическую зависимость температуры искры от времени при ее охлаждении в газовой смеси и определить время задержки воспламенения смеси в зависимости от ее параметров.

**Анализ состояния вопроса об испытаниях веществ и материалов на искробезопасность.** Процессы искрообразования, обуславливающие зажигающую способность фрикционных искр в значительной степени определяют режимы трения и соударения. Поэтому процессы искрообразования и зажигания горючих парогазовых смесей проводятся на установках, в которых моделируются реально существующие в технологических процессах условия трения и соударения.

Большинство процессов искрообразования можно моделировать на установках двух типов: копровых и с вращающимися элементами. В первых установках обычно воспроизводятся процессы искрообразования, имеющие место при свободном падении груза на неподвижные детали, во вторых установках имитируются процессы искрообразования, имеющие место при трении, скользящих ударах, шлифовании и подобных операциях.

На установках такого типа определение воспламеняющей способности фрикционных искр производится статистическим методом. Вероятность воспламенения определяется как отношение количества поджиганий к количеству соударения.

При детерминированном методе определения искроопасности проводится оценка минимальной энергии зажигания горючей смеси в сравнении с энергией механической искры.

Фрикционные искры, образующиеся при трении и ударе, имеют определенное рассеивание по дисперсности, начальной температуре, химическому составу и скорости перемещения. Кроме того, в экспериментах имеет место разброс механических факторов и состояния газовой среды. В каждом конкретном опыте невозможно учесть все эти величины, что, в конечном счете, определяет вероятностную картину зажигания горючих смесей. Очевидно, чем меньше вероятность воспламенения, тем реже возникают условия при данном режиме трения и соударения, при котором образуются фрикционные частицы, способные выделить в элементарный объем горючей смеси энергию, превышающую минимальную энергию зажигания данной горючей смеси.

Ряд детерминированных методов определения искроопасности основан на определении минимального времени задержки воспламенения горючих смесей от фрикционных искр [5,6]. Время задержки определяется по кинограммам процесса искрообразования и зажигания горючих смесей.

В настоящее время определение воспламеняющей способности фрикционных искр производится в основном статистическими экспериментальными метода-

ми [7-15]. На основании полученных при различных режимах трения и соударения результатов испытаний оценивается безопасность применения материалов для различных узлов механического оборудования, конструкций, инструментов. Наиболее важным вопросом является определение предельной вероятности зажигания  $P_{пред}$ , начиная с которой материал принимается искробезопасным.

Статистические методы оценки пожаропасности фрикционного искрения основаны на определении зависимости между основным фактором, определяющим воспламенение и вероятностью воспламенения. Однако до сих пор окончательно не выяснен вопрос, как происходит воспламенение горючей смеси от фрикционных искр при динамическом контакте материалов. Не установлен вид функционала, определяющий физическую модель фрикционного воспламенения. С этой целью необходимо дополнить экспериментальные методы расчетными методиками, основанными на теоретических исследованиях процесса воспламенения горючих смесей фрикционными искрами.

**Некоторые экспериментальные данные по зажиганию горючих смесей фрикционными искрами.** Анализ существующих экспериментальных устройств для испытания на искробезопасность материалов при их работе в разных взрывоопасных атмосферах показал, что наиболее надежным и универсальным является устройство, в котором одним из элементов фрикционной пары является вращающийся диск со срезанными сегментами, что позволяет объединять в одном эксперименте режимы трения и соударения. Однако и он требует модернизации, заключающейся в создании условий исследования не только газо-, но и паровоздушных и пылевоздушных смесей.

Анализ экспериментальных данных по зажиганию горючих смесей фрикционными искрами показывает, что несмотря на достаточно обширный имеющийся материал, до сих пор отсутствует надежная единая классификация материалов по степени их искробезопасности. Не исследован на искробезопасность ряд новых материалов, применяемых в различных областях.

**Вывод.** Для выработки рекомендаций по разработке нормативно-правовой документации, регламентирующей применение материалов по искроопасности и методам экспериментальной оценки искробезопасности материалов существует необходимость физико-математического моделирования тепловых потоков и расчет пространственно-временной зависимости температуры в зоне фрикционного контакта или поверхности соударения.

Построенные адекватные физико-математические модели позволят разработать надежные критерии и методы оценки возгорания парогазовых смесей от механических источников и являются основой для создания новых стандартов по пожаробезопасности в РБ, полностью гармонизированных с международными стандартами.

### Литература

1. Directive for Equipment and Protection Devices on explosion Hazardous Areas (ATEX).
2. Chemical Agents Directive 98/24/EC
3. Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations 2002.
4. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность. Общие требования.
5. Монюшко В.Н. Количественная оценка взрывоопасности фрикционных искр. //Безопасность труда в промышленности, 1983, №12. - С.37-38.
6. Федосеев В.А., Леонова Л.Ю., Курятников В.В., Статина Л.А. Условия поджигания металлами, диспергированным фрикционным способом, взрывоопасных паровоздушных смесей.- Физика аэродисперсных систем, вып. 22. Киев. Вища школа, 1982, с 29-44.
7. Методы исследования искробезопасности материалов // Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя, А.К. Костюхин и др. // Пожаровзрывобезопасность.-2000.- №1.- С. 18-27.
8. Взрывобезопасность электрических разрядов и фрикционных искр // В.А. Бондарь, В.Н. Веревкин, А.И. Гескин и др.// - М.: Недра, 1976.
9. Гескин С.С. Исследование процесса поджигания взрывоопасных парогвоздушных смесей нагретыми при трении и ударах телами и выбор конструкционных материалов для подвижных узлов взрывозащищенного электрооборудования. // В кн.: Взрывобезопасное электрооборудование. - М.: Энергия, 1971. - С.31-35.
10. Powell F. Ignition of Gases and Vapors. //Industrial and Engineering Chemistry, 1969, №12, vol. 61.-PP.29-37.
12. Гескин С.С. Стрижевский И.И. Поджигание горючих смесей при одиночных ударах и моделирование процесса искрообразования. // Безопасность труда в промышленности, 1968, №4. -С.49-51.
13. Гескин С.С. Исследование процесса поджигания взрывоопасных парогвоздушных смесей нагретыми при трении и ударах телами и выбор конструкционных материалов для подвижных узлов взрывозащищенного электрооборудования. // В кн.: Взрывобезопасное электрооборудование. - М.: Энергия, 1971. - С.31-35.
14. Экспериментальное исследование искробезопасности материалов в различных взрывоопасных средах// Ю.Н. Шебеко, В.Ю. Навценя и др. // Пожаровзрывобезопасность.-2001.- №4.- С. 47-50.
15. Обоснование проекта изменений и дополнений в действующую НД //А.А. Гудков// Безопасность труда в промышленности, 1997, №8. - С.47-50.

**J.Ivanov, S.Janovskij Fire-hazard parameters of frictional sparks. Research methods. The basic problems**

The analysis of frictional spark formation of technical materials is given. The necessity of development of the legislative documentation, regulating application of materials for spark formation and the methods of experimental estimation of materials spark formation is shown.

УДК 614.8:621.865.8

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА БАЗЕ ЛАФЕТНЫХ ПОЖАРНЫХ РОБОТОВ

А.В. ИГНАТОВ<sup>1</sup>, А.В. ПОТЕХА<sup>1</sup>,  
В.Л. ПОТЕХА<sup>2</sup>, доктор технических наук

<sup>1</sup> - ОДО «Системы комплексной безопасности «ЗАЩИТА», г. Гомель, Беларусь

<sup>2</sup> - Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель,  
Беларусь

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой систем пожаротушения на базе лафетных пожарных роботов. Представлены данные, касающиеся создания автоматизированной системы пожаротушения для дворца легкой атлетики в г. Гомеле.

**Ключевые слова:** лафетные стволы, пожарные роботы, системы пожаротушения.

**Введение.** Одним из перспективных направлений разработки современных систем пожарной безопасности является создание робототехнических комплексов и устройств. Особую актуальность этому придает все более увеличивающееся число социально-культурных, оздоровительных, торговых и других объектов, при строительстве которых используются новые строительные технологии и методы. Очень часто новые строительные технологии не согласуются с существующими методами обеспечения их пожарной безопасности, требуют разработки неординарных решений, базирующихся на новых подходах и методах. Характерным примером таких технологий является строительство высокопролетных зданий и сооружений, например, из клееных деревянных конструкций, а также объектов из гибких (надувных) элементов и форм. Подобного рода объекты требуют принципиально нового подхода к обеспечению их пожарной безопасности, так как форма зданий и вид использованных при их строительстве материалов и конструкций не позволяют разместить на них современные средства пожаротушения. Кроме того, к несущей способности элементов такого рода конструкций, как строящихся, так и существующих, в последнее время предъявляются все более повышенные требования (например, указанные в приказе Минстройархитектуры Республики Беларусь № 166 от 18.06.2004 г. «Об учете изменения снеговой нагрузки»).

Разрабатываемые ЗАО «Инженерный центр пожарной робототехники ЭФЭР» (Россия) пожарные дистанционно-управляемые лафетные стволы и роботизированные системы пожаротушения обладают уникальным комплексом улучшенных технико-экономических характеристик.

Лафетные пожарные роботы (ПР) способны обеспечить автоматическую пожарную сигнализацию территории (объема) защищаемого объекта, с высокой точностью оценить координаты места возгорания, автоматическое тушение пожара путем использования распыленной массы воды или пены. Площадь, защищаемая одним ПР составляет от 5000 до 15000 м<sup>2</sup> при расходе огнетушащего средства от 20 до 100 (150) л/с, соответственно.

Оптимальная форма – изогнутая конструкция ЛС с вращающимся в разных плоскостях корпусом, обеспечивает свободное манипулирование направлениями потока распыленной массы воды или пены с расходом от 20 до 150 л/с при давлении до 1,6 МПа. Требуемое направление потока, определяемое местонахождением очага возгорания, обеспечивается вращением корпуса ЛС малогабаритными мотор-редукторами с позиционными датчиками. ЛС имеет три степени подвижности в сферической системе координат, что обеспечивает возможность тушения пожара в любой точке пространства в радиусе действия струи. На выходе ствола устанавливается многофункциональная головка-насадок, формирующая все виды подачи воды и пены в одном стволе. Оригинальная форма насадка позволяет путем реализации условий кавитации воды осуществлять формирование распыленной массы воды или пены, получившей название «Jet Fog» - летящий туман (при тушении распыленного огнетушащего вещества формируется в 10 раз больше используемой воды). Это, в свою очередь, существенно (в сотни раз по сравнению с обычной водой) повышает эффективность тушения пожаров за счет покрытия распыленной водой большого объема пространства вокруг очага возгорания. Следует учесть и то, что мелкодисперсные капли поглощают достаточно большой объем выделяемого при пожаре тепла, а благодаря крупным каплям достигается максимальная дальность струи огнетушащего вещества. Немаловажной особенностью «летящего тумана» является возможность его использования в помещениях с оконными витражами, т. к. при попадании струи в окно не происходит разбитие стекол. Кроме того, тушение пожара может быть начато еще до полной эвакуации людей из здания, т. к. попадание струи огнетушащей жидкости в человека не собьет его с ног.

**Основная часть.** Специалистами ОДО «Системы комплексной безопасности «Защита» и учреждения образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь, по кооперации с ЗАО «Инженерный центр пожарной робототехники ЭФЭР», являющимся разработчиком и владельцем конструкторской документации на пожарные лафетные стволы ЛС(Д)-С(П)20(40,60,100)У по ГОСТ Р51115-97 «Стволы пожарные лафетные комбинированные», осуществлена разработка документации на автоматизированную систему пожаротушения при реализации проекта капитального ремонта дворца легкой атлетики в г. Гомеле. Разработка проекта осуществлялась с учетом действующей в Республике Беларусь нормативной документации: СНБ 2.02.05-04 «Пожарная автоматика», СНиП 2.08.01-89 «Общественные здания и сооружения», СНБ 2.02.01-98 «Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов» и СНБ 4.01.02-03 «Противопожарное водоснабжение». Конструкционные особенности дворца (купол манежа

изготовлен из клееных древесных элементов, рисунок 1) не позволяют применить традиционную схему пожарной защиты, предусматривающую орошение деревянных частей здания путем подвода водопроводных труб, так как это существенно увеличивает суммарную нагрузку на несущие элементы конструкции кровли.



Рисунок 1 – Дворец легкой атлетики в г. Гомеле

При разработке роботизированных систем пожаротушения для объектов самого разнообразного назначения, расположенных на территории Беларуси, необходимо учитывать то, что нормативные документы Российской Федерации и Республики Беларусь, определяющие технические характеристики ЛС, не в полной мере соответствуют друг другу.

Для оценки степени соответствия паспортных характеристик ЛС, входящего в комплектацию робота «ЛСДп-С50У-ИК, данным, полученным в результате испытаний по НПБ 106-2005, были проведены специальные исследования, которые проводились в научно-практическом центре учреждения «Минское областное управление МЧС» с участием специалистов ОДО «Системы комплексной безопасности «ЗАЩИТА».

В таблице 1 приведена программа испытаний, а в таблице 2 - используемое оборудование и средства испытаний.

Таблица 1 - Программа проведения испытаний

Вид испытаний	Наименование НД, устанавливающей метод испытаний, номер пункта
1. Определение расхода воды ствола пожарного лафетного	НПБ 106-2005 п.80
2. Определение дальности водяных струй	НПБ 106-2005 п. 83, 86
3. Определение угла факела распыленной струи	НПБ 106-2005 п. 87

\* - Испытания проводились при температуре 293-295 К, атмосферном давлении 99,7 кПа и относительной влажности 51 %.

Таблица 2 - Испытательное оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний

Наименование, испытательного оборудования, средств измерений	Номер свидетельства (аттестата), срок действия
1. Секундомер ИТ-01	Свидетельство № 523/4-43 от 06.02.2006 г.
2. Счетчик турбинный СТВ-80	Клеймо 05.2005 г., действительно до 05.2006 г.
3. Контрольный манометр	Клеймо 01.2006 г., действительно до 01.2007 г.
4. Рулетка со стальной лентой ГОСТ 7502-98	Клеймо 09.2005 г., действительно до 09.2006 г.
5. Угломер	Клеймо 02.2006 г., действительно до 02.2007 г.
6. Анемометр	Клеймо 01.2006 г., действительно до 01.2007

Как следует из данных, представленных в таблице 3, фактические значения, полученные в результате испытаний, соответствуют паспортным данным для расхода воды ЛС и превышают паспортные по дальности компактной и распыленной водяных струй. Диапазон изменения угла факела струи, определенный паспортом в размере 0-90 °, фактически составил 12-108 °.

Данные испытаний, таким образом, подтверждают соответствие характеристик ЛС НПБ 106-2005 и возможность их использования при разработке автоматизированных систем пожаротушения для объектов, находящихся на территории Республики Беларусь.

Таблица 3 - Результаты испытаний лафетных стволов

Наименование, показатели, технические требования, характеристики и т. д.	НД, устанавливаемые требования к продукции	НД, устанавливаемые требования к методу испытаний	Значение показателя, согласно паспортным данным	Фактическое значение
1. Определение расхода воды ствола пожарного лафетного	П. 9 Таблица 2 паспорта	НПБ 106-2005 П. 80	50 л/с	50 л/с
2. Определение дальности водяных струй: - компактная струя - распыленная струя	П. 13 Таблица 2 паспорта	НПБ 106-2005 Пп. 83, 86	65 м 35 м	65,8 м 36,2 м
3. Определение диапазона изменения угла факела струи	П. 15 Таблица 2 паспорта	НПБ 106-2005 П. 87	0-90 °	12-108 °

Основываясь на полученных данных испытаний ЛС, при разработке проектно-конструкторской документации было предусмотрено, что автоматическое обнаружение возможного возгорания во дворце легкой атлетики будет осуществляться

ИК-датчиками открытого пламени типа «Набат», расположенными на лафетных стволах и позволяющими контролировать весь объем подкупольного пространства манежа. ПР оснащены двумя ИК-датчиками: сначала очаг возгорания определяется с помощью широкоугольного датчика, а затем с помощью узкоугольного производится более точное определение координат для направления струи огнетушащей жидкости. Месторасположение очага возгорания определяется с достаточно высокой точностью в трехмерной системе координат, т. к. любая точка подкупольного пространства манежа может быть найдена двумя пожарными роботами, на которых ИК-датчики осуществляют сканирование согласно заданной в программе величины угла. Вместе с автоматической системой в качестве дублирующей была предусмотрена пожарная сигнализация от линейных лучевых ИК-датчиков. При переводе автоматической системы в ручной режим управления при проведении культурно-массовых мероприятий, в которых имеет место использование открытого пламени и дыма, применяется система видеонаблюдения (по периметру манежа расположены видеокамеры) с выводом сигнала на пост контроля, где оператор получает всю необходимую информацию о происходящих событиях на арене, и в нужный момент может дать сигнал о случившемся возгорании, а также приступить к тушению пожара с помощью роботизированного пожарного комплекса в ручном (дистанционном) режиме.

Схема ПР, использованного при разработке проекта, представлена на рис. 2, а схема подключения пожарных роботов по периметру дворца легкой атлетики в г. Гомеле – на рис. 3.

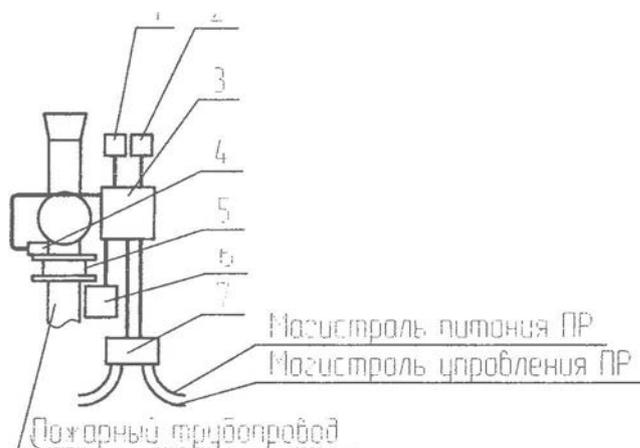


Рисунок 2 - Схема пожарного робота:

1 – пожарный извещатель широкоугольный, 2 – пожарный извещатель узкоугольный, 3 – блок управления ПР, 4 – датчик давления, 5 – затвор с электроприводом, 6 – блок управления затвором, 7 – коробка соединительная

Комплектация системы пожаротушения:

- ПР с программным управлением с расходом 50 л/с на базе лафетного ствола ГОСТ Р 51115-97 типа ЛСДп-С50У-ИК с ИК-датчиками, с автоматическим обнаружением возгорания, автоматическим пожаротушением (4 шт.);

- ПР с программным управлением с расходом 50 л/с на базе лафетного ствола ГОСТ Р 51115-97 типа ЛСДп-С50У-ИК-тэ с ИК-датчиками, с автоматическим обнаружением возгорания, автоматическим пожаротушением, с тросовым ручным управлением и элеватором высотой 2 м (4 шт.);
- дисковый затвор ДЗЭ-80 с электроприводом 24 В (8 шт.);
- устройство сопряжения с комплексным объектом УСО (1 шт.);
- пульт управления ПДУ-П по каналу RS-485 (1 шт.);
- блок питания БП-24 1,6 кВт (1 шт.);
- устройство радиуправления комплексом ЛСДп с подключением к каналу RS-485, включая радиопульт и блок управления (2 шт.);
- ПЭВМ с монитором (1 шт.);
- программное обеспечение (комплект).

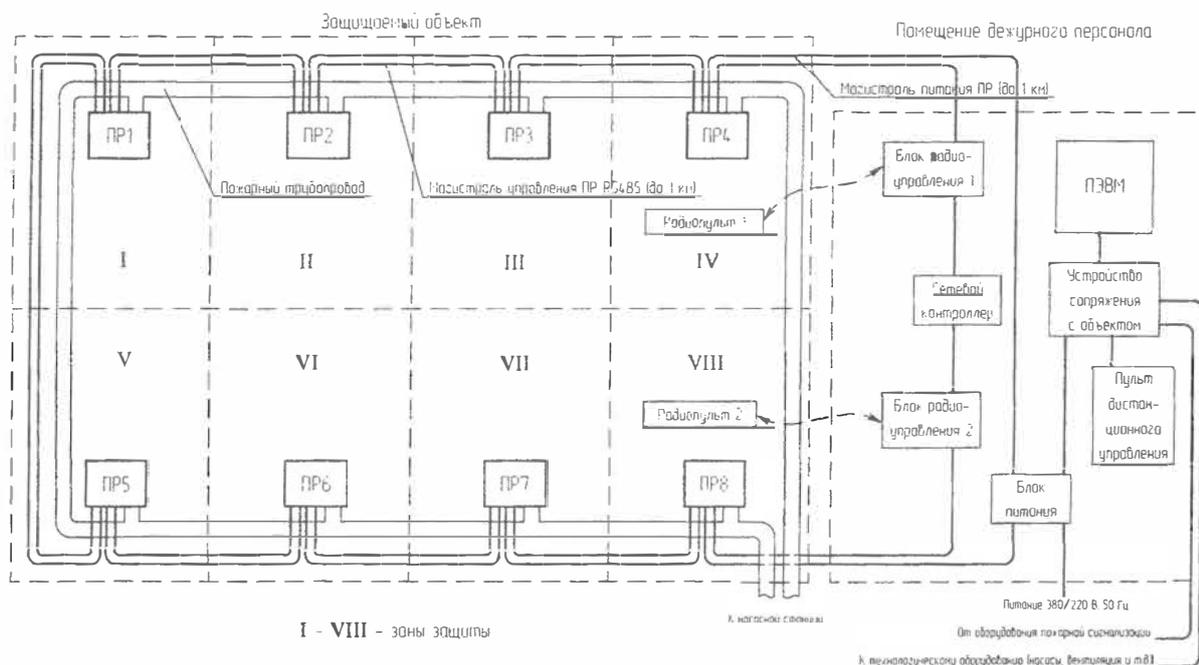


Рисунок 3 - Схема подключения пожарных роботов

Несомненным преимуществом ПР, оснащенных ИК-датчиками, является то, что они позволяют с высоким быстродействием автоматически обнаруживать загорание, наводить на очаг загорания огнетушащую струю, тушить пожар по всей площади горения.

