ФГБУ «Российская академия ракетных и артиллерийских наук»
Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева

VI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов организаций – ассоциированных членов Российской академии ракетных и артиллерийских наук

Молодежь. Наука. Инновации в оборонно-промышленном комплексе

Сборник докладов

г. Санкт-Петербург
2022 г.

УДК 623

VI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов организаций – ассоциированных членов Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Молодежь. Наука. Инновации в оборонно-промышленном комплексе, 2022. – 89 с.: ил.

В сборнике помещены научные труды молодых ученых и специалистов организаций – ассоциированных членов Российской академии ракетных и артиллерийских наук, представленные в докладах на трех тематических заседаниях VI Всероссийской научно-практической конференции.

Издание:
Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, 2022;
Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2022

Составители и редакторы:
Первый вице-президент ФГБУ РАРАН, чл.-кор. РАРАН, д.т.н., доцент Р.А. Дурнев;
Старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ), заслуженный работник высшей школы РФ, академик РАРАН, д.в.н., профессор В.И. Бабенков;
Заместитель руководителя секретариата президиума ФГБУ РАРАН А.С. Гусева.

Санкт-Петербург, 2022

© ФГКВОУ ВО «ВАМТО», 2022
© ФГБУ «РАРАН», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ТОЧНЫХ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, СВЯЗАННЫЕ С ОБОСНОВАНИЕМ РАЗВИТИЯ И СОЗДАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ, ВОЕННОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (ВВСТ) 5

Результаты исследования сохранности и поражающего действия готовых поражающих элементов метаемых взрывом 5

Новиков А. А.– начальник КБ-210, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Клочков С. В.– начальник отдела 212, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Молочков А. В. – начальник лаборатории 2121, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Киселев А. С. – инженер 3 категории, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»

Кривизна фронта детонационной волны взрывчатого вещества триаминотринитробензола 12

Ахлюстин И. А. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Косолапов И. Э. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Просвирнин К. М. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Мирошкин К. М. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Лопандина Н. Ю. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Беленовский Ю. А. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Смирнов Е. Б. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Гармашев А. Ю. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Петров Д. В. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»

Методические основы расчета параметров функционирования кумулятивного заряда с использованием нейронной сети 19

Колодкин В. С. – сотрудник НИЦ АО «НИМИ им. В.В. Бахирева»

Моделирование тактических ситуаций с помощью экспертных систем с нечеткой логикой 25

Дурнев Р.А. – первый вице-президент ФГБУ РАРАН
Свиридок Е.В. – заместитель руководителя секретариата СКГ СВ СОН ФГБУ РАРАН
Гусева А.С. – заместитель руководителя секретариата президиума ФГБУ РАРАН

ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ТЕХНИЧЕСКОЙ (КОНСТРУКТОРСКОЙ) РАЗРАБОТКОЙ НОВЫХ ПРИБОРОВ, УСТАНОВОК, ОБРАЗЦОВ И КОМПЛЕКСОВ ВВСТ 35

Особенности проектирования и расчёта сопловых заглушек, размещенных в докритической части сопел для ракетных двигателей, требующих высокого давления воспламенения заряда 35

Богданович А. Б. – начальник отдела, АО «Корпорация «МИТ»
Кузьмин Н. Е. – инженер, АО «Корпорация «МИТ»
Коновалов Д. А. – инженер-конструктор, АО «Корпорация «МИТ»
Красильников Д. В. – инженер, АО «Корпорация «МИТ»

Подход к выбору источника энергии, при проектировании системы электроснабжения малогабаритного летательного аппарата 42

Новаков А. В. – аспирант кафедры ЭТЭО, Тульский государственный университет

Исследование процесса функционирования оребренных кумулятивных облицовок во вращающихся кумулятивных зарядах 46
Бабаева Г. С. – инженер-конструктор 1 категории, АО «НПО «Прибор» имени С.С. Голембиовского»
Рассоха С. С. –доцент кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана

ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК, ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ 52