**Выводы.** Таким образом, согласно данным испытаний, ствол пожарный лафетный, входящий в комплектацию робота «ЛСДп-С50У-ИК», может быть рекомендован для использования при разработке автоматизированных систем пожаротушения для защиты объектов больших объемов, а также открытых площадок больших площадей социально-культурного, оздоровительного, торгового и иного назначения на территории Республики Беларусь, т. к. эффективная дальность струи огнетушащей жидкости пожарных лафетных стволов в зависимости от расхода может достигать 118 м (при давлении 0,9 МПа).

Разработанная система пожаротушения для дворца легкой атлетики в г. Гомеле проходит приемочные испытания.

Следует отметить, что разработка и практическое использование ЛС и ПР должны осуществляться с учетом реально существующей неполной унификации нормативной и правовой базы Республики Беларусь и Российской Федерации в области разработки и эксплуатации средств пожаротушения. При этом возможны изменения как в конструкционной части ЛС и ПР, так и в некоторых других элементах автоматизированных систем пожаротушения: программном обеспечении, условиях работы систем управления и др.

**Ignatov A.V., Poteha A.V., Poteha V.L. Design of Automatic Fire Fighting Systems on the Basis of Oscillating Monitors**

The authors of the article examine the problems of design of fire fighting systems on the basis of automatic oscillating monitors. The authors present specific data for the design of an automatic fire fighting system in Light Athletic Palace, Gomel, Belarus.

*УДК 69:614.84; 691.41; 699.81*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КИРПИЧА И РАСТВОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ КЛАДКИ БЫТОВЫХ ПЕЧЕЙ**

О.В. ЧЕРНЕВИЧ, кандидат технических наук,  
И.И. БЫЧЕНОК

*Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь*

Приведены исследования термических свойств керамического кирпича и раствора, используемого для кладки бытовых печей. Установлено, что термостойкость керамического кирпича невысокая и существенно не зависит от его марки, а применение кладочных растворов на основе глины и песка нежелательно для устройства топки и дымовых каналов печи.

**Ключевые слова:** керамический кирпич, бытовая печь, пожарная безопасность, термостойкость.

Количество пожаров, происшедших при эксплуатации печного отопления, ежегодно составляет 13-17 % от общего числа пожаров. В первую очередь это происходит из-за неправильно сложенной печи, несоблюдения строительных норм, правил и требований пожарной безопасности. Вторая причина – низкое качество материалов, используемых при кладке печи. В ряде случаев пожары от печного отопления, помимо материального ущерба, приводят к человеческим жертвам.

В настоящее время в жилом секторе республики эксплуатируется 2 148 430 печей. Наибольшее применение получили отопительные и отопительно-варочные печи, 8,3 % которых эксплуатируются до 10 лет, 14,1 % – 10-20 лет, 16,9 % – 20-30 лет и 60,9 % – свыше 30 лет. Анализ результатов обследований печей, проведенных сотрудниками МЧС Республики Беларусь, показывает, что 92,4 % из проверенных печей находятся в неисправном состоянии и требуют ремонта.

Проведение текущего ремонта бытовых печей затруднено в связи с отсутствием в республике качественных печных строительных материалов.

В настоящее время в Республике Беларусь основными производителями керамического кирпича, который используется для кладки бытовых печей, являются ОАО «Керамика» (г. Витебск), Минский завод строительных материалов, ОАО «Керамин» (г. Минск), Брестский комбинат строительных материалов, Обольский керамический завод, Радашковичский керамический завод и ряд предприятий концерна «Белместпром».

Данная продукция соответствует требованиям СТБ 116699, в котором регла-

ментируются следующие показатели: марка – от 75 до 300 (характеризует предел прочности при сжатии 7,5–30 МПа и предел прочности при изгибе от 1,4–4,4 МПа) [1]; водопоглощение (после 48 часов выдержки в воде) – не менее 6 %; морозостойкость – от 25 до 100 циклов; отклонения по размерам ( $\pm 2$ )–( $\pm 4$ ) см.

Однако, термические свойства указанным стандартом не регламентируются, хотя этот показатель является важным для керамического кирпича при использовании его для кладки бытовых печей.

Еще одной причиной возникновения трещин и плохого состояния бытовых печей являются кладочные растворы на основе местной глины, которая не сочетается по температурному коэффициенту линейного расширения с кирпичом и не обеспечивает достаточную адгезию и термостойкость.

В данной работе приведены исследования термической стойкости кирпича с целью определения его оптимальной марки для кладки бытовых печей, а также растворов на основе местного глинистого сырья.

Для проведения испытаний были отобраны керамические кирпичи марки М 150, 175, 200 и 250 размерами 250×120×65 мм.

Термостойкость определялась согласно ГОСТ 7875-83 по установлению числа теплосмен ( $850^{\circ}\text{C}$  – проточная вода), которые выдерживал образец до потери 20 % первоначальной массы. Для определения термостойкости по два образца каждой марки в виде куба с размером ребра  $50 \pm 2$  мм помещали в печь, предварительно разогретую до температуры  $850 \pm 20^{\circ}\text{C}$ , и выдерживали 40 мин. По истечении указанного времени образцы извлекали из печи и погружали в ванну с 10 л воды при температуре  $18-25^{\circ}\text{C}$  [2].

После первой теплосмены на образцах всех марок появились микротрещины, но первоначальная масса не изменилась. После второй - четвертой теплосмен увеличилась длина микротрещин (с 5 до 37 мм на образцах М 150; с 6 до 14 мм - М 175; с 1 до 12 мм - М 200; с 1 до 25 мм - М 250), а также их толщина, происходило расслоение всех образцов, первоначальная масса не изменялась. При дальнейшем проведении испытаний образцы марки М 150 распались на два фрагмента и уменьшились в массе на 20 % - после двенадцатой (образец №1) и четырнадцатой (образец №2) теплосмен; М 175 - после десятой (образец №1) и девятой (образец №2) теплосмен; М 200 и М 250 - после четырнадцатой теплосмены.

Результаты определения термической стойкости кирпича различных марок приведены в таблице.

Проведенные исследования показали, что термическая стойкость керамического кирпича существенно не зависит от его марки и не превышает 13 теплосмен. Это является недостаточным при длительной эксплуатации печей и говорит о низком качестве изготовления изделий. Также неоднородность материала по структуре, несоответствие температурного коэффициента линейного расширения синтезированных кристаллических фаз приводит к возникновению напряжений, превышающих предел прочности материала, и его разрушению.

Таблица. Термические свойства кирпича различных марок

Марка кирпича	№ образца	Размер образцов, мм	Количество теплосмен
М 150	1	50 ± 2	11
	2	50 ± 2	13
М 175	1	50 ± 2	9
	2	50 ± 2	8
М 200	1	50 ± 2	13
	2	50 ± 2	13
М 250	1	50 ± 2	13
	2	50 ± 2	13

Также были проведены термические испытания глиняных растворов, используемых для кладки керамического кирпича при разном соотношении глина : песок. Термостойкость определялась по установлению числа теплосмен (850 °С – воздушная среда 18-25 °С), которые выдерживал образец до разрушения.

Установлено, что после первой теплосмены раствор глины с песком в соотношении 1:5 отслоился от всех поверхностей кирпичей, что привело к разрушению кладки.

После первой теплосмены на швах кладки, выполненной раствором глины с песком в соотношении 1:3, появились небольшие микротрещины, но целостность кладки сохранилась. После второй теплосмены произошло отслоение раствора от четырех поверхностей кирпичей, что привело к разрушению кладки и распаду образца на два фрагмента, на швах которых по всей длине появились сплошные трещины.

После первой и второй теплосмен на швах кладки, выполненной раствором глины, появились небольшие микротрещины, но целостность кладки сохранилась. После третьей теплосмены произошло отслоение раствора от всех поверхностей кирпичей, что привело к разрушению кладки и распаду образца. Раствор рассыпался на мелкие фрагменты.

Результаты испытаний показали, что растворы на основе глины и песка в различном соотношении при воздействии на них высоких температур ведут себя практически одинаково. Таким образом, применение данных растворов для устройства таких частей печи, как топка и дымовые каналы, примыкающие к ней, нежелательно.

Следовательно, в целях снижения пожарной опасности печного отопления и с учетом проведенных исследований во вновь разрабатываемом нормативном документе, регламентирующем требования к печному отоплению, необходимо предусмотреть марку кирпича не ниже 150 (применение более высоких марок кирпича нежелательно, так как кирпич высоких марок плотный, имеет невысокую теплопроводность и плохо связывается глиняно-песчаным раствором), футеровку топки печи термически стойким кирпичом независимо от вида используемого топлива

(данное требование незначительно повлияет на стоимость работ) и использование специального кладочного раствора (мертеля).

### Литература

1. Бобкова Н.М., Дятлова Е.М., Куницкая Т.С. Общая технология силикатов. – Мн.: Выш. шк., 1987. – С.161-162.
2. Практикум по технологии керамики и огнеупоров / Под. Ред. Д.Н. Полу-бояринова. –М.: Стройиздат, 1972. -351 с.

**Chemevich O.V., Bychenok I.I. Research of thermal properties of brick and solutions applied to the laying of household furnaces**

Researches of thermal properties of a ceramic brick and the solution used for laying of household furnaces are presented. It is established, that thermostability of a ceramic brick is low and essentially does not depend on its mark, and application of laying solutions on the basis of clay and sand is undesirable for setting fire chamber and smoke channels of the furnace.

УДК 614.846.6

## ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА АГРЕГАТОВ И МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ БОЕГОТОВНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Б.Л. КУЛАКОВСКИЙ, кандидат технических наук,  
С.М. ПАЛУБЕЦ

<sup>1</sup> - Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup> - Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь

В статье выполнен анализ тепловых режимов агрегатов пожарных аварийно-спасательных автомобилей. Предложено решение проблемы сокращения времени прибытия пожарных аварийно-спасательных автомобилей к месту вызова на ЧС, особенно в зимнее время года, путем поддержания требуемого теплового режима двигателя и трансмиссии пожарных аварийно-спасательных автомобилей во время ожидания, а также ускоренного прогрева двигателя при движении к месту ЧС. Дано описание устройства регулирования тепловым режимом в подкапотном пространстве ДВС с дистанционным управлением.

**Ключевые слова:** боеготовность, тепловая подготовка, пожарный аварийно-спасательный автомобиль.

К основным эксплуатационным свойствам, изменение которых в большей степени зависит от температурного режима агрегатов, относятся: легкость запуска двигателя, надежность, динамика и безопасность движения, а также топливная экономичность пожарных аварийно-спасательных автомобилей (ПАСА).

Поскольку основной особенностью эксплуатации ПАСА являются малые радиусы выезда, то при движении к месту вызова двигатель и агрегаты трансмиссии работают в режиме прогрева. Установлено, что тепловой режим этих агрегатов существенно влияет на изменение технического состояния, а, следовательно, и на эксплуатационные показатели ПАСА [1].

На рис.1 показана зависимость суммарного износа цилиндро-поршневой группы от температуры в системе охлаждения. Если температура охлаждающей жидкости равна 10<sup>0</sup>С, что вполне может быть в гараже в зимнее время, то износ сопряжений двигателя будет больше в 10-12 раз по сравнению с износом при температуре 80<sup>0</sup>С.

Значительное время двигатель может работать в режиме прогрева из-за неисправности приборов и узлов в системе охлаждения: термостата, водяного насоса, клиноременной передачи и др. Анализ технического состояния системы охлаждения

показал, что многие двигатели ПАСА эксплуатируются с неисправным термостатом или без него и при выезде автомобиля по тревоге охлаждающая жидкость сразу начинает поступать через радиатор, увеличивая время прогрева

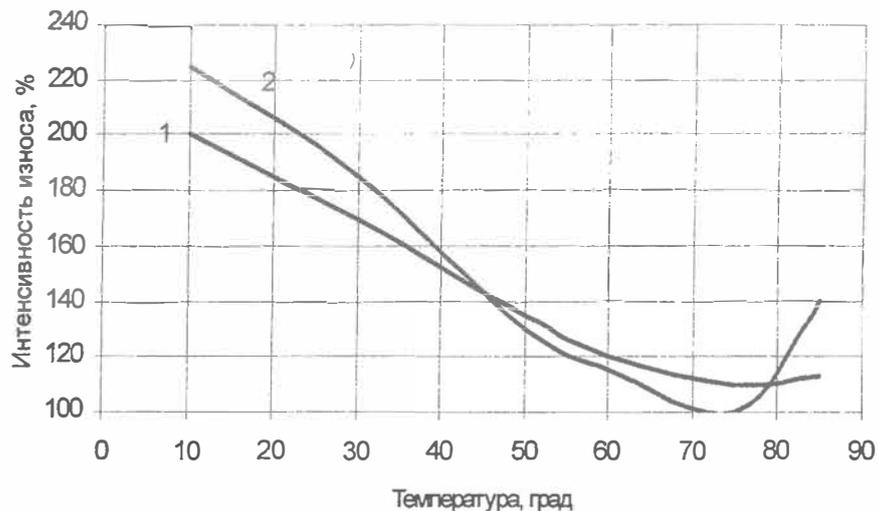


Рисунок 1 - Зависимость интенсивности изнашивания автомобильного двигателя от температуры охлаждающей жидкости (1) и картерного масла (2)

.Проведенные экспериментальные исследования в КИИ МЧС [2] по определению температурного режима двигателя после его запуска без термостата показали следующую зависимость (рис.2).

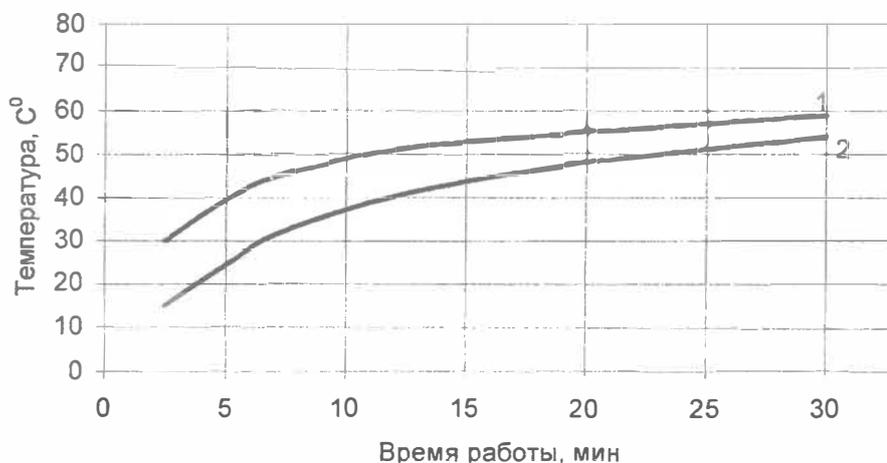


Рисунок 2 - Зависимость температуры  $t^0$  в системе охлаждения двигателя от времени  $\tau$  его работы в гараже при  $n = 700$  об/мин; 1 – температура воздуха в гараже +14,4 °C ; 2 - температура воздуха в гараже +6 °C

Как видно из графика, в течение 2,5 минут работы двигателя при  $n = 700$  об/мин и температуре воздуха в гараже 5°С и 15°С температура в системе охлаждения достигает соответственно 15°С и 30°С. При дальнейшей работе после 5 минут скорость прогрева двигателя замедляется.

Проведены также экспериментальные исследования и сравнительный анализ изменения температурного режима двигателя пожарной автоцистерны АЦ-40(130)63Б (в гараже) при наличии и отсутствии термостата в системе охлаждения.

Температура охлаждающей жидкости определялась с помощью термометров, установленных в верхнем бачке радиатора, а также в блоке двигателя. Сразу после запуска двигатель работал в форсированном режиме при максимальной частоте вращения коленчатого вала. Такой режим работы двигателя постоянно применяется при выезде ПАСА из гаража по тревоге.

Результаты этих экспериментальных исследований показаны на рис. 3.

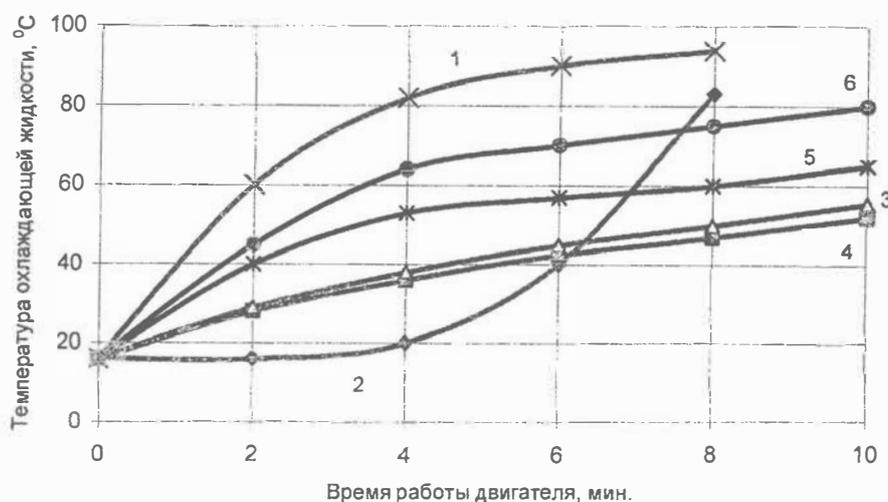


Рисунок 3 - Зависимость изменения температуры  $t^0$  воды от времени  $\tau$  работы двигателя: 1,2 – соответственно изменение температурного режима в блоке двигателя и в верхнем бачке радиатора при наличии термостата; 3,4 – соответственно изменение температурного режима в блоке двигателя и верхнем бачке радиатора при отсутствии термостата; 5,6 – соответственно изменение температурного режима двигателя при выезде из гаража без устройства и с установкой его

При работе двигателя с неисправным термостатом в системе охлаждения, жидкость в блоке (линия 1) быстро нагревалась, а в верхнем бачке радиатора оставалась без изменения (линия 2). Только после работы двигателя в течение трех-четырех минут термостат открывался и температура воды в верхнем бачке начинала повышаться.

При отсутствии термостата прогрев двигателя и радиатора проходил очень медленно и практически одинаково (линии 3 и 4). При выезде ПАСА из гаража прогрев двигателя с термостатом в системе охлаждения (линия 5) происходит значительно медленнее по сравнению с автомобилем в режиме ожидания (линия 1), что можно объяснить охлаждением двигателя потоками холодного воздуха в открытой нижней его части.

Как показывает практика, двигатель ПАСА в зимнее время не выходит на оптимальный температурный режим даже через 10 минут работы. Анализ сводных таблиц боевых действий подразделений по ЧС показывает, что среднее время при-

бытия ПАСА к месту ЧС по Беларуси составляет 9,5-9,8 минут. Следовательно, прибыв к месту ЧС, ПАСА будет работать и стационарно в режиме прогрева. Такая работа двигателя в режиме прогрева при следовании на ЧС, а в отдельных случаях и при ликвидации ЧС, приводит к снижению значений средней скорости движения ПАСА, увеличению времени прибытия к месту вызова и как следствие – увеличение гибели людей и ущерба. Кроме этого значительно снижается надежность двигателя и трансмиссии, топливная экономичность, а также повышается токсичность отработавших газов.

Все это показывает на необходимость принятия мер по обеспечению оптимального температурного режима двигателя ПАСА в гараже в режиме ожидания и конструктивного обеспечения быстрого прогрева двигателя при выезда ПАСА из гаража.

С целью более эффективного прогрева двигателя как в режиме ожидания, так и при следовании к месту ЧС в КИИ МЧС было разработано и изготовлено устройство регулирования тепловым режимом в подкапотном пространстве двигателя с дистанционным управлением [3].

Устройство позволяет путем регулирования теплового потока ускорить прогрев двигателя и поддерживать его оптимальный температурный режим при движении ПАСА.

На рис. 3 (линия 6) прогрев двигателя с устройством происходит сравнительно быстрее, чем без него (линия 5).

Указанное устройство позволяет также обеспечить прогрев двигателя в режиме ожидания ПАСА в гараже с применением предлагаемой стационарной системы подогрева двигателя и трансмиссии [4]. Эта система тепловой подготовки ПАСА обеспечивает подогрев не только двигателя и трансмиссии, но и одновременно поддерживает в отопительный сезон температуру воздуха в гараже в пределах 10<sup>0</sup>С. Это достигается тем, что тепло к агрегатам ПАСА передается от нагревателя, который подключен к системе водо-теплоснабжения и одновременно выполняет функции системы отопления помещения гаража.

Результаты расчетов параметров и полной мощности теплового потока для водогазопроводных труб (ГОСТ 3262-75, ГОСТ 8732-78, ГОСТ 8734-75) различного диаметра сведены в таблицу 1.

Исходя из полученных результатов расчета, длина U-образного трубопровода должна быть равной 6,5 м., ширина - 0,66 м.

Из работы [5] расход тепла  $Q_z$  в ккал/ч для отопления и приточной вентиляции зданий может быть определен по формуле:

$$Q_z = [\alpha q_0 (t_g - t_n^0) + q_v (t_g - t_n^e)] V_n, \text{ ккал/ч}, \quad (1)$$

где  $V_n$  - строительный объем здания, м<sup>3</sup>;

$t_g$  - средняя температура отапливаемого помещения (принята равной 10<sup>0</sup>С);

$t_n^0$  - средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки.

Таблица 1 - Значения параметров и полной мощности теплового потока для  
водогазопроводных труб различного диаметра

d, мм	Число Гросгофа Gr	Число Релея Ra	Число Ну- сельта Nu	$\alpha$ , Вт/м <sup>2</sup> град	Q, Вт/м	W кВт
114	$1,2 \cdot 10^7$	$0,8 \cdot 10^7$	19,1	4,8	154,8	2,11
140	$2,2 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^7$	22,3	4,6	180,6	2,47
165	$3,5 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^7$	25,3	4,4	204,3	2,79
180	$4,6 \cdot 10^7$	$3,2 \cdot 10^7$	27,0	4,3	218,1	2,98
194	$5,8 \cdot 10^7$	$4,0 \cdot 10^7$	28,5	4,2	230,7	3,15
250	$12,3 \cdot 10^7$	$8,6 \cdot 10^7$	34,5	3,9	279,0	3,81
325	$27,1 \cdot 10^7$	$18,9 \cdot 10^7$	42,0	3,7	339,7	4,64

На основании представленных данных ГУ Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, величины средней температуры воздуха наиболее холодной пятидневки по регионам Республики Беларусь составляют: г. Витебск – минус 22,1 °С, г. Минск – минус 20,9 °С, г. Гродно – минус 20,6 °С, г. Могилев – минус 22,7 °С, г. Брест – минус 19,0 °С, г. Гомель – минус 21,7 °С. Эти данные необходимо учитывать при расчете отопления по формуле (1).

Расчетная зимняя температура для проектирования вентиляции  $t_n^e$  по регионам Республики Беларусь будет составлять: по г. Витебск – минус 11 °С, г. Минску – минус 9,9 °С, г. Гродно – минус 10,3 °С, г. Могилев – минус 11,3 °С, г. Брест – минус 9,5 °С, г. Гомель – минус 10,8 °С.

$q_0$  и  $q_e$  - удельные тепловые характеристики для отопления и вентиляции в зависимости от назначения и строительного объема здания по таблице 2 из работы [5], ккал/м<sup>3</sup> ч град.

Таблица 2 - Значения удельных тепловых характеристик  $q_0$  и  $q_e$

Наименование зданий	Строительный объем $V_n$ , тыс. м <sup>3</sup>		Удельные тепловые характеристики, ккал/м <sup>2</sup> ч град	
			для отопления	для вентиляции
			$q_0$	$q_e$
Пожарное депо	До	2	0,70	-
		3	0,60	-
	Более	5	0,55	0,70
		5	0,50	0,65

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий изменение удельной тепловой характеристики в зависимости от климатических условий  $t_n$ .

Из анализа закономерности изменения величины коэффициента  $\alpha$  в зависимости от температуры  $t_n^0$  (1989 – 2003 гг.), его значения для регионов Республики Беларусь можно принять: для г. Витебска – 1,11, г. Минска – 1,15, г. Гродно – 1,15, г. Могилева – 1,1, г. Бреста – 1,17, г. Гомеля – 1,13.

В зависимости от количества ПАСА, находящихся в боевом расчете, общая мощность подогревателей будет равна:

$$\sum W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n, \text{ кВт} \quad (2)$$

Соотношение расчетного количества мощности тепловыделения тепловой подготовки всех ПАСА, находящихся в гараже в режиме ожидания, и расходом тепла  $Q_2$  для отопления и вентиляции должно быть следующее:

$$Q_2 \leq W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n, \quad (3)$$

Поскольку в аналитической зависимости (1) расход тепла  $Q_2$  указан в ккал/ч, необходимо в уравнении (3) значение тепла перевести в кВт в соотношении  $860 \text{ ккал/ч} = 1 \text{ кВт}$ . Если  $\sum W$  по расчету меньше  $Q_2$ , то необходимо подогреватели выполнить с более увеличенной мощностью тепловыделения, т.е. увеличить диаметр, длину трубопровода в соответствии с приведенной таблицей. При этом необходимо учитывать значения нижнего просвета (дорожного просвета) ПАСА. У современных легковых автомобилей дорожный просвет составляет 150 – 220 мм, у грузовых автомобилей обычной проходимости – 245 – 265 мм и повышенной проходимости – 310 мм.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. В процессе форсированного режима движения ПАСА с непрогретым двигателем и агрегатами трансмиссии происходит снижение тягово-скоростных свойств автомобиля, что приводит к увеличению гибели людей и ущерба от ЧС. При этом наблюдается интенсивный износ деталей и сопряжений указанных агрегатов, увеличение расхода горюче-смазочных материалов и увеличение токсичности отработавших газов двигателя.

2. Комплексное применение предлагаемой системы тепловой подготовки ПАСА: двигателя и трансмиссии с устройством регулирования тепловым режимом в подкапотном пространстве двигателя с дистанционным управлением позволит обеспечить более качественный подогрев агрегатов в режиме ожидания ПАСА, а также при выезде из гаража и движении к месту ЧС. Применение этих систем и устройств позволит также повысить тягово-скоростные свойства, топливную экономичность и надежность ПАСА с одновременным снижением загрязнения окружающей среды.

3. Внедрение предлагаемой методики тепловой подготовки ПАСА и отопления гаражей подразделений МЧС при строительстве и реконструкции пожарных депо также сократит время прибытия к месту ЧС, а, следовательно, позволит спасти больше людей и снизить ущерб от ЧС.

### Литература

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей. – М.: Транспорт. 1985.-215 с.

2. Кулаковский Б.Л., Кузнецов А.В. Влияние температурных режимов работы двигателя на его работоспособность // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. Сб. материалов МНПК, - Минск, -2001, С.205-206.

3. Заявка на патент от 27.06.2005 № U 0386 «Устройство для тепловой подготовки автомобиля с дистанционным управлением».

4. Патент № 6308, Беларусь. Система тепловой подготовки автомобиля на месте его стоянки в гараже. В 60 Н 1/22 / Гриб Ф.М., Леоник Д.А., Палубец С.М., Петуховский С.Г., Тютюма В.Д., Кулаковский Б.Л., 30.06.2004 г.

5. Щекин Р.В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции в гражданском строительстве. – Киев, 1960, 846 с.

**Kulakovsky B.L., Palubets S.M. Research of a thermal mode of machineries and enhancement measures for preparedness of fire rescue vehicles.**

This article analyses thermal modes of machineries in fire rescue vehicles. The decision was proposed on how to reduce the arrival time of fire rescue vehicles to a place of emergency, especially in winter time, by maintenance of the demanded thermal mode of the engine and transmission in fire rescue vehicles during expectation time, and also the rapid warm-up of engines at the movement to the place of emergency. The device description is given for regulation of the thermal mode in an underbonnet space of an internal-combustion engine with remote control.

УДК 539.3

## КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ РЕЗОНАНСЕ

Э. И. СТАРОВОЙТОВ, доктор физико-математических наук, профессор  
А. В. ЯРОВАЯ, кандидат физико-математических наук, доцент

*Белорусский государственный университет транспорта, Республика Беларусь,  
г. Гомель, Беларусь*

Рассмотрены резонансные колебания упругого трехслойного стержня под действием локальных поверхностных нагрузок. Для описания кинематики несущих слоев приняты гипотезы Бернулли. В жестком сжимаемом заполнителе справедливы точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты  $z$ . Получены аналитические решения задач, проведен их численный анализ. Исследована возможность проявления ложного резонанса.

**Ключевые слова:** трехслойный стержень, динамическая безопасность, резонанс.

**Введение.** Широкое применение слоистых систем в современных отраслях промышленности и в строительстве обуславливает необходимость разработки методов их расчета. Одной из проблем в этом плане является требование выполнения безопасности как конструкций в целом, так и ее элементов при динамической нагрузке. Как правило, этого добиваются на стадии проектирования путем отстройки от резонанса, т. е. вычисляются частоты собственных колебаний элементов конструкций и сопоставляются с частотами возможных внешних гармонических воздействий. После этого принимаются меры по выведению низших частот собственных колебаний из опасной зоны.

Воздействие локальных статических нагрузок на трехслойные стержни рассмотрено в работах 1–3. В статьях 4–6 исследованы локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций, включая резонансные колебания трехслойных пластин с несжимаемым заполнителем. Здесь рассматриваются малые резонансные поперечные колебания несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем.

**Постановка задачи.** Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли, в жестком сжимаемом по толщине заполнителе справедливы соотношения Коши с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты  $z$ . На границах контакта слоев используются условия непрерывности перемещений. Деформации – малые. Система координат  $x, y, z$  связывается со срединной плоскостью заполнителя (рис. 1).

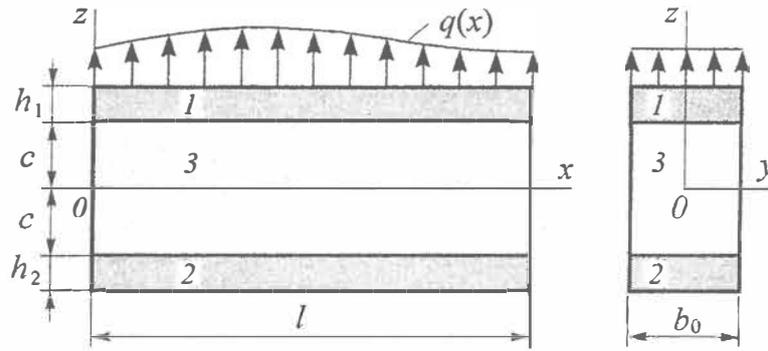


Рисунок 1 - Расчетная схема для трехслойного стержня

Распределенная поверхностная нагрузка  $q(x)$  приложена к первому слою. Искомыми считаются прогибы и продольные перемещения срединных поверхностей несущих слоёв  $w_k(x, t)$  и  $u_k(x, t)$ , ( $k = 1, 2$ ). Через  $h_k$  и  $\rho_k$  обозначены толщина и плотность материала  $k$ -го слоя;  $h_3 = 2c$ ;  $b$  – ширина стержня. Все перемещения и линейные размеры стержня отнесены к его длине  $l$ .

В соответствии с принятыми кинематическими гипотезами продольные и поперечные перемещения в слоях  $u^{(k)}(x, z)$  и  $w^{(k)}(x, z)$  можно выразить через четыре искомые функции  $w_1(x)$ ,  $u_1(x)$ ,  $w_2(x)$  и  $u_2(x)$  следующими соотношениями:

– в несущих слоях

$$u^{(1)} = u_1 - \left( z - c - \frac{h_1}{2} \right) w_{1,x}, \quad w^{(1)} = w_1 \quad (c \leq z \leq c + h_1),$$

$$u^{(2)} = u_2 - \left( z + c + \frac{h_2}{2} \right) w_{2,x}, \quad w^{(2)} = w_2 \quad (-c - h_2 \leq z \leq -c),$$

– в заполнителе

$$u^{(3)} = \left( 1 + \frac{z}{c} \right) \left( \frac{1}{2} u_1 + \frac{h_1}{4} w_{1,x} \right) + \left( 1 - \frac{z}{c} \right) \left( \frac{1}{2} u_2 - \frac{h_2}{4} w_{2,x} \right),$$

$$w^{(3)} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{z}{c} \right) w_1 + \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{z}{c} \right) w_2 \quad (-c \leq z \leq c), \quad (1)$$

где  $z$  – расстояние от рассматриваемого волокна до срединной линии заполнителя, запятая в нижнем индексе обозначает операцию дифференцирования по следующей за ней координате.

Компоненты тензора деформаций следуют из соотношений Коши и выражений для перемещений (1). Уравнение движения, рассматриваемого трехслойного стержня, получим, применяя вариационный принцип Лагранжа с учетом работы сил инерции:

$$\delta A - \delta W = \delta A_I, \quad (2)$$

где  $\delta A$  – вариация работы внешних сил,  $\delta W$  – вариация работы внутренних сил упругости,  $\delta A_I$  – вариация работы сил инерции.

При определении работы внешних сил считаем, что к внешней поверхности первого несущего слоя приложены произвольная распределенная нагрузка  $q(x)$  (см. рис. 1), а к торцам стержня – некоторые усилия и моменты. Тогда

$$\delta A = b \int_0^l q \delta w_1 dx; \quad \delta W = b \int_0^l \left[ \sum_{k=1}^3 \int_{h_k} \sigma_{xx}^{(k)} \delta \varepsilon_{xx}^{(k)} dz + 2 \int_{h_3} \sigma_{xz}^{(3)} \delta \varepsilon_{xz}^{(3)} dz + \int_{h_3} \sigma_{zz}^{(3)} \delta \varepsilon_{zz}^{(3)} dz \right] dx;$$

$$\delta A_I = b \sum_{k=1}^3 \int_0^l \int_{h_k} \left[ \rho_k (\ddot{w}^{(k)} \delta w^{(k)} + \ddot{u}^{(k)} \delta u^{(k)}) \right] dz dx, \quad (3)$$

где две точки над перемещениями обозначают вторую производную по времени,  $\sigma_{ij}^{(k)}$  – компоненты тензора напряжений в  $k$ -м слое.

Выразив вариации деформаций и напряжений в (3) через перемещения и подставив в (2), получим следующую систему уравнений движения в перемещениях:

$$\begin{aligned} a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 u_{1,xx} - a_5 u_{2,xx} + a_2 w_{1,x} + a_3 w_{2,x} - 2a_6 w_{1,xxx} + \\ a_7 w_{2,xxx} + m_1 \ddot{u}_1 = 0; \\ -a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 u_{1,xx} - a_9 u_{2,xx} - a_3 w_{1,x} - a_{10} w_{2,x} - a_{17} w_{1,xxx} + \\ 2a_7 w_{2,xxx} + m_2 \ddot{u}_2 = 0; \\ -a_2 u_{1,x} + a_{10} u_{2,x} + 2a_6 u_{1,xxx} + a_6 u_{2,xxx} + a_{11} w_{1,xx} - a_{12} w_{2,xx} + \\ + a_{15} w_{1,xxxx} - a_{16} w_{2,xxxx} + a_8 w_1 - a_8 w_2 + m_1 \ddot{w}_1 - m_3 \ddot{w}_{1,xx} = q; \\ -a_3 u_{1,x} + a_{17} u_{2,x} - a_7 u_{1,xxx} - 2a_7 u_{2,xxx} - a_{12} w_{1,xx} + a_{14} w_{2,xx} - \\ -a_{16} w_{1,xxxx} + a_{13} w_{2,xxxx} - a_8 w_1 + a_8 w_2 + m_2 \ddot{w}_2 - m_4 \ddot{w}_{2,xx} = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Здесь коэффициенты выражаются через механические модули сдвига  $G_k$  и объемной деформации  $K_k$  и геометрические параметры стержня:

$$a_1 = \frac{G_3}{2c}, \quad a_2 = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) - \frac{K_3^-}{2}, \quad a_3 = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2}; \quad a_4 = K_1^+ h_1 + \frac{2K_3^+ c}{3};$$

$$a_5 = \frac{K_3^+ c}{3};$$

$$a_6 = \frac{K_3^+ c h_1}{6}; \quad a_7 = \frac{K_3^+ c h_2}{6}; \quad a_8 = \frac{K_3^+}{2c}; \quad a_9 = K_2^+ h_2 + \frac{2K_3^+ c}{3};$$

$$a_{10} = \frac{G_3}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) + \frac{K_3^-}{2};$$

$$a_{11} = \frac{K_3^- h_1}{2} - \frac{G_3 c}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right)^2 - \frac{G_3 c}{6};$$

$$a_{12} = \frac{K_3^- (h_1 + h_2)}{4} + \frac{G_3 c}{2} \left( 1 + \frac{h_1}{2c} \right) \left( 1 + \frac{h_2}{2c} \right) - \frac{G_3 c}{6};$$

$$\begin{aligned}
 a_{13} &= \frac{K_2^+ h_2^3}{12} + \frac{K_3^+ c h_2^2}{6}; \quad a_{14} = \frac{K_3^- h_2}{2} - \frac{G_3 c}{2} \left(1 + \frac{h_2}{2c}\right)^2 - \frac{G_3 c}{6}; \\
 a_{15} &= \frac{K_1^+ h_1^3}{12} + \frac{K_3^+ c h_1^2}{6}; \\
 a_{16} &= \frac{K_3^+ c h_2 h_1}{12}; \quad a_{17} = \frac{G_3}{2} \left(1 + \frac{h_2}{2c}\right) - \frac{K_3^-}{2}, \quad K_k^+ = K_k + \frac{4}{3} G_k, \quad K_k^- = K_k - \frac{2}{3} G_k, \\
 m_1 &= \rho_1 h_1 + \frac{2}{3} \rho_3 c, \quad m_2 = \rho_2 h_2 + \frac{2}{3} \rho_3 c, \quad m_3 = \frac{\rho_1 h_1^3}{12} + \frac{\rho_3 c h_1^2}{6}, \\
 m_4 &= \frac{\rho_2 h_2^3}{12} + \frac{\rho_3 c h_2^2}{6}, \\
 m_5 &= \frac{\rho_3 c h_1}{6}, \quad m_6 = \frac{\rho_3 c h_1 h_2}{12}, \quad m_7 = \frac{\rho_3 c h_2}{6}, \quad m_8 = \frac{\rho_3 c}{3}.
 \end{aligned}$$

Граничные условия свободного опирания стержня по торцам ( $x = 0; 1$ ) на неподвижные в пространстве жесткие опоры в перемещениях имеют вид:

$$w_k = u_{k,x} = w_{k,xx} = 0 \quad (k = 1, 2). \quad (5)$$

Начальные условия движения (перемещения и скорости точек срединных поверхностей несущих слоев) принимаем нулевыми, что не уменьшает общности решений, но делает выкладки менее громоздкими.

Для решения начально-краевой задачи (4), (5) искомые перемещения  $u_1(x)$ ,  $u_2(x)$ ,  $w_1(x)$ ,  $w_2(x)$  и нагрузка  $q(x, t)$  представляются в виде разложения в ряды по системам базисных функций, удовлетворяющим принятым граничным условиям (5):

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \sum_{m=0}^{\infty} \cos(\pi m x) T_{m1}(t); \quad u_2 = \sum_{m=0}^{\infty} \cos(\pi m x) T_{m2}(t); \quad w_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m x) T_{m3}(t); \\
 w_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m x) T_{m4}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin(\pi m x) q_m(t), \quad q_m(t) = 2 \int_0^1 q(x, t) \sin(\pi m x) dx, \quad (6)
 \end{aligned}$$

где  $T_{mi}(t)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) – неизвестные функции времени;  $q_m(t)$  – коэффициенты разложения нагрузки в ряд.

Подстановка выражений (6) в (4), приводит к системе уравнений для определения функций  $T_{mi}(t)$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ), которая в матричном виде следующая:

$$[B]\{T\} + [M]\{\ddot{T}\} = \{Q\}. \quad (7)$$

Здесь  $[B]$  – квадратная матрица четвертого порядка, элементы которой  $B_{mij}$  определяются через параметры  $b_i$ , зависящие от  $m$  и выражающиеся через коэффициенты  $a_i$ ;  $[M]$  – диагональная матрица четвертого порядка с элементами  $M_{mij}$ ;  $\{T\}$  и  $\{\ddot{T}\}$  – вектор-столбцы, сформированные из искомых функций времени  $T_{mi}$  и их вторых производных;  $\{Q\}$  – вектор, элементы которого  $Q_{mk}$  составлены из коэффициентов  $q_m(t)$ :

$$[B] = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \\ b_2 & b_5 & b_6 & -b_7 \\ b_3 & b_6 & b_8 & b_9 \\ b_4 & -b_7 & b_9 & b_{10} \end{bmatrix}, \quad \{T\} = \begin{bmatrix} T_{m1} \\ T_{m2} \\ T_{m3} \\ T_{m4} \end{bmatrix}, \quad \{Q\} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_m \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \{\ddot{T}\} = \begin{bmatrix} \ddot{T}_{m1} \\ \ddot{T}_{m2} \\ \ddot{T}_{m3} \\ \ddot{T}_{m4} \end{bmatrix},$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 + m_3 \left(\frac{\pi m}{l}\right)^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 + m_4 \left(\frac{\pi m}{l}\right)^2 \end{bmatrix}.$$

Для замыкания задачи сюда необходимо добавить начальные условия.