Новые двухэлектродные струнные волнографы в маломасштабном исследовании волны прорыва 52
Колпаков Д. А. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Рожков А. П. – младший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Цыбуля М. С. – научный сотрудник,12 ЦНИИ МО РФ;
Карпенко А. В. – ведущий научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Коломиец Ю. И. – научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ

Экспериментальные исследования режимов размыва плотин из местных материалов, связанные с обоснованием способов применения высокоточного оружия 59
Рожков А. П. – младший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ;
Колпаков Д. А. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Розов А. Л. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ

Влияние характеристик каната грузонесущей связи на технический облик и массогабаритные характеристики лебедки мобильного средства глубоководного подъема 66
Салихов Д. Ф. – младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА»

Модернизация судоподъемных понтонов ССП-200 проекта 528 73
Фадеев Д. Е. – научный сотрудник научно-исследовательского отдела НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА»

Создание мобильных средств управления инженерно-аэродромным обеспечением Военно-воздушных сил 79
Дубков Я.В., начальник отдела НИИ (ВСИ МТО ВС РФ);
Чешина В.В., старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ)

Научное обоснование характеристик перспективных технических средств продовольственной службы для жизнеобеспечения воинских подразделений в полевых условиях 86
Чешина В.В., старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ)

УДК 623.4.082.5

Результаты исследования сохранности и поражающего действия готовых поражающих элементов метаемых взрывом

The results of a study of the integrity and damaging effect of ready-made damaging elements thrown by an explosion are presented

Новиков А. А.– начальник КБ-210, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Клочков С. В.– начальник отдела 212, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Молочков А. В. – начальник лаборатории 2121, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»
Киселев А. С. – инженер 3 категории, АО «ГосНИИмаш им. В. В. Бахирева»

Аннотация: показаны результаты экспериментальных исследований по сравнению сохранности и поражающего действия готовых поражающих элементов из ВНЖ и ВК.

Annotation: the results of experimental studies comparing the integrity and damaging effects of ready-made damaging elements from the residence VNG and VK are shown.

Ключевые слова: готовые поражающие элементы, поражающее действие, сохранность, тяжелые сплавы, ВНЖ, ВК.

Keywords: ready-made striking elements, striking effect, safety, heavy alloys, VNJ, VK.

Совершенствование осколочных боеприпасов за счет применения готовых поражающих элементов (ГПЭ) является одним из наиболее актуальных направлений. Это обусловлено серьезными преимуществами осколочных боеприпасов с ГПЭ, а именно: стабильной массы ПЭ, их хорошей аэродинамической формы, возможностью реализации широкого диапазона масс ПЭ и, как следствие, повышенной вероятности поражения цели. Наиболее распространённый материал ГПЭ - низколегированная сталь. Применение других материалов, в том числе высокоплотных, требует тестирования ГПЭ на устойчивость к ударно-волновому воздействию при взрывном метании и стойкости при пробитии преград, т.е. необходимо осуществлять высокоскоростное метание элементов, для оценки возможности их применения [1].

Тяжелые сплавы на основе вольфрама – это класс псевдосплавов, обладающих уникальной комбинацией оптимальной прочности и пластичности, высоким модулем упругости, достаточной коррозийной стойкостью и необходимой плотностью. Такая комбинация свойств сделала их незаменимым материалом для использования в боеприпасах [2]. Тяжелые сплавы на основе вольфрама используются для изготовления бронебойных сердечников пуль и снарядов с целью повышения эффективности бронепробивного действия боеприпасов в различных калибрах стрелкового и артиллерийского вооружения, вызванной быстрым наращиванием бронезащиты практически всех видов вооружения наземной техники. Также высокоплотные сплавы используются в осколочных оболочках ряда боеприпасов (БП).

Сплав ВНЖ-90 был целенаправленно разработан для изготовления ГПЭ в боевых частях. Однако высокая стоимость материала накладывает экономические ограничения на его применение.

Традиционная технология получения тяжелых вольфрамовых сплавов включает в себя смешивание порошков исходных компонентов, холодное компактирование и последующее спекание в две стадии. Альтернативной технологией является PIM-технология (Powder Injection Molding). Это высокотехнологичный процесс формования сложных изделий, изготавливаемых из мелкодисперсных смесей полимерного связующего с металлическими или керамическими наполнителями. Он представляет собой объединение пластического формования с порошковой металлургией и позволяет сочетать сложную геометрическую форму детали с ее высокими механическими свойствами [3].