**Собственные колебания.** При собственных колебаниях предполагается, что внешняя нагрузка в (7) отсутствует  $Q_{mk}(x, t) = 0$ . Решение полученной системы представляется в виде:

$$T_{mk}(t) = A_{mk} \sin(\omega_m t + \alpha_{mk}), \quad (8)$$

где  $A_{mk}$  – амплитуда,  $\alpha_{mk}$  – начальная фаза и  $\omega_m$  – частота колебаний.

Подстановка выражения (8) в однородную систему, соответствующую (7) приводит к обобщенной задаче на собственные значения. Получаемая система алгебраических уравнений однородна относительно амплитуд  $A_{mk}$ . Нулевое решение в рассматриваемом случае означает отсутствие колебаний. Для нахождения нетривиального решения необходимо потребовать равенство нулю ее определителя. Это приводит к алгебраическому уравнению 4-го порядка относительно  $\omega_k^2$ . Решив его, получим четыре вещественных неотрицательных корня. Таким образом, колебательный процесс для каждого значения параметра  $m$  оказывается четырехчастотным. Следовательно, решение (8) нужно принять в виде:

$$T_{mk}(t) = \sum_{i=1}^4 A_{mki} \sin(\omega_{mi} t + \alpha_{mi}).$$

Численное исследование частот и форм колебаний проводилось для трехслойного стержня, набранного из материалов Д16Т – фторопласт – Д16Т [1].

**Вынужденные колебания.** Для вынужденных колебаний образуем вспомогательные зависимости. Функции  $T_{mk}(t)$  представляются в виде разложения по собственным формам:

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \quad \left( \sum_{i=1}^4 \delta_{mik}^2 = 1 \right), \quad (9)$$

где  $\delta_{mki}$  – амплитуды нормированных собственных форм колебаний.

Функции  $\zeta_{mi}(t)$  определяются из системы уравнений

$$\ddot{\zeta}_{mi} + \omega_{mi}^2 \zeta_{mi} = \tilde{q}_{mi}(t), \quad \tilde{q}_{mi} = \sum_{k=1}^4 Q_{mk} \delta_{mki} / \sum_{k=1}^4 M_{mkk} \delta_{mki}^2. \quad (10)$$

Общее решение (10) будет иметь вид

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi}t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi}t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t - \tau)) \tilde{q}_{mi}(\tau) d\tau. \quad (11)$$

В случае резонанса дифференциальное уравнение (10) принимает вид

$$\ddot{\zeta}_{mi}(t) + \omega_{mi}^2 \zeta_{mi}(t) = \tilde{E}_m \sin(\omega_{nk}t), \quad \tilde{E}_m = E_m \delta_{m3i} / \sum_{k=1}^4 M_{mkk} \delta_{mki}^2.$$

Общее решение в случае возникновения резонанса можно получить из (11) в виде

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi}t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi}t) + y_{mi}(t),$$

$$y_{mi}(t) = \begin{cases} \frac{\tilde{E}_m}{(\omega_{mi}^2 - \omega_{nk}^2)} \sin(\omega_{nk}t) & m \neq n \text{ или } i \neq k, \\ -\frac{\tilde{E}_m}{2\omega_{mi}} t \cos(\omega_{mi}t) & m = n, i = k. \end{cases}, \quad q_m = E_m \sin(\omega_{nk}t), \quad (12)$$

Константы интегрирования  $A_{mi}$ ,  $B_{mi}$  следуют из начальных условий и решения (12).

**Результаты.** Рассмотрим поперечные колебания упругих трехслойных стержней под действием гармонических резонансных нагрузок, то есть нагрузок, частота которых совпадает с одной из собственных частот колебаний системы. Для аналитической записи нагрузок воспользуемся единичной функцией Хевисайда  $H_0(x)$  [1].

На рассматриваемый стержень действует резонансная поверхностная гармоническая нагрузка, равномерно распределенная внутри интервала  $0 \leq x \leq a \leq 1$ .

$$q(x, t) = q_0 H_0(a - x) \sin(\omega_{mk}t). \quad (13)$$

Подставляя (13) в формулу (12), получаем параметры нагрузки

$$E_m = \frac{2q_0}{\pi m} (1 - \cos(\pi m a)) \quad (m = 1, 2, 3, \dots). \quad (14)$$

Функция времени определяется выражением (9) с учетом (14).

Если коэффициент  $E_m = 0$ , то мы имеем явление, называемое ложным резонансом – частота возмущающей силы совпадает с одной из собственных частот колебаний трехслойного стержня, однако нарастания амплитуды колебаний не происходит. Ложный резонанс здесь может иметь место при  $\cos(\pi m a) = 1$ , или  $a = \frac{2p}{m} \leq 1$  ( $p = 1, 2, 3, \dots$ ).

Численный счет проводился для трехслойного стержня единичной длины, слою которого набраны из материалов Д16Т – фторопласт – Д16Т. Относительные толщины слоев принимались  $h_1 = 0,01$ ,  $h_2 = 0,05$ ,  $c = 0,09$ . Амплитуда интенсивности поверхностной нагрузки  $q_0 = 6,4 \cdot 10^3$  Па. При вычислении перемещений исследовалась сходимость рядов в (6). Результаты показали, что достаточно ограничиться пер-

выми 14 слагаемыми, т. к. последующие 36 членов ряда вносят поправку, не превышающую 0,05 %.

Перемещения вдоль оси стержня при резонансе по частоте  $\omega_{11}$  и длинах пятна нагрузки  $a = 0,25; 0,5; 0,75; 1$  (номера кривых соответственно возрастают) в момент  $t = 1$  с приведены на рис. 2.

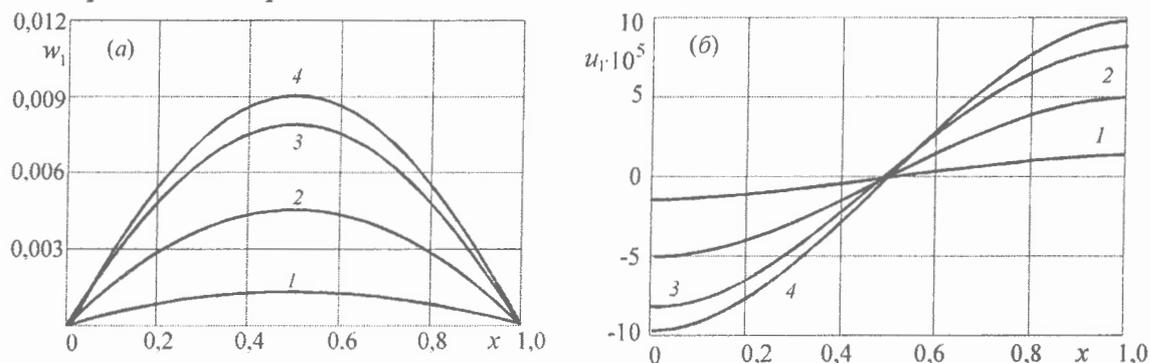


Рисунок 2 - Графики зависимости прогиба (а) и продольного перемещения (б) первого слоя вдоль оси стержня при различной протяженности нагрузки

Прогибы достигают максимума примерно в центре стержня и не меняют своего знака вдоль его оси. Здесь следует отметить, что уменьшение пятна нагрузки до  $a = 0,02$  вызывает отклонение максимума прогиба от срединного сечения в сторону нагрузки не более чем на 5 % длины стержня. Постепенное увеличение размеров пятна приводит к сдвигу максимума прогиба в сторону центра стержня, который достигается при  $a = 1$ . Тангенциальные перемещения меняют знак в центре стержня и максимальны на его краях.

**Выводы.** Таким образом, предложенная математическая модель трехслойного стержня позволяет описывать его поперечные колебания в области резонанса. В каждом из рассмотренных видов резонансного (по низшей частоте) воздействия, наиболее опасной (вызывающей большие перемещения) оказывалась статически эквивалентная поверхностная нагрузка, стянутая к центру стержня. При совпадении частоты возмущающей нагрузки с некоторыми собственными частотами колебаний стержня наблюдается явление ложного резонанса.

### Обозначения

$\rho_k$  – плотность материала  $k$ -го слоя ( $k = 1, 2, 3$ );  $q(r, t)$  – внешняя распределенная нагрузка;  $q_n(t)$  – коэффициенты разложения нагрузки в ряд по собственным функциям;  $q_0$  – интенсивность распределенной поверхностной нагрузки;  $w_1, w_2$  – прогибы несущих слоев стержня;  $u_1, u_2$  – горизонтальное перемещение срединной поверхности несущих слоев;  $G_k, K_k$  – модули сдвига и объемной деформации;  $l$  – длина стержня;  $T_{mk}(t)$  – функция времени;  $\delta_{mki}$  – собственные формы колебаний;  $A_n, B_n$  – константы интегрирования;  $h_1, h_2, h_3 = 2c$  – толщины слоев;  $H_0$  – функция Хевисайда.

**Литература**

1. Горшков А. Г., Старовойтов Э. И., Яровая А. В. Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
2. Cheng Zhenqiang, Jemah A. K., Williams F. W. Theory for multilayered anisotropic plates with weakened interfaces // Trans. ASME. J. Appl. Mech. 1996.63, N 4. P. 1019–1026.
3. Ebsioglu J. K. On the theory on sandwich panels in the reference state // Internal. J. Eng-ng Sci. 1966. N 6. P. 166–194.
4. Старовойтов Э. И., Яровая А. В., Леоненко Д. В. Локальные и импульсные нагружения трехслойных элементов конструкций. – Гомель: БелГУТ, 2003. – 367 с.
5. Старовойтов Э.И., Леоненко Д.В., Яровая А.В. Колебания круговых трехслойных пластин под действием резонансных нагрузок // Прикл. механика. – 2003. – 39, № 12 – С. 114 – 120.
6. Старовойтов, Д. В. Леоненко, А. В. Яровая. Особенности колебаний трехслойного стержня при локальных и импульсных воздействиях // Прикл. механика. 2005. Т. 41, № 7 - С. 122–129.

**E.I. Starovoitov, A. V. Yarovaya. Resonance fluctuations of sandwich beam**

Considered fluctuations under resonance sandwich beam with filler under the action of local surface loads. For the kinematics description of carryings layers accepted the hypotheses Bernoulli. In hard compressed filler the precise ratio of a theory of elastic strength with linear approximating of movements of his its points from cross-sectional coordinate  $z$  are fair. Received the analytical deciding and conducted their numeric analysis. The capability of a development of a false resonance is investigated.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ВЯЗКОГО ТРЕНИЯ

С.А. ВОРОБЬЕВ, кандидат физико-математических наук

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Беларусь*

Представлены уравнения движения трехслойного упругого стержня с учетом внутреннего трения в материалах слоев на основе модели В. Фойгта (W. Voigt). Для исследования свободных и стационарных вынужденных колебаний используются методы Фурье и комплексных амплитуд. Исследованы спектры собственных частот идеального трехслойного стержня и с учетом внутреннего демпфирования, дан сравнительный анализ. Получены амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики. Сделан вывод о некорректности вязкой модели трения в проблеме исследования свободных и вынужденных колебаний трехслойного стержня.

**Ключевые слова:** трехслойный стержень, вязкое трение, собственная частота, комплексная частота, свободные колебания, вынужденные колебания.

**Введение.** Элементы слоистых конструкций, в частности трехслойных, широко используются в строительстве, на транспорте (воздушном, речном), в средствах защиты (бронезилеты). Это обусловлено наличием у них ряда положительных качеств: высокие показатели удельной прочности и жесткости, демпфирующей способности, хорошие теплофизические свойства.

Внутреннее трение (сопротивление) в конструкционных материалах приводит к диссипации энергии колебаний и в большинстве случаев играет положительную роль при эксплуатации различных машин, механизмов под действием динамических нагрузок. Главным образом благодаря внутреннему сопротивлению происходит затухание свободных колебаний, весьма заметное ограничение амплитуд резонансных колебаний конструкций, наблюдается снижение уровня напряжений от импульсных воздействий и ударов. Указанные причины вызывают необходимость учета сил внутреннего демпфирования в динамических расчетах, что позволяет их уточнить, и, как следствие, повысить эксплуатационные характеристики и экономические показатели проектируемого оборудования, устранить ложные прогнозы его аварийного останова.

Первые работы по учету сил внутреннего трения в материалах при колебаниях механических систем датируются второй половиной девятнадцатого века. За это время исследователями было предложено огромное количество моделей трения, но, пожалуй, ни одна из них не является непротиворечивой. Это объясняется исключи-

тельной сложностью проблемы при ее несомненной важности для прикладных задач динамики инженерных конструкций.

Обзор основных моделей внутреннего трения, используемых в расчетах, можно найти, например, в работах [1, 2].

Цель данной работы – выяснить возможность использования и оценить пригодность вязкой модели трения, являющейся по сути классической, в динамических расчетах трехслойного стержня, установить влияние сил сопротивления на его частотные характеристики.

**Постановка задачи.** Рассматривается трехслойный стержень, несимметричный относительно срединной плоскости несжимаемого жесткого заполнителя. Материалы слоев линейно-упругие, изотропные, однородные. Поперечное сечение каждого слоя – прямоугольник с основанием  $b=1$  и постоянной толщиной  $2h_k$  ( $k=1,2,3$ ). Верхнему несущему слою соответствует индекс  $k=1$ , нижнему –  $k=2$ , внутреннему заполнителю –  $k=3$ . Начало прямоугольной системы координат связано с левым торцом балки, ось продольной координаты  $x$  совмещена со срединной плоскостью заполнителя, ось  $z$  – перпендикулярно вверх первому несущему слою. Считаем, что закрепление кромок несущих слоев осуществляется идеальными мембранами, установленными на срезах торцов. На внешние поверхности несущих слоев могут действовать распределенные нагрузки, проекции которых на оси  $x, z$  –  $p^{(k)}(x,t)$ ,  $q^{(k)}(x,t)$  соответственно.

На основании вариационного принципа Гамильтона-Остроградского, используя гипотезы Тимошенко для каждого слоя и условия непрерывности перемещений на границах контакта слоев, получаем уравнения движения идеальной модели стержня в перемещениях:

$$[M]\{\dot{U}\} + [L]\{U\} = \{F\}, \quad (1)$$

где  $\{U\}^T = \{u, w, \psi^{(1)}, \psi^{(2)}, \psi^{(3)}\}$  – искомая вектор-функция,  $u(x,t)$  – продольные перемещения точек срединной плоскости заполнителя,  $w(x,t)$  – прогиб,  $\psi^{(k)} = -w_{,x} + \gamma_{xz}^{(k)}$  – полный угол поворота прямолинейного элемента в  $k$ -ом слое,  $\gamma_{xz}^{(k)}$  – поперечный сдвиг;  $\{F\}^T = \{p^{(1)} + p^{(2)}, q^{(1)} + q^{(2)}, 0, 0, 0\}$  – вектор нагрузок;  $[M] = \text{diag}[m_1, \dots, m_5]$  – матрица масс, характеризующая инерционные свойства стержня

$$m_1 = m_2 = 2 \sum_{i=1}^3 \rho_i h_i; \quad m_l = 8 \rho_j h_j^3 / 3, \quad (l=3, j=1; l=4, j=2); \quad m_5 = 2h_3^2 (\rho_3 h_3 / 3 + \sum_{i=1}^2 \rho_i h_i).$$

$[L] = [l_{ij}]$  ( $i, j = \bar{1}, \bar{5}$ ) – матрица, элементы которой – линейные дифференциальные операторы по переменной  $x$ :

$$l_{11} = a_{11} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{12} = 0; \quad l_{13} = a_{13} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{14} = a_{14} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{15} = a_{15} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{21} = 0; \quad l_{22} = a_{22} \frac{\partial^2}{\partial x^2};$$

$$l_{23} = a_{23} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{24} = a_{24} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{25} = a_{25} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{31} = a_{31} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{32} = a_{32} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{33} = a_{33}^0 + a_{33} \frac{\partial^2}{\partial x^2};$$

$$l_{34} = 0; \quad l_{35} = a_{35} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{41} = a_{41} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{42} = a_{42} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{43} = 0; \quad l_{44} = a_{44}^0 + a_{44} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{45} = a_{45} \frac{\partial^2}{\partial x^2};$$

$$l_{51} = a_{51} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{52} = a_{52} \frac{\partial}{\partial x}; \quad l_{53} = a_{53} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{54} = a_{54} \frac{\partial^2}{\partial x^2}; \quad l_{55} = a_{55}^0 + a_{55} \frac{\partial^2}{\partial x^2},$$

где

$$a_{11} = -2 \sum_{i=1}^3 E_i h_i; \quad a_{13} = -2E_1 h_1^2; \quad a_{14} = 2E_2 h_2^2; \quad a_{15} = -2h_3(E_1 h_1 - E_2 h_2); \quad a_{22} = -2 \sum_{i=1}^3 G_i h_i;$$

$$a_{23} = -2G_1 h_1; \quad a_{24} = -2G_2 h_2; \quad a_{25} = -2G_3 h_3; \quad a_{31} = -2E_1 h_1^2; \quad a_{32} = a_{33}^0 = 2G_1 h_1; \quad a_{33} = -8E_1 h_1^3 / 3;$$

$$a_{35} = -2E_1 h_1^2 h_3; \quad a_{41} = 2E_2 h_2^2; \quad a_{42} = a_{44}^0 = 2G_2 h_2; \quad a_{44} = -8E_2 h_2^3 / 3; \quad a_{45} = -2E_2 h_2^2 h_3;$$

$$a_{51} = -2h_3(E_1 h_1 - E_2 h_2); \quad a_{55} = -2h_3^2(E_3 h_3 / 3 + \sum_{i=1}^2 E_i h_i); \quad a_{12} = a_{21} = a_{34} = a_{43} = 0;$$

$$a_{52} = a_{55}^0 = 2G_3 h_3; \quad a_{53} = -2E_1 h_1^2 h_3; \quad a_{54} = -2E_2 h_2^2 h_3.$$

В уравнениях (1)  $E_k, G_k$  – модули Юнга первого и второго рода соответственно. Подробности постановки этой задачи и уравнения движения трехслойного стержня, полученные при других гипотезах, представлены в работе [3].

Упругие несовершенства материалов слоев стержня по теории вязкого трения учитываются путем замены в системе (1) модулей Юнга  $E_k$  на операторы  $E_k^* = (1 + \chi_k \cdot \partial / \partial t)$ , где  $\chi_k$  – коэффициент внутренней вязкости материала  $k$ -го слоя,  $t$ -время. Тогда уравнения движения вязкой модели трехслойного стержня можно представить в виде:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [B]\{\dot{U}\} + [L]\{U\} = \{F\}, \quad (2)$$

где  $[B] = [b_{ij}] (i, j = \bar{1}, \bar{5})$  – матрица демпфирования, элементы которой – линейные дифференциальные операторы по координате  $x$ , которые можно легко получить путем добавления множителей  $\chi_k$  при  $E_k$  в коэффициентах  $a_{ij}$ , содержащихся в  $[l_{ij}]$ . Точка сверху – частная производная по времени. Все остальные компоненты уравнений (2) идентичны (1).

В дальнейших исследованиях рассматривается трехслойный стержень, шарнирно опертый по торцам на жесткие неподвижные опоры. Однородные граничные условия в этом случае определяются такими соотношениями:

$$w(0, \tau) = w(1, \tau) = 0; \quad w_{,\xi\xi}(0, \tau) = w_{,\xi\xi}(1, \tau) = 0; \quad (3)$$

$$u_{,\xi}(0, \tau) = u_{,\xi}(1, \tau) = 0; \quad \psi_{,\xi}^{(k)}(0, \tau) = \psi_{,\xi}^{(k)}(1, \tau) = 0.$$

Запятая в нижнем индексе означает операцию дифференцирования по следующей за ней координате. Здесь и далее используются безразмерные параметры:  $\xi = x'/L'$ ;  $h_k = h'_k/L'$ ;  $w = w'/L'$ ;  $u = u'/L'$ ;  $\omega^2 = (\omega')^2 \rho'_0(L')^2 / P'_0$ ;  $\theta^2 = (\theta')^2 \rho'_0(L')^2 / P'_0$ ;  $G_k = G'_k / P'_0$ ;  $E_k = E'_k / P'_0$ ;  $\rho_k = \rho'_k / \rho'_0$ ;  $\rho'_0 = 1 \text{ кг/м}^3$ ;  $P'_0 = 10^4 \text{ МПа}$ ; ( $k = 1, 2, 3$ ),

где  $L'$  – длина стержня, штрих вверх означает размерную величину.

Для исследования свободных и стационарных вынужденных колебаний воспользуемся методами Фурье и комплексных амплитуд, представив искомые перемещения в следующем виде:

$$u(\xi, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \cos(n\pi\xi) \tilde{U}_n e^{i\tilde{\omega}\tau}; \quad w(\xi, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \sin(n\pi\xi) \tilde{W}_n e^{i\tilde{\omega}\tau};$$

$$\psi^{(k)}(\xi, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \cos(n\pi\xi) \tilde{\Psi}_n^{(k)} e^{i\tilde{\omega}\tau} \quad (k = 1, 2, 3), \quad (4)$$

где  $\tilde{\Psi}_n^{(k)} = \Psi_n^{(k)} e^{i\varphi_n^{(k)}}$ ,  $\tilde{U}_n = U_n e^{i\varphi_n^{(4)}}$ ,  $\tilde{W}_n = W_n e^{i\varphi_n^{(5)}}$  – комплексные амплитуды перемещений,  $\tilde{\omega} = a + ib$  – комплексная частота,  $i = \sqrt{-1}$  – мнимая единица,  $a, b, \Psi_n^{(k)}, U_n, W_n$  – действительные величины. В случае вынужденных колебаний вместо  $\tilde{\omega}$  используется действительный частотный параметр  $\theta$ . Подстановка (4) в уравнения (2) приводит к бесконечным системам линейных алгебраических уравнений относительно комплексных амплитуд. Очевидно, коэффициенты этих систем будут функциями  $\tilde{\omega}$  или  $\theta$  в зависимости от того, какие колебания (свободные или вынужденные) рассматриваются. Принимая  $\{F\} \equiv 0$  в (2), получаем характеристические уравнения десятого порядка с комплексными коэффициентами для исследования спектров частот расчетных моделей стержня. Стационарное решение систем уравнений (2) от воздействия сосредоточенной нагрузки  $q(\xi, \tau) = F_0 \cdot \delta(\xi - \xi_l) e^{i\theta\tau}$  находим стандартными методами ( $\xi_l$  – координата сечения, в котором она приложена,  $\delta(\xi)$  – дельта-функция).

**Численные результаты.** Частотные характеристики исследовались для стержня с толщинами  $h_1 = h_2 = 0,01$ ;  $h_3 = 0,03$ . В качестве материалов несущих слоев принимался алюминиевый сплав Д16Т, материал заполнителя – фторопласт-4. Коэффициенты неупругого сопротивления  $\gamma_1 = \gamma_2 = 0,01$ ;  $\gamma_3 = 0,1$ . Таким образом, при частоте возбуждения  $\theta = \text{const}$  принимаем  $\chi_k = \gamma_k / \theta$ , а при свободных колебаниях  $\chi_k = \gamma_k / \omega_0$  ( $k = 1, 2, 3$ ),  $\omega_0$  – частота основного тона собственных колебаний трехслойного стержня без учета демпфирования.

На рисунке 1 представлены амплитудно-частотная поверхность, а на рисунке 2 – фазо-частотная поверхность вязкой модели, которые позволяют представить общую картину изменения этих характеристик по длине стержня.

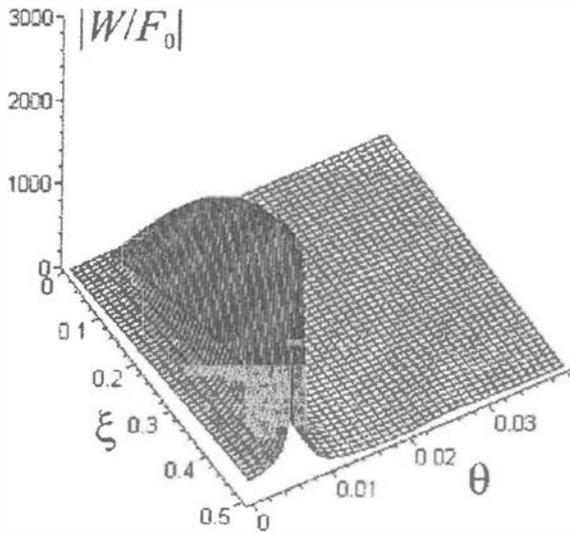


Рисунок 1 - Амплитудно-частотная характеристика трехслойного стержня с учетом сил внутреннего трения в материалах на основе вязкой модели

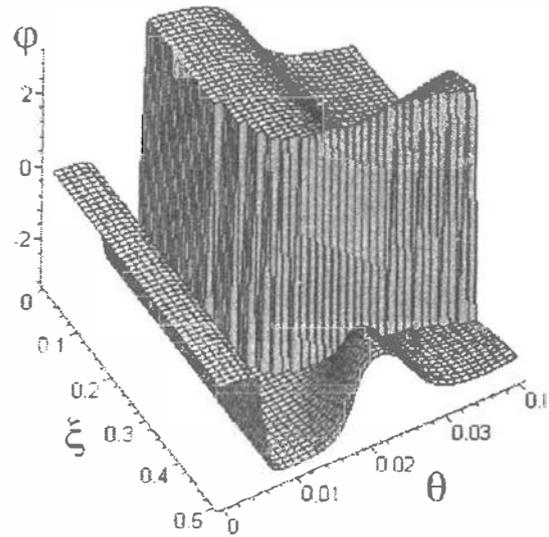


Рисунок 2 - Фазо-частотная характеристика трехслойного стержня с учетом сил внутреннего трения в материалах на основе вязкой модели

Из рисунка 1 хорошо видно, что при величине параметра  $\theta = \omega_0$  (резонанс по частоте основного тона) амплитуда колебаний, хотя и ограничена, но ее значение намного превосходит статическое перемещение ( $\theta = 0$ ). По мере возрастания  $\theta$  амплитуды колебаний быстро убывают, не превышая по величине даже статические перемещения от действия сосредоточенной нагрузки. Детальную картину изменения амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ) как функций  $\xi$  или  $\theta$  дают разрезы соответствующих поверхностей при  $\xi = const$  и  $\theta = const$ .

Теория вязкого внутреннего трения весьма удобна в расчетах, но она не подтверждается экспериментальными данными для металлов [2], или дает результаты, зачастую противоречащие сложившимся представлениям по механике хорошо изученных процессов. В частности для однородного стержня в работе [1] показано, что спектр собственных частот вязкой модели с возрастанием номера тона изменяется весьма странным образом, в сравнении с идеальной моделью.

Подобные противоречия можно увидеть на рисунке 3, где показаны участки спектров собственных частот  $\omega_{4,n}$  двух моделей трения трехслойного стержня ( $n$  – номер тона собственных колебаний).

У модели стержня без учета сил трения с увеличением  $n$  частоты  $\omega_{i,n}$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) монотонно возрастают (сплошная линия). Чего нельзя констатировать для вязкой модели (штрихпунктирная линия).

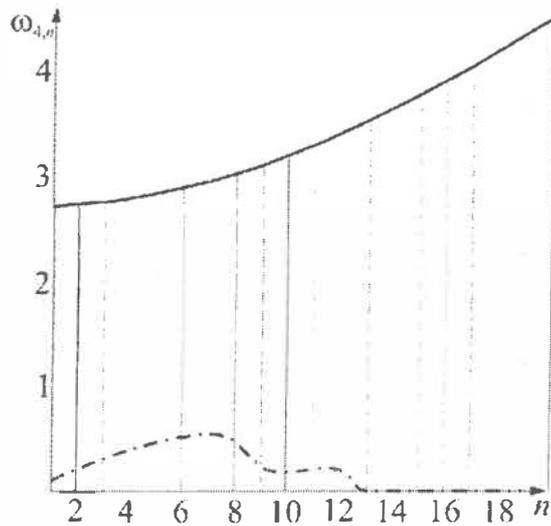


Рисунок 3 - Изменение собственных частот трехслойного стержня в зависимости от номера тона собственных колебаний идеального стержня (сплошная линия) и с учетом сил внутреннего трения (штрихпунктирная линия)

**Выводы.** Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что динамические расчеты, выполненные на основе вязкой модели, в узком интервале частот вполне согласуются с механикой процесса деформирования реальной конструкции. Однако, они могут оказаться малопригодными в широком диапазоне изменения параметров нагружения и физико-механических, геометрических характеристик стержня. Таким образом, необходима корректировка вязкой модели внутреннего демпфирования. Возможно, коэффициент вязкости должен менять свою величину для различных форм собственных колебаний.

Несмотря на малую величину сил внутреннего сопротивления их учет необходим, в частности, при исследовании стационарных колебаний в областях резонанса. Пренебрежение трением в этих случаях может привести к значительным искажениям амплитуд перемещений и напряжений. Так, например, при  $\theta \approx \omega_{1,1}$  отношение  $A_I / A_V \approx 62$  (индекс  $I$  – идеальная модель,  $V$  – вязкая). В других резонансных областях это отношение составляет более тридцати единиц.

### Обозначения

$2h_k$  – толщина  $k$ -го слоя;  $u(x,t)$  – продольные перемещения точек срединной плоскости заполнителя;  $w(x,t)$  – прогиб;  $\psi^{(k)} = -w_{,x} + \gamma_{xz}^{(k)}$  – полный угол поворота прямолинейного элемента в  $k$ -ом слое;  $\gamma_{xz}^{(k)}$  – поперечный сдвиг;  $[M] = \text{diag}[m_1, \dots, m_5]$  – матрица масс;  $[L] = [l_{ij}]$  ( $i, j = \overline{1, 5}$ ) – матрица, элементы которой – линейные дифференциальные операторы по переменной  $x$  с постоянными коэффициентами, которые выражаются через геометрические и механические параметры слоев стержня;  $E_k, G_k$  – модули упругости материала  $k$ -го слоя;  $\chi_k$  – коэффи-

циент внутренней вязкости материала  $k$ -го слоя;  $[B] = [b_{ij}] (i, j = \overline{1, 5})$  – матрица демпфирования;  $\xi$  – безразмерная продольная координата;  $\theta$  – безразмерный частотный параметр изменения вибрационной нагрузки;  $\omega$  – безразмерная собственная частота;  $\rho_k$  – безразмерная плотность материала  $k$ -го слоя;  $i$  – мнимая единица;  $\tilde{\omega}$  – комплексная частота;  $\Psi_n^{(k)}, U_n, W_n$  – амплитудные значения угловых и линейных перемещений;  $\delta(\xi)$  – дельта-функция;  $q(\xi, \tau)$  – интенсивность поперечной нагрузки;  $\tau$  – время в относительных единицах;  $\gamma_k$  – коэффициент неупругого сопротивления  $k$ -го слоя;  $\varphi_n^{(j)}$  – начальный фазовый угол сдвига на  $n$ -ой гармонике колебаний;  $F_0$  – амплитудное значение вибрационной нагрузки.

### Литература

1. Кочнева Л.Ф. Внутренне трение в твердых телах при колебаниях. – М.: Наука, 1979. 96 с.
2. Нашиф А, Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний. – М.: Мир, 1988. 448 с.
3. Воробьев С.А. Исследование спектра частот собственных колебаний трехслойного стержня на основе различных моделей // Материалы IX Международного симпозиума “Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред”. – М.: МАИ, 2003. С. 183-190.

#### S. A. Vorobyov **Investigation of frequency responses of a sandwich beam on the base of viscous model of damping**

Equations of motion of a sandwich elastic beam with taking into account internal damping in materials of layers on the base of Voigt model are given. Methods of Fourier and complex amplitudes are used in analysis of free and stationary forced vibrations. Spectrums of fundamental frequencies of ideal and damped sandwich beams were examined, comparative analysis was given. Amplitude and phase-frequency responses were obtained. Conclusion about incorrectness of viscous model of damping in the problem of investigation of free and forced vibrations of a sandwich beam was done.

УДК 007; 681.3

## СТАБИЛИЗАЦИЯ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОГЕННО ОПАСНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.В. МАКСИМЕЙ<sup>1</sup>, доктор технических наук, профессор

В.С. СМОРОДИН<sup>2</sup>, кандидат физико-математических наук, доцент

<sup>1</sup>Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь

<sup>2</sup>Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь

Сообщается о возможности организации управления технологическим процессом производства реального времени с помощью комплекса имитации. Излагаются технология управления производственным процессом и методика контроля состояния индикаторов системы.

**Ключевые слова:** стратегия резервирования, отказы оборудования, технологические процессы опасного производства.

**Введение.** Нынешний этап развития производства характеризуется внедрением и использованием новых технических систем, которые базируются на средствах вычислительной техники, включают в свой состав измерительные и управляющие комплексы, технологическое оборудование и обслуживающий персонал. Исследование подобных производственных систем традиционными математическими методами не представляется возможным, поскольку их поведение описывается таким большим количеством математических соотношений, что найти решения возникающих задач в приемлемое время нельзя даже с помощью мощных ЭВМ, в связи с чем имитационное моделирование по сути стало одним из немногочисленных методов решения подобного рода задач. С процессом переоснащения производства тесно связаны вопросы повышения надежности и безопасности осуществления производственной деятельности, так как недооценка важности комплекса работ в данном направлении может привести либо к трагическим последствиям (Чернобыльская техногенная авария), либо к неоправданным расходам (убытки от техногенной аварии на московских электросетях, по данным средств массовой информации России, составили около одного миллиарда долларов США), поэтому разработка программного обеспечения систем интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений для обеспечения возможности принимать решения, опираясь на результаты реальных измерений и анализ состояния оборудования, представляется актуальной.

**Описание объекта исследования.** В качестве объекта управления используется технологический процесс производства (ТПП), имеющий малую скорость реа-

лизации выполнения взаимосвязанных технологических операций ( $TXO_{ij}$ ), определенный в виде графовой структуры и обладающий иерархической организацией. Запросы ресурсов ТПП каждой  $TXO_{ij}$  являются случайными величинами. Возможны также вероятностные связи между  $TXO_{ij}$  внутри ТПП. Для такого рода ТПП известные аналитические модели [1] неприменимы из-за вероятностных значений запросов ресурсов, времени и стоимости выполнения технологических операций. Для исследования динамики ТПП нами использовались имитационные модели (ИМ) вероятностных сетевых графиков (ВСГР) [2], которые оперативным образом можно создавать с помощью системы автоматизации имитационного моделирования (САИМ) [3]. Поскольку рассматриваемые в данной работе ТПП имеют малую скорость реализации, то будущую ситуацию в ТПП с некоторым интервалом упреждения ( $\tau_{up}$ ) можно экстраполировать в системе принятия решений SPRESH, чтобы в дальнейшем иметь возможность нужным образом воздействовать на производственный процесс. Малая скорость развития ТПП в ряде случаев позволяет выработать необходимые воздействия на него со стороны SPRESH, которые на интервал времени  $\tau_{up}$  проверены на комплексе имитационного моделирования (КИМ). В данной работе рассматривается конфигурация, когда КИМ состоит из системы SPRESH, имитационной модели ТПП агрегатного типа и эксперта-технолога (EXPERT). Ниже излагается технология управления ТПП с помощью КИМ, которая основывается на построении и анализе ИМ ВСГР для производственной системы, представленной в виде графовой структуры.

Состав характеристик и параметров управления медленно развивающегося потенциально опасного технологического процесса. На рис.1 приведена структура взаимодействия компонентов управления медленно развивающимся ТПП. От регистров  $h$ -го варианта реального ТПП на SPRESH поступают значения характеристик оборудования ТПП ( $G_h^*$ ), индикаторов «наработки»  $r$ -го номера оборудования  $\{ind_{ir}^*\}$ , возможные реакции ТПП на ситуации в самом ТПП или его оборудовании  $\{\alpha_k^*\}$ , признаков появления аварии ( $\pi_{abr}^*$ ) на  $r$ -х устройствах оборудования, компонентов вектора индикаторов состояний ТПП  $\{z_f^*\}$ , компонентов вектора параметров управления  $\{u_f^*\}$ , статистики и отклики функционирования ТПП ( $\{ST_h^*\}$ ,  $\{Y_{mh}^*\}$ ). Эти индикаторы формируются специальными схемами контроля и управления функционированием оборудования и передаются в базу данных модели (БДМ). В свою очередь, SPRESH посылает на регистры ТПП значения следующих переменных: вновь модифицированных характеристик надёжности оборудования и запросов  $TXO_{ij}$  ресурсов ТПП ( $G_z^*$ ), начальное значение параметра выполнения ТПП ( $\{X_{nh}^*\}$ ); набор управляющих воздействий на оборудование ТПП со стороны SPRESH ( $\{\alpha_k^*\}$ ); компонентов множества корректирующих воздействий SPRESH на управляющие

переменные  $\{\Delta u_f^*\}$ .

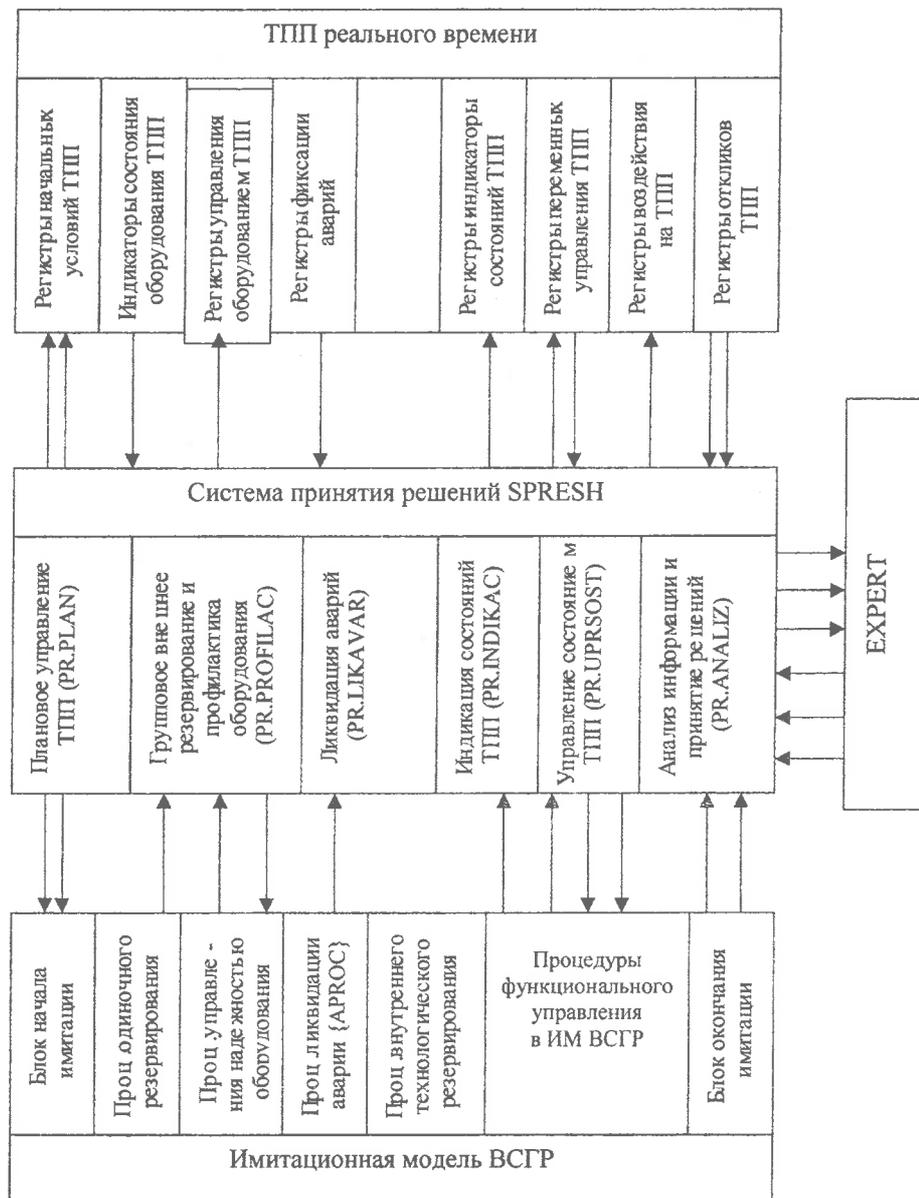


Рисунок 1 - Структура взаимодействия ТПП и компонентов управления

От  $h$ -го варианта ИМ ВСГР на SPRESH поступают следующие модельные характеристики ТПП: оборудования ТПП и запросы агрегатов  $ATOP_{ij}$  [2] на ресурсы ИМ ТПП  $\{G_h\}$ ; характеристики индикаторов наработки агрегатами оборудования  $\{ind_r\}$  номера  $r$ ; возможные реакции ИМ ТПП на ситуации в ИМ ВСГР  $\{\alpha_k\}$ , значения компонентов вектора индикаторов состояний  $\{z_f\}$ , компонентов вектора параметров управления  $\{u_f\}$  моделью ТПП; статистик и откликов функционирования ИМ ВСГР  $\{ST_h\}$  и  $\{Y_{mh}\}$ . Эти индикаторы формируются агрегатами-имитаторами оборудования, агрегатами-имитаторами выполнения  $TXO_{ij}$  и агрегатами-

имитаторами событий ( $SOB_j$ ) в ВСГР ( $ATOP_{ij}$  и  $ASOB_j$ ). От SPRESH на ИМ ВСГР поступают значения следующих переменных: модифицированные значения характеристик надёжности оборудования и запросов  $ATOP_{ij}$  ресурсов ТПП ( $G_h$ ); значения параметров выполнения ТПП  $\{X_{mh}\}$ ; управляющих воздействий на имитаторы оборудования  $\{\alpha_k\}$ , корректирующих воздействий SPRESH на ИМ ВСГР ( $\Delta u_f$ ). В состав КИМ входит также технолог ТПП, построивший ИМ ВСГР и пытающийся через SPRESH воздействовать на ИМ ВСГР и реальный ТПП. Для связи с SPRESH специалист предметной области (EXPERT) использует множество воздействий  $\theta_q$ , которые с одной стороны понятны человеку-эксперту, а с другой стороны используются SPRESH для внутреннего взаимодействия в процессе функционирования КИМ. Поэтому в составе SPRESH имеется блок связи с EXPERTом, являющийся переводчиком между SPRESH, ИМ ВСГР, реальным ТПП и EXPERTом.

Состав и структура комплекса имитации технологических процессов опасного производства. В состав комплекса имитационного моделирования входят: система принятия решений SPRESH, имитационная модель вероятностного сетевого графика (ИМ ВСГР), специалист предметной области (EXPERT), наблюдающий за развитием ТПП во времени и осуществляющий управляющие воздействия на реальный ТПП. КИМ функционирует параллельно медленно развивающемуся реальному ТПП. Кроме того, КИМ используется для выбора рационального варианта организации ТПП с помощью результатов имитационного эксперимента (ИЭ). Рассмотрим структуру и состав каждого компонента КИМ.

SPRESH состоит из набора процедур управления ТПП: планирование управления ТП ( $PR.PLAN$ ); внешнего резервирования и профилактики оборудования ТПП ( $PR.PROFILAC$ ); ликвидации аварий ( $PR.LIKAVAR$ ); индикации состояний ТПП ( $PR.INDIKAC$ ); управление состоянием ТПП ( $PR.UPRSOST$ ); анализа информации и принятия решений ( $PR.ANALIZ$ ). Как видно из рис.1, SPRESH функционирует в двух режимах: оперативного управления медленно развивающимся реальным ТПП (режим 1), имитационного моделирования развития ТПП с помощью ИМ ВСГР (режим 2). Система SPRESH организует внешнее резервирование оборудования и его переход на профилактику с помощью анализа значений этих индикаторов процедуры  $PR.PROFILAK$ .

ИМ ВСГР представляет собой результат сочетания методик сетевого планирования, имитационного моделирования и процедур Монте-Карло. Основу ИМ ВСГР составляет множество агрегатов-имитаторов: выполнение  $TXO_{ij}$  ( $ATOP_{ij}$ ), свершения событий  $SOB_j$  в ВСГР ( $ASOB_j$ ); функционирование  $r$ -го номера оборудования индивидуального и общего пользования ( $AOBIN_r$  и  $AOBOP_r$ ), выполнение процедур ликвидации аварий ( $APROC_k$ ). Агрегаты  $ATOP_{ij}$  имитируют две стороны выполнения  $TXO_{ij}$  в ИМ ВСГР: технологию их выполнения в ТПП и выполнение

функций  $TXO_{ij}$  в ИМ ВСГР. Агрегаты-имитаторы  $AOBIN_r$ ,  $AOBOP_r$  и агрегаты-процедуры  $\{APROC_k\}$  используются для отображения технологии выполнения ТПП. Агрегаты  $ASOB_j$  являются многополюсниками с различным числом входов и выходов и используются для имитации свершения событий в ВСГР и запуска соответствующих  $ATOP_{ij}$ . С помощью комбинаций различных типов кустовых выходов и определения разветвлений этих выходов эксперту-технологу предоставляется возможность внутреннего технологического регулирования выполнением  $\{ATOP_{ij}\}$  в зависимости от операционной обстановки в ТПП.

В ИМ ВСГР предусмотрено автоматическое индивидуальное резервирование оборудования, которое включается при достижении фактической наработки имитатора оборудования его критического значения. До начала имитации технолог устанавливает для каждого устройства порог  $Q_{or}$  этой наработки. Фактическая наработка  $Q_{fr}$  накапливается на индикаторе  $Ind_r$  путем добавления к накопленной сумме некоторого приращения  $\Delta Q_{fr}$  при каждом использовании  $r$ -го устройства. С интервалом  $\tau_{izm}$  значения  $\{Ind_r\}$  посылаются в SPRESH для обеспечения внешнего управления ИМ ВСГР.

Третьей составляющей КИМ является эксперт-технолог (EXPERT), который взаимодействует только с SPRESH (см. рис.1) в двух режимах: чтение информации от SPRESH и записи управляющей информации для SPRESH, которая формируется в тех случаях, когда необходимо экстренное вмешательство человека-технолога в режим имитации ТПП. С помощью ряда воздействий  $(\theta_1 \div \theta_3)$  SPRESH информирует EXPERTа о ситуации в ИМ ВСГР с помощью таблиц, графиков, временных диаграмм использования оборудования, в то время, как EXPERT формирует управляющие воздействия  $(\theta_4 \div \theta_6)$  для SPRESH, которые необходимы для оперативной корректировки течения процессов в ИМ ВСГР.

Особенности технологического и функционального управления имитационной моделью. Организация технологического управления надёжностью выполнения ИМ ВСГР рассмотрена в работах [2, 3, 4]. Полученная с помощью САИМ [3] ИМ ВСГР позволяет с помощью КИМ дополнительно организовать функциональное управление медленно развивающимся ТПП. Рассмотрим особенности организации каждого вида управления ИМ ВСГР.

Технологическое управление надёжностью функционирования оборудования может быть организовано с помощью SPRESH внешнее управление оборудования либо с помощью группового резервирования оборудования, либо путём перехода на профилактику всего оборудования ТПП; с помощью ИМ ВСГР обеспечивается внутреннее управление оборудованием либо организацией одиночного резервирования устройств, либо путём переключения отдельных имитаторов устройств оборудо-

вания на режим профилактики с приостановкой имитации на время этой профилактики.

Другим способом имитации внутреннего управления оборудованием в ВСГР является розыгрыш жребия «появления аварии»  $r$ -го оборудования и ликвидации её множеством агрегатов  $\{APROC_k\}$ . Для этой цели алгоритмы агрегатов-устройств в ИМ ВСГР имитируют свою работу в 2-х состояниях: работоспособном ( $S_1$ ) и восстановление работоспособности ( $S_2$ ). Имеет место циклический переход этих агрегатов из  $S_1$  в  $S_2$ , а затем снова в  $S_1$ . Длительность нахождения агрегатов номера  $r$  в этих состояниях являются случайными функциями, определяемые по функциям их распределения  $\Phi_{1r}(\tau)$  и  $\Phi_{2r}(\tau)$ . Процесс имитации этих агрегатов продолжается только в режиме прямой имитации до достижения реализации (согласно процедуре Монте-Карло) равного  $N$ . Алгоритм выработки отказов функционирования агрегатами оборудования подробно изложен в работах [2, 3]. При срабатывании с вероятностью  $P_{abr}$  жребия «произошла авария» проверяется тип аварии. Если авария оказалась сложной, то в SPRESH посылается признак  $\pi_{abr} = 1$ , которая инициирует ликвидацию аварии с помощью внешней цепочки процедур  $\{APROC_k\}$ . Когда авария обычного типа, то ИМ ВСГР сама организует внутреннюю ликвидацию аварии с помощью другой цепочки процедур  $\{APROC_k\}$  аналогичным образом.

Особенностью организации контроля функций взаимосвязанных  $TXO_{ij}$  является использование второй части алгоритма имитации  $ATOP_{ij}$ . Для каждого  $ATOP_{ij}$  она представляет собой подмодель информационного его взаимодействия с другим  $ATOP_{jk}$ , которое осуществляется через вектор переменных функциональной связи  $V = (b_1, \dots, b_k)$ . Алгоритмы  $ATOP_{ij}$  читают и модифицируют значения компонентов этого вектора, имитируя функционально информационную связь компонентов ИМ ВСГР. Второй группой информационного взаимодействия является вектор переменных управления ИМ ВСГР  $U = (u_1, u_2, \dots, u_k)$ , которые модифицируются только с помощью специально предназначенных агрегатов  $ATOP_{ij}$ , обеспечивая частичную корректировку компонентов вектора состояний ( $z_f$ ) ИМ ВСГР путём увеличения или уменьшения  $u_f$  соответственно на величину ( $\Delta u_f^+$  и  $\Delta u_f^-$ ). Третьей группой глобальных переменных ИМ ВСГР является вектор индикаторов состояний ИМ ТПП  $Z = (z_1, z_2, \dots, z_f)$ . Алгоритмы  $ATOP_{ij}$  в режиме контроля за функционированием  $TXO_{ij}$  формируют значения компонентов этого вектора  $\{z_f\}$ . Компоненты вектора  $Z$ , используемого для контроля, имеют допустимые пределы изменения, задаваемые в таблице  $TZ = (z_f^-, z_f^+)$ , где  $z_f^-, z_f^+$  - соответственно верхние и нижние границы индикатора  $z_f$ . Допустимые границы индикаторов в таблице  $TZ$  технолог указывает ИМ ВСГР до остановки ИЭ. В процессе анализа выхода за допустимые границы

$ATOP_{ij}$  вырабатывает значение компонентов вектора модификации, которые равны  $\pi_f = -1$  когда  $z_f < z_f^-$  и  $\pi_f = +1$  когда  $z_f > z_f^+$ . После формирования вектора компонентов корректировки  $\{\pi_f\}$  они передаются в «теле» действительного сигнала  $Sgd$  на  $ASOB_j$ . На этом функциональная часть  $ATOP_{ij}$  завершает свою работу, и далее выполняется алгоритм технологической части  $ATOP_{ij}$ , рассмотренный ранее. В  $ASOB_j$  «тело»  $Sgd$  используется алгоритмом обслуживания 4-го типа выходов следующим образом. Перед началом имитации технолог для каждого  $SOB_j$  формирует булеву матрицу  $D_j = \|d_{jrk}\|$ , компонентами которой являются указатели  $d_{jrk}$  запуска  $Sgd$  по разветвлениям номера  $k$ . Строками  $r$  этой матрицы являются номера входов  $ASOB_j$ . Результат умножения  $d_{jrk}$  и  $\pi_f$  определяет на каком из разветвлений выхода 4-го типа необходимо выработать  $Sgd$ , который активизирует  $ATOP_{is}$ , который корректирует значения компонентов вектора  $U$  с помощью вектора компонентов корректировки переменных управления  $\{\pi_f\}$ . После посылки множества  $\{Sgd\}$  корректировки и активизации соответствующих  $ATOP_{js}$ ,  $ASOB_j$  переходит в состояние ожидания инверсных сигналов от  $ATOP_{js}$ .

Организация оперативного управления технологическим процессом производства с помощью комплекса имитации. Из рис.1 видно, что EXPERT непосредственно взаимодействует с SPRESH по двум причинам. Во-первых, скорость реакции человека значительно ниже скорости обработки управляющей информацией системой SPRESH. Поэтому в качестве буфера обмена между ними используется база данных модели. Во-вторых, информация о состояниях ТПП EXPERTу нужна в виде, удобном для ее восприятия специалистом-предметником. В качестве входной информации технолог использует следующую: отображение индикаторов состояния оборудования ( $\theta_1$ ), график использования ресурсов и диаграммы работы оборудования ( $\theta_2$ ), а также таблицы интегральных откликов и статистик моделирования ( $\theta_3$ ). Отметим, что на динамику имитации ВСГР влияют следующие управляющие воздействия эксперта-технолога: немедленный останов имитации ( $\theta_4$ ); переход на профилактику или групповое резервирование оборудования ( $\theta_5$ ); установка новых начальных значений  $\{X_{mh}\}$  или модификация диапазонов изменения индикаторов состояния ТПП  $TZ = \{z_f^-, z_f^+\}$ , а также модификация содержимого таблицы корректировки ( $\Delta u_f$ ) управляющих воздействий вектора  $U$ .

Перед каждой реализацией ВСГР эксперт может менять начальные воздействия  $\{X_{hs}\}$  на ИМ ВСГР и характеристики  $G_h$  запроса ресурсов  $TXO_{ij}$ . Такой подход превращает КИМ в инструмент управления динамикой реализации ТПП. Это особенно важно, когда имитация на ИМ ВСГР происходит с интервалом упреждения  $\tau_{up}$

функционирования реального ТПП, и результаты имитации на ИМ ВСГР можно учесть при модификации переменных управления ТПП для контроля за состоянием оборудования.

Особенно эффективно использование КИМ в тех случаях, когда интервалы времени  $\tau_{SOB}$ , полученные на модели, между чрезвычайными событиями в медленно развивающемся ТПП достаточны для оперативного управления. Кроме того, важной задачей использования ИМ ВСГР является постановка серий ИЭ по методике Монте-Карло для нахождения зависимостей в модельном времени  $z_f(t_0)$  и  $u_f(t_0)$ .

В дальнейшем эти зависимости используются для сравнения полученных модельных с реальными значениями этих характеристик:  $z_f(t_0)$  с  $z_f^*(t)$  и  $u_f(t_0)$  с  $u_f(t)$ , где  $t_0$  и  $t$  – соответственно моменты времени в ИМ ВСГР и реальном ТПП. Если для всех компонентов этих векторов различие находится в пределах ошибки имитации ( $|z_f(t_0) - z_f^*(t)| < \delta$ ;  $|u_f(t_0) - u_f(t)| < \delta$ ), то это означает, что достигнута адекватность ИМ ВСГР в динамике реализации управления ТПП с помощью комплекса имитационного моделирования.

**Заключение.** Предложенная методика управления ТПП с помощью КИМ позволяет достичь следующих целей: выбрать рациональный вариант состава ресурсов ТПП, который обеспечит необходимый уровень надёжности работы оборудования для безаварийного функционирования ТПП; оперативно изменять характеристики реализации ТПП для обеспечения течения ТПП в допустимых пределах изменения индикаторов его функционирования. При этом технолог может решать ряд типовых задач проектного моделирования ТПП: оценка и регулировка суточной пропускной способности вариантов ТПП и суммарной стоимости их реализации при заданном составе ресурсов, оборудования и исполнителей; нахождение и ликвидация «узких мест», включая определение опасных траекторий реализации  $TXO_j$  в составе ТПП; оперативный контроль критических ситуаций.

Использование САИМ [3] для построения ИМ ВСГР и организация КИМ в среде САИМ существенно повышают уровень технологии создания и совместной эксплуатации ИМ ВСГР с реальным ТПП. Поэтому, с нашей точки зрения, предложенная методика управления ТПП является перспективной и обеспечивает высокую практическую значимость использования ИМ для контроля за функционированием реальных ТПП.

#### Обозначения

ТПП – технологический процесс производства;  $TXO_j$  – технологическая операция; ИМ – имитационная модель; ВСГР – вероятностный сетевой график; САИМ – система автоматизации имитационного моделирования; SPRESH – система принятия решений; КИМ – комплекс имитационного моделирования; БДМ – база данных модели; ИЭ – имитационный эксперимент.

### Литература

1. Максимей И.В., Жогаль С.П. Задачи и модели исследования операций. Ч. 1. Аналитические модели исследования операций: Учебное пособие. – Гомель: БелГУТ, 1999. – 110 с.
2. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Способ моделирования агрегатами технологических процессов опасного производства // Электронное моделирование. – 2005. – Т. 27, № 6. – С. 101 – 109.
3. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И. Система автоматизации экспериментов, реализующая агрегатный способ имитации технологических процессов // Информатика. – 2005. – № 1. – С. 25 – 31.
4. Максимей И.В., Смородин В.С., Сукач Е.И., Украинец А.А., Соболев И.В. Инструментальная система имитации и анализа характеристик надежности опасного производства // Реєстрація, зберігання і обробка даних (Data Recording, Storage & Processing). – 2004. – Т. 6, N 4. – С. 66 – 75.

**I. V. Maximey, V. S. Smorodin Stabilization of level of reliability of dangerous operated manufacture complexes by means of simulation modeling**

About the possibility of organization of governing by technological process of realtime manufacture by means of complex of imitation is reported. The technology of governing by manufacture process and strategy of checking of system indicators are stated.

Keywords: strategy of standbys, refusals of equipment, technological processes of dangerous manufacture.

УДК 796:612.014.482; 614.876

## **ФИЗИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И СИСТЕМА ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПЕРСОНАЛА МЧС С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА**

Г.И. НАРСКИН, доктор педагогических наук, профессор

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь*

Представлены основные положения системы физической реабилитации персонала МЧС с учетом особенностей воздействия повышенного радиационного фона.

Авария в Чернобыле по своим масштабам беспрецедентна. Выброшенная при взрыве 4-го энергоблока АЭС радиоактивность была зарегистрирована во всех странах Северного полушария и увеличила радиационный фон на обширной территории Европы (Люцко А.М., 1990; Cogoon D., Goldmith J., Jelrichowski W., 1993). Особые условия и отношения к радиации сложились в Республике Беларусь, России и Украине. По данным бывшего Госкомгидромета СССР в результате аварии радиоактивному загрязнению подверглись 3 области РСФСР, 5 областей Украины и 5 областей Беларуси, из которых (Матюхин В.А., 1990) наиболее пострадала Гомельская область. Среди всех территорий с радиоактивным загрязнением свыше 15 Ки/км<sup>2</sup> на Беларусь приходится около 70% (Антонов В.П., 1989).

Последствия тех событий ощущаются и сегодня, через 20 лет после аварии. Анализ литературных данных свидетельствует о существенных изменениях в природе регионов, подвергшихся радиационному воздействию на всех уровнях: тканевом, органном, молекулярно-клеточном и т.д.

Следует заметить, что важнейшей социальной задачей в любой стране является сохранение и укрепление здоровья своих граждан. К настоящему времени уровень развития государства определяется не только техническим и экономическим потенциалом, но и качеством, продолжительностью жизни населения, здоровьем детей и подростков, показателями детской смертности. К этому необходимо добавить (Бальсевич В.К., 2002), что и физическая деградация современного человека приобрела характер удручающей глобальной тенденции. Человеку не удалось справиться с противоречиями научно-технического прогресса, когда ему были предложены все расширяющиеся возможности использования новых производственных, информационных и коммуникационных технологий, исключающих серьезные физические нагрузки, но предполагающие практический беспредел его психологической и эмоциональной эксплуатации. В результате существенно снижена сопротивляемость орга-

низма человека как традиционным факторам, вызывающим различные болезни, так и новым экологическим и эпидемиологическим угрозам.

К классическому квартету факторов риска (стресс, нерациональное питание, гиподинамия, вредные привычки), повышающим вероятность возникновения болезней, добавился пятый – повышенный радиационный фон, с которым прямо или косвенно многие связывают увеличение числа болезней взрослых и детей (Белоокая Т.В., 1993; Барков В.А., 1999; Шестакова Т.Н., Логвина Т.Ю., 2000; Барков В.А., Баркова В.В., Рахманов Ю.К., 2005; Шишкина В.А., 2005). Как отмечает Н.Т. Лебедева (2004), за последние 20 лет ресурс здоровья общества сократился вдвое и составил всего 20% здоровых людей. Время требует не только признания всеми структурами общества катастрофы здоровья, но и эффективных действия по его сохранению и укреплению.

Чем больше отдаляет нас время от событий 1986 года на Чернобыльской АЭС, тем четче вырисовываются проблемы, связанные с разработкой, организацией и осуществлением комплекса профилактически и реабилитационных мероприятий для населения, подвергшихся радиационному воздействию в результате аварии на ЧАЭС и, особенно, персонала МЧС, проживающего и принимающего участие в ликвидации чрезвычайных ситуаций на территориях, загрязненных радионуклидами.

Следует отметить тот факт, что если в первые месяцы после аварии основными дозообразующими радионуклидами были изотопы йода, оказывающие отрицательное воздействие на функцию щитовидной железы, регулирующей в организме обмен веществ и энергии, то, начиная с третьего года, источниками внешнего облучения стали долгоживущие радиоактивные изотопы цезия, накапливающиеся в мягких тканях, и стронция, воздействующего на костную систему. В этой связи сотрудниками Белорусского НИИ радиационной медицины (Дроздович В.В., Миненко В.Ф., Улановский А.Ф., 1989) установлено, что дозы облучения жителей коррелируют с величиной плотности загрязнения почвы от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup>, содержание Цезия-137 в организме взрослого человека составляет 0,25 мкКи; от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup> – 0,69 мкКи; от 15 до 20 Ки/км<sup>2</sup> – 0,91 мкКи; от 40 до 60 Ки/км<sup>2</sup> – 1,10 мкКи; более 60 Ки/км<sup>2</sup> – 1,68 мкКи.

Вместе с тем в организме осуществляются процессы компенсации, адаптации и восстановления, которые регулируются управляющими системами: нервной, эндокринной, иммунной. А дозы воздействия на людей зависят от массы, длины тела, обмена веществ, питания, профессиональной деятельности и др. Следует отметить, что попадающие в организм радионуклиды проходят 4 стадии обмена: образование первичного депо, всасывание с мест поступления в кровь или лимфу, инкорпорирование в критическом органе и выделение из организма. Соответственно и определяются принципы лечения: блокирование радионуклидов в первичном депо, захват или перехват радионуклидов в крови, блокирование критических органов и захват радионуклидов из них, ускорение выделения радионуклидов из организма, где обычно используются фармакологические препараты: йодистый калий, пентацин, адсобар, серноокислая магнезия. Как отмечает Т.Н. Шестакова и Т.Ю. Логвина (1995), из орга-

низма радионуклиды, в том числе и Стронций-90, выделяются с мочой, калом, потом, выдыхаемым воздухом, что было подтверждено специальными дозиметрическими исследованиями после аварии в Челябинске. Скорость выведения в то время повышалась путем назначения мочегонных и слабительных. Однако в 1990 году авторами было высказано мнение о возможности замены этих препаратов физическими упражнениями. Это мнение базировалось на результатах ряда экспериментов, в которых было доказано, что у жителей зоны жесткого контроля по сравнению со здоровым организмом (в данном случае для сравнения были отобраны юноши-спортсмены), снижено функциональное состояние сердечно-сосудистой системы и особенно резко – работоспособность. Было высказано предположение, что это связано с нарушением регулирующего влияния на кровообращение тиреоидных гормонов, в то время как у спортсменов недостаток последних компенсировался спортивной тренировкой, активизирующей симпатoadрениновую систему.

Проведенные нами исследования со школьниками (Нарский Г.И., Севдалев С.В., 1997), которые занимались по специально разработанной программе, основанной на преимущественном использовании физических упражнений (в большей степени аэробной направленности) в комплексе с массажем и фитотерапией, способствовали значительному повышению физической подготовленности и функционального состояния, активизации обменных процессов и, как следствие, снижению заболеваемости.

В этой связи следует заметить, что одна и та же индивидуальная доза облучения проявляется неодинаково. Так, здоровый и сильный человек может перенести довольно высокую лучевую нагрузку, в то время как ослабленный организм, в котором восстановительные процессы идут плохо, обречен на тяжелое заболевание.

Современная научно обоснованная оценка здоровья, разработанная НИИ гигиены и профилактики заболеваний детей, подростков и молодежи, включает в себя четыре критерия:

- соответствие физиологических систем возрасту;
- степень устойчивости организма к неблагоприятным факторам;
- уровень достигнутого физического развития и степень его гармоничности;
- отсутствие болезни в момент обследования.

Несоответствие хотя бы одному из перечисленных критериев не позволяет отнести подростка к числу здоровых (Лебедева Н.Т., 1994).

С некоторой степенью условности (Новикова М.А., 1997) можно считать, что комплекс ведущих факторов, определяющих здоровье (или нездоровье), следующий: 20-30% здоровья определяется наследственностью (генотип), 20-25% зависит от среды обитания, прежде всего природной (экология) и социально-организованной (социально-экономические условия жизни). Только на 10% здоровье зависит от состояния здравоохранения, т.е. от того, как врачи лечат, проводят профилактические прививки и т.п. И до 50% здоровье зависит от образа жизни, из которых (по данным ВОЗ) 30% отводится на умение человека сохранить и приумножить свое здоровье, используя все аспекты физической культуры.

Как отмечает Л.И. Лубышева (1999), сегодня, как никогда ранее, необходимо совершенствовать физическое воспитание, развивать его оздоровительную направленность, т.к. испытанным способом для укрепления здоровья по праву считается физическая культура, т.е. тот род деятельности, в основе которой лежит двигательная активность человека, позволяющая сформировать необходимые для жизни двигательные умения и навыки, обеспечить направленное развитие важных физических способностей, оптимизировать состояние здоровья и работоспособность с помощью физических упражнений, оздоровительных сил природной среды и гигиенических факторов как необходимых средств физического воспитания.

Все вышеизложенное позволяет сконцентрировать внимание специалистов на ряде проблем, имеющих место в системе образования МЧС и в системе ликвидации ЧС в Республике Беларусь. Так, система образования в Гомельском регионе имеет трехуровневую иерархию: лицей – институт – магистратура. Среди поступающих в лицей значительное число составляют подростки из районов области с повышенным радиационным фоном (Хойникский, Брагинский, Наровлянский, Ветковский), ряда районов Могилевской области и других загрязненных радионуклидами районов Беларуси. В подавляющем большинстве случаев учащиеся лицея нуждаются в оздоровлении и специальной физической подготовке. Аналогичная ситуация имеет место среди курсантов, обучающихся в институте и слушателей магистратуры.

В системе ликвидации ЧС прослеживается необходимость реабилитационных мероприятий для персонала МЧС, проживающего и принимающего участие в ликвидации чрезвычайных ситуаций на территориях, загрязненных радионуклидами. Это предопределяет особые требования к физической подготовке и системе физической реабилитации данного контингента. Разработка и реализация таких подходов будет способствовать не только оперативному и более качественному выполнению ими своих функциональных обязанностей, но и сохранению и укреплению здоровья работников МЧС.

Особенно следует отметить, что физическая реабилитация персонала МЧС позволяет решить поставленные задачи без использования медицинских препаратов (общеизвестно, что абсолютно безопасных лекарств не существует) и хорошо согласуется с той ролью, которую наше государство отводит физической культуре и спорту в обеспечении надлежащих условий работы и жизни граждан Республики Беларусь.

Мы приглашаем творческие коллективы и всех заинтересованных лиц к сотрудничеству в дальнейшей разработке намеченных приоритетных направлений по внедрению апробированных немедикаментозных технологий оздоровления, коррекцию специальной физической подготовки обучающихся в системе учебных заведений МЧС и разработку системы физической реабилитации персонала МЧС.

### Литература

1. Антонов В.П. Уроки Чернобыля: Радиация, жизнь, здоровье. – Киев: Знание, 1989. – 112 с.

2. Бальсевич В.К. Актовая речь. Перспективы модернизации современных образовательных систем физического воспитания на основе интеграции национальной физической и спортивной культуры. – М.: РГАФК, 2002. – 30 с.
3. Барков В.А. Научно-методические основы физического воспитания школьников на радиационно загрязненных территориях. – Гродно: ГрГУ, 1999. – 172 с.
4. Барков В.А., Баркова В.В., Рахманов Ю.К. Здоровье педагога во взаимосвязи с его образом жизни // Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2005. – С. 8-9.
5. Белоокая Т.В. Динамика состояния здоровья детского населения Республики Беларусь в современной экологической ситуации // Чернобыльская катастрофа: диагностика и медико-психологическая реабилитация пострадавших: Сб. материалов конф. – Мн., 1993. – С. 3-10.
6. Дроздович В.В., Миненко В.Ф., Улановский А.В. Результаты измерений содержания радиоактивных веществ в организме жителей Гомельской и Могилевской областей. – Минск, 1989. – Вып.1. – 131 с.
7. Лебедева Н.Т. Физическое воспитание подрастающего поколения с позиции медицины // Вестник спортивной Беларуси, 1994. - № 2 (6). – С. 29-31.
8. Лебедева Н.Т. Профилактическая физкультура для детей: Пособие для педагогов и воспитателей. – Мн.: Вышэйшая школа, 2004. – 190 с.
9. Лубышева Л.И. Социальное и биологическое в физической культуре человека в аспекте методологического анализа // Теория и практика физической культуры, 1999. - № 1. – С. 2-4.
10. Люцко А.М. Фон Чернобыля. – Мн.: БелСЭ, 1990. – 68 с.
11. Матюхин В.А. Радиационно-экологические и медико-биологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС в Беларуси // Медицинская радиология, 1990. - № 6. – С. 8-11.
12. Нарскин Г.И., Севдалев С.В. Организационно-методические особенности работы по физическому воспитанию школьников 10-12 лет, проживающих на территориях Чернобыльского загрязнения // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка, 1997. - № 3. – С. 6-8.
13. Новикова М.А. Физическое воспитание детей дошкольного возраста: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений физической культуры, воспитателей детских садов, физкультурных работников и родителей. - Смоленск: СГИФК, 1997. - 84 с.
14. Шестакова Т.Н., Логвина Т.Ю. Повышение функциональной активности систем, ответственных за выведение из организма радионуклидов // Вестник спортивной Беларуси. – Мн., 1995. – С. 38-40.
15. Шестакова Т.Н., Логвина Т.Ю. Оздоровительная и лечебная физическая культура для дошкольников: Пособие для педагогов и мед. работников дошк. учреждений. – Мн.: Полымя, 2000. – 176 с.
16. Шишкина В.А. Здоровье ребенка как педагогическая проблема // Проблемы физической культуры населения, проживающего в условиях неблагоприятных факторов окружающей среды: Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2005. – С. 84-85.
17. Cogoon D., Goldsmith J., Jedrichowski W. et al. National integratid programmes on environment and health in. Countries in Central and Eastern Europe. – М., 1993. – 230 p.

**Narskin G.I. Physical Training and Physical Rehabilitation for the Personnel of the  
Ministry for Emergency Situations under the Condition of High Radiation.**

The author of the article presents the concept of physical rehabilitation for the personnel of the Ministry for Emergency Situations paying attention to the specific features high-level radiation impact.

УДК 630.432

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

А.А. УКРАИНЕЦ

*Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь, г. Гомель, Беларусь*

Государственная программа прикладных исследований «Разработка и обоснование системы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь» (ГППИ «Снижение рисков ЧС») на 2006-2010 гг. наряду с другими приоритетными задачами, предусматривает и исполнение научно-исследовательского проекта по теме: «Разработка эффективных методов снижения рисков чрезвычайных ситуаций на основе социологического изучения их социальных предпосылок», в реализации которого совместно с Институтом социологии НАН Беларуси участвует Гомельский инженерный институт МЧС.

**Ключевые слова:** антропогенный фактор, риски, социология, чрезвычайные ситуации.

**Введение.** В последние годы в нашей стране активно формируется и наполняется конкретным содержанием единая Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Ведется активный поиск путей обеспечения устойчивого развития и выработки научно обоснованной стратегии управления рисками; предпринимаются значительные усилия по их снижению и минимизации. В то же время достаточно определенной системы социологического обеспечения управления рисками чрезвычайных ситуаций пока еще нет. В результате имеющиеся здесь явления и тенденции еще не в полной мере учитываются в системе профессиональной подготовки спасателей, а также при подготовке специалистов по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в вузах МЧС.

**Постановка задачи.** Анализ статистики чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь свидетельствует, что при всем их разнообразии по происхождению и другим классификационным признакам практически в каждой из них ту или иную роль играет человек. Во многих разновидностях чрезвычайных ситуаций человеческий фактор примерно в 80 и более случаях из 100 (т.е. более чем 80 %) непосредственно выступает как их основной источник и главная причина.

В современной теории катастроф такое положение закрепляется в одном из ее исходных постулатов: все разновидности природных, техногенных и социальных экстремальных явлений только в том случае приобретают статус чрезвычайных ситуаций, когда в зону их воздействия попадает человек (социальная группа) либо сре-

да его обитания и возникает опасность для их существования. Такое положение в современной науке концептуализирует понятие «антропогенный фактор чрезвычайных ситуаций» [2, 31].

Учитывая все эти факторы и обстоятельства, в Гомельском инженерном институте МЧС были предприняты определенные усилия в целях активизации социологических исследований, направленных на обеспечение деятельности органов по чрезвычайным ситуациям.

**Методы исследования.** В течение последних лет в тесном взаимодействии с Институтом социологии НАН Беларуси, с которым подписано Соглашение о сотрудничестве, проделана определенная работа по организации и проведению конкретных социологических исследований.

На первоначальном этапе были проведены пробные пилотажные исследования на одном курсе очного и заочного факультетов (выборка - около 150 человек), с целью проверки качества подготовленных анкет, т.е. определения их валидности и меры искажения полученной информации.

Так, в 2004-2006 годах с применением различных социологических методов (включенного наблюдения, контент-анализа документов, массового опроса и интервьюирования экспертов) проведено комплексное описательно-аналитическое исследование, основанное на опросе 1120 респондентов, работающих в МЧС (командно-преподавательский состав, слушатели ФЗО и курсанты очного обучения института). При этом репрезентативность выборки обеспечивалась представительством обследуемого постоянного и переменного состава института по отношению к важнейшим параметрам и пропорциям изучаемой генеральной совокупности проводимого исследования, т.е. к основным группам и категориям работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям всех регионов Республики Беларусь. Приведем некоторые данные, полученные в ходе этого исследования.

**Полученные результаты проводимых исследований.** На первом его этапе изучалась степень обеспокоенности работников МЧС различными типами и видами чрезвычайных ситуаций (см. табл. 1). Из 100 % опрошенных работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям у 45,4 % особую обеспокоенность вызывает угроза техногенных и более чем у 20 % - природных ЧС. Частично обеспокоены опасностью техногенных и природных ЧС, соответственно 47,6 и 62,3 % работников МЧС. Таким образом, обеспокоенность («очень обеспокоен» и «частично обеспокоен») угрозой, опасностью и риском природных чрезвычайных ситуаций выразило 82,9 % и угрозой, опасностью и риском техногенных чрезвычайных ситуаций - 93 % респондентов. При этом свое «полное согласие» с актуальностью и обоснованностью требований руководства нашей страны, изложенных в Директиве Президента Республики Беларусь № 1, в том числе о необходимости обеспечения общественной и личной безопасности от ЧС различного характера, высказали 79 % опрошенных. Еще 14 % выразили свое «не полное согласие», 7 % - затруднились отве-

тить, а вариант ответа «категорически не согласен» не выбрал ни один из респондентов.

Таблица 1 - В какой степени Вы обеспокоены угрозой, опасностью и риском следующих видов чрезвычайных ситуаций? (100 % по столбцу)

	1. Природных ЧС	2. Лесных пожаров	3. Наводнений	4. Бурь, ураганов, смерчей, шквалов	5. Биолого-социальных ЧС	6. Технологических ЧС	7. Пожаров и взрывов	8. Аварий и катастроф на промышленных предприятиях	9. Аварий и катастроф на транспорте	10. Аварий и катастроф в ТЭК	11. Гидродинамических ЧС	12. Социальных ЧС	13. Последствий терроризма	14. Последствий военных действий	15. Последствий социальных конфликтов
Очень обеспокоен	20,6	27,5	16,0	21,9	22,7	45,4	51,9	50,3	32,0	41,9	15,2	36,5	43,5	40,9	18,5
Частично обеспокоен	62,3	53,1	48,3	36,6	44,3	47,6	43,0	40,4	53,9	39,9	45,5	40,7	34,4	33,3	49,0
Не обеспокоен	16,5	17,9	33,1	37,4	22,9	5,1	4,3	7,1	12,5	13,2	30,9	18,8	18,2	21,3	27,2
Затрудняюсь ответить	0,6	1,5	2,6	4,1	10,0	1,8	0,8	2,2	1,6	5,0	8,4	4,0	3,8	4,5	5,3
«Субъективированный показатель опасности»	4,1	9,6	-17,1	-15,5	-0,2	40,3	47,6	43,2	19,5	28,7	-15,7	17,7	25,3	19,6	-8,7

В ходе изучения оценок степени угрозы, опасности и риска конкретных видов чрезвычайных ситуаций (по мнениям работников ОПЧС и курсантов вуза МЧС) выделяются две группы чрезвычайных ситуаций – «актуально опасные» и «условно опасные». Распределение конкретных видов ЧС в ту или иную группу осуществляется исходя из значений «субъективированного показателя их опасности» (см. табл. 1 и рис. 1). Данный показатель рассчитывается как разница ответов «очень обеспокоен» и «не обеспокоен». Соответственно, отрицательные значения этого показателя позволяют отнести конкретный вид ЧС к группе «условно опасных» (преобладание ответов «не обеспокоен»), то есть тех, которые на сегодняшний день, по мнению работников МЧС, не грозят безопасности жизнедеятельности граждан Беларуси, либо грозят в малой степени. Если же значения этого показателя положительны (преобладают ответы «очень обеспокоен»), то конкретный вид ЧС следует отнести к группе «актуально опасных», то есть тех, которые по мнению опрошенных сегодня реально угрожают безопасности жизнедеятельности белорусов.

На ниже приведенном графике (Рис. 1.) на основе данных табл. 1. более подробно продемонстрирована степень (уровень) обеспокоенности риском ЧС со стороны опрошенных сотрудников ОПЧС.

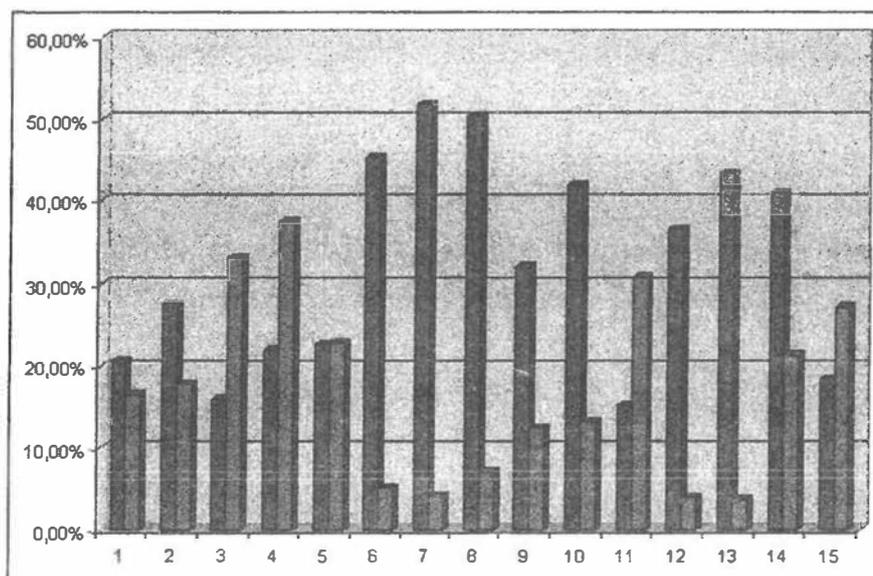


Рисунок 1 - Степень (уровень) обеспокоенности сотрудников ОПЧС различными видами ЧС (красный - очень обеспокоен, синий – не обеспокоен)

Обобщая данные таблицы 1 и рис. 1, сгруппируем виды ЧС по степени обеспокоенности опрошенных респондентов их опасностью для жизнедеятельности людей. 1 группа – критическая обеспокоенность: «Техногенные ЧС», в том числе «Пожары и взрывы», «Аварии и катастрофы на промышленных предприятиях». «Субъективный показатель опасности» для этих видов ЧС превышает 40 %. 2 группа – максимальная обеспокоенность: «Аварии в топливно-энергетическом комплексе» и «Последствия терроризма». «Субъективный показатель опасности» здесь выше 20 %, но ниже 40 %. 3 группа – сильная обеспокоенность: «Аварии и катастрофы на транспорте», «Последствия военных действий» и «Социогенные ЧС» в целом. «Субъективный показатель опасности» здесь выше 10 % и ниже 20 %. 4 группа – малая обеспокоенность: «Природные ЧС» и «Лесные ЧС». «Субъективный показатель опасности» здесь от нуля до 10 %. 5 группа – условная обеспокоенность: «Биолого-социальные ЧС», «Последствия социальных конфликтов», «Бури, ураганы, смерчи, шквалы», «Гидродинамические ЧС», «Наводнения». «Субъективный показатель опасности» меньше нуля, т.е. принимает отрицательные значения.

Отметим, что по всем показателям ЧС из групп «максимальная обеспокоенность» и «сильная обеспокоенность» различаются не очень значительно (по крайней мере, в сравнении с ЧС из групп «критическая обеспокоенность» и «условная обеспокоенность»).

Если же говорить вообще об уровне обеспокоенности конкретными видами чрезвычайных ситуаций (совокупный уровень обеспокоенности как сумма «субъективированных показателей опасности») со стороны различных категорий работников МЧС, то его средний уровень по всем категориям составляет 198,4 %. При этом наибольшую степень такой обеспокоенности высказывают старший начальствующий

состав, а также рядовой и младший начальствующий состав органов и подразделений по ЧС. Сумма «субъективированных показателей опасности»\* по категориям опрошенных для них составила 231,5 % и 225,4 % (см. рис.2).

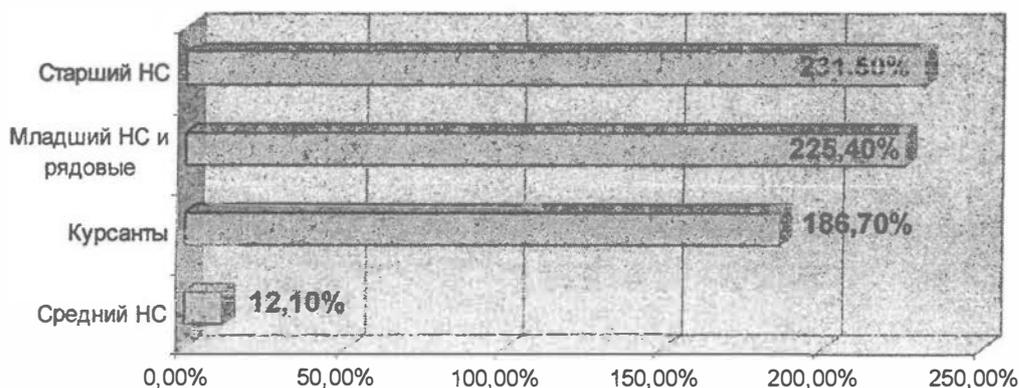


Рисунок 2 - Обеспокоенность ЧС со стороны различных категорий сотрудников ОПС (\* сумма «субъективированных показателей опасности»)

Старший начальствующий состав, в той или иной мере принимающий участие в определении стратегии развития МЧС и планировании системы долговременных мероприятий по обеспечению безопасности населения и территорий на ближайшие годы и более отдаленную перспективу, высказывает максимум опасений (231,5 %), пытаясь учесть все возможные варианты развития событий. Причем, в сравнении с другими группами работников ОПС, наибольшие опасения у них вызывают природные чрезвычайные ситуации, социальные ЧС и потенциальные последствия терроризма.

Младший начальствующий и рядовой состав (225,4 %) больше обеспокоены иными видами чрезвычайных ситуаций – «Аварии и катастрофы на промышленных предприятиях», «Пожары и взрывы», «Аварии и катастрофы в топливно-энергетическом комплексе» и «Аварии и катастрофы на транспорте».

Курсанты вуза МЧС заняли по этому показателю третье место (186,7 %), хотя в основном они имеют чисто теоретические представления о различных видах чрезвычайных ситуаций, а также проблемах их предупреждения и ликвидации.

Вызывает определенное недоумение и необходимость уточнения оценки со стороны среднего начальствующего состава, который показал очень низкую обеспокоенность рисками чрезвычайных ситуаций, заняв в этой иерархии последнее четвертое место (12,1 %).

Следует отметить, что 77,2 % респондентов (см. табл.1) выразили обеспокоенность опасностью социогенных чрезвычайных ситуаций. При этом высоко оценили готовность своих подразделений к действиям по ликвидации последствий террористических актов и возможных военных действий лишь около 15 % опрошенных, удовлетворительно – около 30 %, свыше 30 % - оценили их готовность как низкую, а еще 25 % затруднились ответить на этот вопрос. Такая ситуация по всей вероятности

обусловлена тем, что мы практически никогда не сталкивались с социогенными чрезвычайными ситуациями, но в то же время их потенциальная опасность существует.

При оценке факторов, от которых зависит безопасность жизнедеятельности и снижение рисков (см. табл.2), 98 % респондентов выразили мнение, что это зависит от каждого человека и воспитания людей (91,8).

90,2 % опрошенных указали на прямую зависимость безопасности жизнедеятельности и снижения рисков ЧС от готовности МЧС и Государственной системы по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций в целом (86,7), 84 % - от политики государства, 86,8 % - от развития общества, 84,4 % - от состояния техногенной сферы, 74,7 % - от окружающей среды и от международной обстановки – 55,1 %. Обобщая результаты опроса респондентов об основных факторах безопасности жизнедеятельности и снижения рисков чрезвычайных ситуаций можно выделить три группы таких факторов (см. табл. 2).

Таблица 2 - Как Вы думаете, от кого и в какой степени зависит безопасность жизнедеятельности и снижения рисков ЧС? (100 % по столбцу)

Показатели, критерии	от каждого человека	от политики государства	от готовности МЧС	от работы ГЧС	от развития общества	от состояния окружающей среды	от состояния техногенной среды	от воспитания людей	от международной обстановки
Зависит только от этого	29,2	6,0	15,0	9,5	12,4	5,3	8,6	18,1	3,9
Значительно зависит	49,3	37,0	50,7	44,6	35,3	35,3	41,9	47,0	20,6
В целом зависит	19,5	41,0	24,5	32,6	39,1	33,7	33,9	26,7	30,6
Мало зависит	1,3	13,4	8,9	10,7	10,9	23,0	12,2	7,4	34,2
Не зависит	0,3	1,7	0,8	0,7	1,2	1,6	0,7	0,8	6,4
Затрудняюсь ответить	0,3	1,0	0,2	2,0	1,2	1,1	2,8	0,0	4,3

Как показывают данные, в первую группу входят факторы безопасности жизнедеятельности, показывающие их зависимость от самого человека (позиции «от каждого человека» и «от воспитания людей»), где варианты ответов «зависит только от этого» и «значительно зависит» набирают максимальные значения (78,5 % и 65,1 % соответственно).

Вторая группа факторов такого рода относится к функционированию органов МЧС. О том, что безопасность жизнедеятельности людей и снижения рисков зависит («зависит только от этого» и «значительно зависит») от готовности МЧС и от работы ГСЧС, говорят более половины опрошенных (65,7 % и 54,1 % соответственно).

Третью группу факторов можно назвать «группой условий». В нее входят факторы «состояния техногенной среды» (50,5 % опрошенных говорят, что «зависит только от этого» и «значительно зависит»), «развитие общества» (47,7 %) и «политики государства» (43,0 %).

К числу же факторов, от которых безопасность жизнедеятельности и снижение рисков ЧС, по мнению опрошенных, зависит в малой степени или не зависит вообще, следует отнести два фактора – состояние окружающей среды и международную обстановку (40,6 % и 24,5 % соответственно).

Если же говорить об озабоченности (как повышенного внимания) вышеперечисленными факторами со стороны различных категорий работников МЧС, то по результатам опроса наибольшую степень такой озабоченности высказывают представители младшего начальствующего и рядового состава, а также старшего начальствующего состава ОПЧС (см. рис. 3).

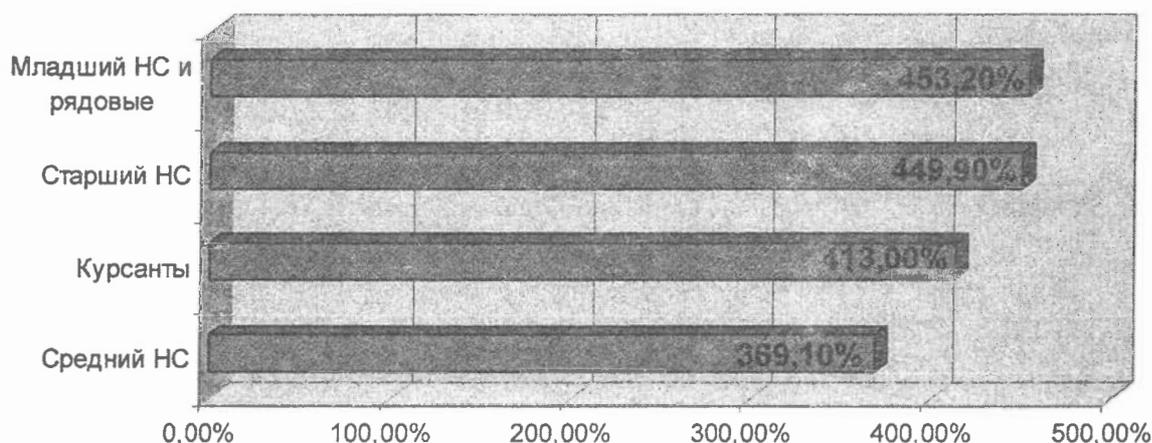


Рисунок 3 - «Проценты обеспокоенности» сотрудников ОПЧС в зависимости от их статуса

Показатель «факторного внимания» (сумма выборов вариантов «зависит только от этого» и «значительно зависит» по всем позициям в вопросе по каждой из основных категорий респондентов) в первом случае составил 453,2 %, во втором – 449,9 %. Это понятно – младший начальствующий и рядовой состав ОПЧС непосредственно включен в практику «гашения» чрезвычайных ситуаций, а старший начальствующий состав решает оперативно-тактические задачи планирования работ по предупреждению и ликвидации ЧС. Средний же начальствующий состав демонстрирует здесь наименьшие показатели, пропуская вперед даже курсантов (369,1 % против 413,0 %).

Представители младшего начальствующего и рядового состава ОПЧС (рис.4) чаще прочих указывают на важность фактически собственной готовности включиться в борьбу с чрезвычайной ситуацией (позиция «готовность МЧС»).

Мыслящие более стратегически работники из старшего начальствующего состава ОПЧС больше озабочены политикой государства в этой сфере, работой ГСЧС и уровнем развития общества.

Курсанты же в целом соблюдают «среднюю линию» в вопросах оценки субъектов и факторов безопасности жизнедеятельности и снижения рисков ЧС. Единственное, что можно отметить в сравнении с другими группами, это недооценку курсантами важности политики государства, уровня развития общества и состояния техногенной сферы в деле обеспечения безопасности жизнедеятельности. Также обратим внимание, что оценки курсантов вуза МЧС по своим «пикам» и «падениям» весьма сходны с теми ломаными, которые характерны для рядового и младшего начальствующего состава ОПЧС.

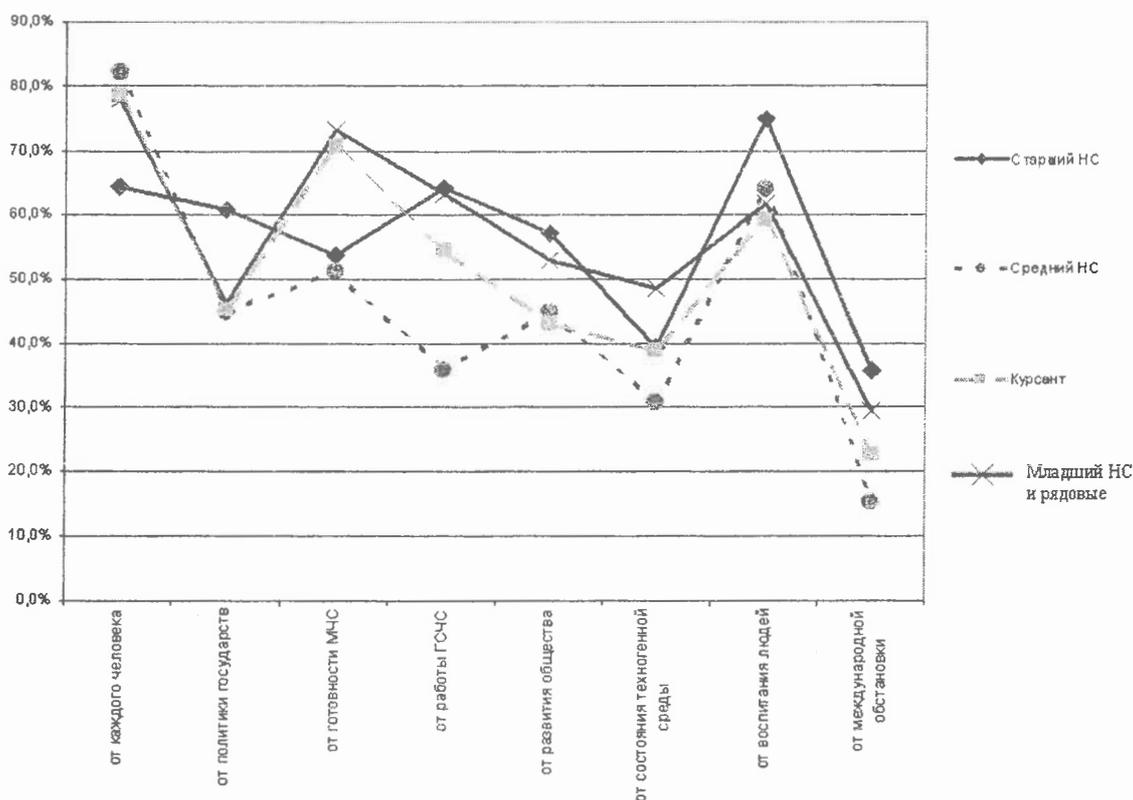


Рисунок 4 - Оценка факторов безопасности и снижения рисков ЧС в зависимости от статуса работников ОПЧС

Отвечая на вопрос, что нужно предпринять в первую очередь для обеспечения безопасности территорий и населения от ЧС различного характера (рис. 5), 51 % опрошенных указали на необходимость большего внимания к пропаганде и изучению основ безопасной жизнедеятельности со всеми категориями населения; 49 % - оснастить ОПЧС новой специальной техникой и оборудованием; 40 % считают, что

в первую очередь следует усилить уголовную и административную ответственность за нарушение правил безопасности; 32 % отметили актуальность обеспечения на практике слаженности и эффективности всех звеньев Государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС; 25 % считают особенно важным полнее информировать население о рисках возможных ЧС в данном регионе; 24 % подчеркнули важность увеличения финансирования и численности ОПЧС; 20 % отметили необходимость повышения заработной платы работников ОПЧС; 16 % - необходимость создания общественных добровольных спасательных формирований, подготовленных к действиям в условиях вероятных ЧС; 12 % указывают на необходимость улучшения качества профессиональной подготовки работников ОПЧС; 6 % предлагают закрыть и прекратить деятельность всех потенциально опасных промышленных и социальных объектов и предприятий.

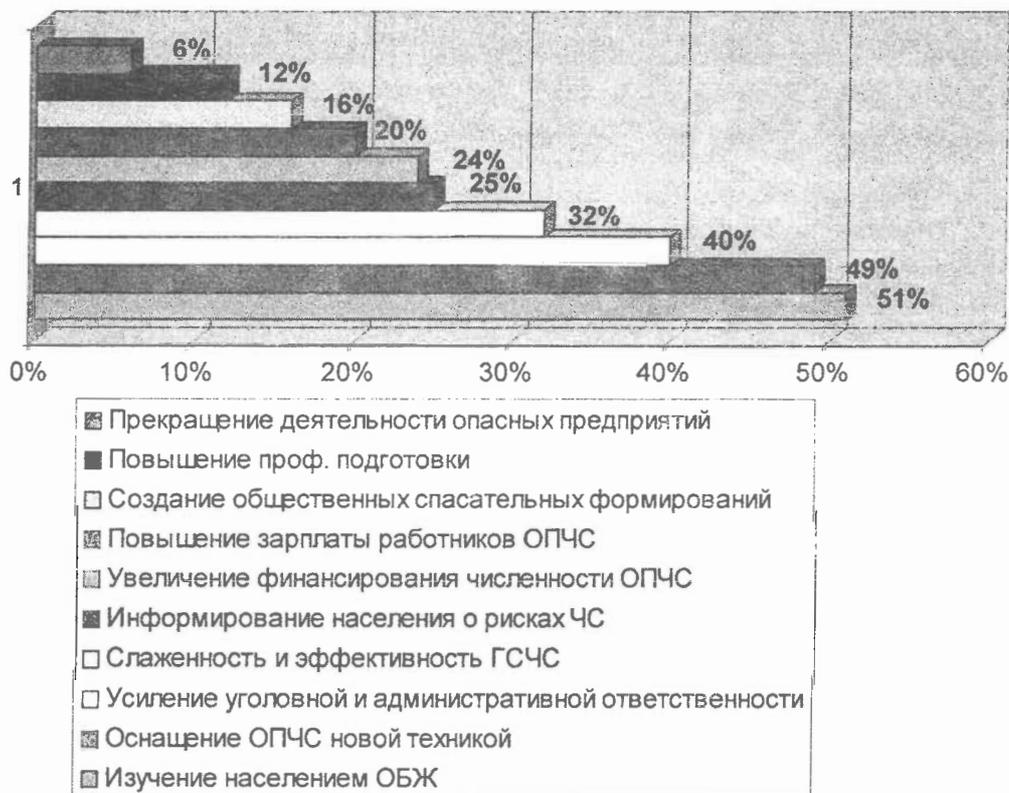


Рисунок 5 - Как Вы думаете, что надо предпринять в первую очередь для обеспечения безопасности населения и территорий от ЧС различного характера?

Оценивая отношение органов местной власти к проблемам ПЛЧС, их активное участие и практическую помощь отметили соответственно 36 и 27 % опрошенных. В то же время около 70 % указывают, что местные власти редко, либо от случая к случаю, обращают внимание на деятельность органов и подразделений МЧС.

Что касается степени готовности своего органа (подразделения) по ЧС к действиям в экстремальных условиях конкретных видов чрезвычайных ситуаций (рис. 6), то здесь более высоко оценивается готовность подразделений к действиям в условиях наиболее распространенных в Беларуси лесных пожаров (92 %), пожаров и

взрывов (91 %), а также в случаях аварий и катастроф на промышленных предприятиях (76 %).

Низко оценивается степень готовности подразделений к действиям в условиях наводнений, бурь, ураганов, смерчей и шквалов - около 30 % опрошенных. Еще ниже (15 % опрошенных) оценили готовность своих подразделений к действиям по ликвидации последствий террористических актов и возможных военных действий.

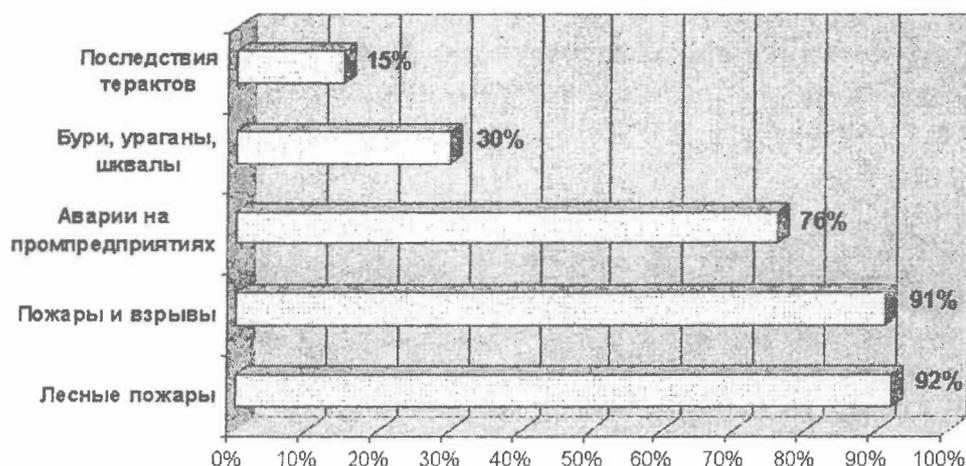


Рисунок 6 - Как Вы оцениваете степень готовности своего подразделения к действиям в условиях различных ЧС?

Практическая значимость результатов проводимых исследований особенно актуальна прежде всего для МЧС, на которое непосредственно возлагаются задачи по координации всех уровней и звеньев Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций на основе научно обоснованного анализа и достоверной оценки рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Социологическое исследование проблем предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций органично вписывается в Государственную программу прикладных исследований «Снижение рисков ЧС» на 2006-2010 гг. и будет способствовать достижению поставленных в ней целей. В этой связи итоги проводимых социологических исследований представляют несомненный интерес. Полученные в ходе этих исследований результаты могут быть использованы в системе профессиональной подготовки работников органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

Следует подчеркнуть, что были приведены лишь первые результаты проводимых исследований. Мы хорошо понимаем их относительную значимость и необходимость дальнейшей отработки. Однако уже сейчас видно, что оценка чрезвычайных ситуаций со стороны тех, кто непосредственно принимает участие в их предупреждении и ликвидации представляет порой неожиданные и интересные результаты, которые безусловно необходимо учитывать.

На следующем этапе наших исследований планируются опросы населения, которые покажут оценку рисков различных ЧС со стороны наших граждан, а также их отношение к работе органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям.

### Литература

1. Бабосов Е.М. Катастрофы: социологический анализ. Мн., 1995.
2. Бабосов Е.М. Социальные последствия Чернобыльской катастрофы, пути их преодоления. Мн., 2001.
3. Украинец А.А. Проблемы социологического обеспечения деятельности органов по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций. // Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Мн., 2003.

#### **Ukrainetz A.A. Prevention and Liquidation of Emergency Situations: Sociological Aspects**

The State Program of Applied Researches “Development and a substantiation the system of measures for decreasing the risks and mitigation of consequences of natural and man-made emergency situations in Belarus” (“Decreasing the risks of emergencies”) for 2006-2010 alongside with other priority problems, provides the realization of research project “Development of effective methods of decreasing the risks of emergency situations on the basis of sociological study of their social preconditions”. It is being realized by Institute of sociology National Academy of Sciences of the Republic of Belarus together with the Gomel engineering institute for the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus.

**Международный научно-практический журнал  
“Чрезвычайные ситуации: образование и наука”  
Том 1, № 1, 2006**

Подписано в печать 25.09.2006 г. Бумага типографская № 1.

Формат 60 x 84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Гарнитура Таймс. Ризография.

Усл. печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 7,8

Тираж 200. Заказ № 294-3к.

Отпечатано с оригинала-макета заказчика  
в УО “Белорусский торгово-экономический университет  
потребительской кооперации”.  
246029, г. Гомель, просп. Октября, 50.