Цель настоящей работы - исследование свойств ГПЭ из высокоплотного сплава ВК-6 и ГПЭ из порошка ВНЖ-90 изготовленных по PIM-технологии. Исследовались пробивное действие ГПЭ, сохранность при взрывном метании, устойчивость к ударно-волновому воздействию в диапазоне скоростей 1800-2000 м/с.

Экспериментальные исследования проводились с элементами из ВК-6, ВНЖ-МП изготовленными по PIM-технологии АО «ФНПЦ «Старт» и с элементами из ВНЖ-90, изготовленными ОАО «Победит».

Основные параметры и характеристики ГПЭ.

Микроструктура сплавов:

Микроструктура твердого сплава ВК двухфазная, состоящая из зерен карбида вольфрама и твердого раствора на основе кобальта. Средний размер зерна карбида вольфрама не более 10 мкм [4].

Микроструктура тяжелого сплава марки ВНЖ-МП двухфазная, состоящая из зерен вольфрама и твердого раствора на основе никель-железа. Средний размер зерна вольфрама не более 30 мкм [5].

Химический состав смеси показан в таблице 1. Физико-механические свойства материала элементов показаны в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав

Марка сплава	Химический элемент	Массовая доля, %
ВК	Кобальт	5,5-6
	Карбид вольфрама	Остальное
ВНЖ-МП	Никель	6,8-7,4
	Железо	2,8-3,4
	Вольфрам	Остальное

Таблица 2 – Механические свойства

Марка сплава	Плотность, г/см3	Твердость	Предел прочности при сжатии, кгс/мм2	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм2
ВК	не менее 14,5	не менее 88 HRA	не менее 500,0	не менее 150,0

ВНЖ-МП	не менее 16,8	не менее 29 HRC	не менее 91,0	не менее 90,0

1.2 исходные материалы для изготовления ГПЭ.

Для ВК:

- порошок твердого сплава ВК ТУ 48-4205-112;

Для ВНЖ:

- мелкодисперсный порошок вольфрама ПВ2 ТУ 17-22-143;
- мелкодисперсный порошок никеля ПНК-1Л8 ГОСТ 9722;
- мелкодисперсный порошок карбонильного железа марки НМ ТУ 2236-006-74439740;
- гранулят Granulatex© ВНЖ-90 ТУ 24.45.30-001-08847173.

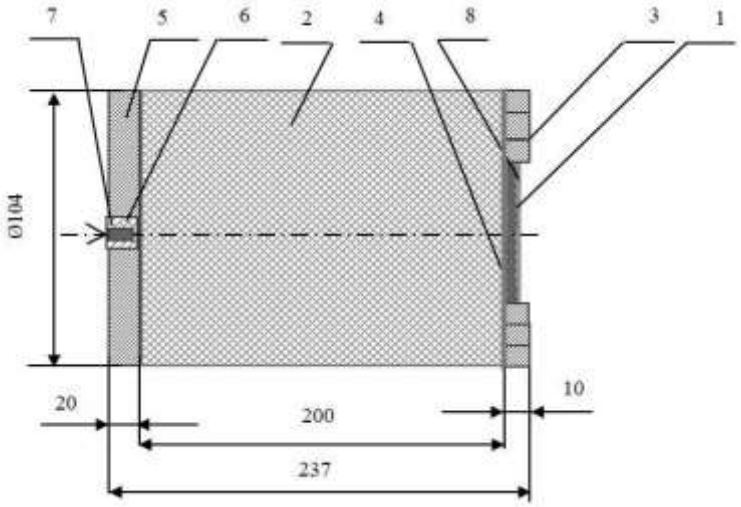
Основные характеристики по элементам приведены в таблице 3.

Таблица 3- Характеристики элементов

№	Материал элемента	Диаметр элемента, мм	Масса, г	Плотность элементов, г/см3	Количество элементов в макете, шт.
1	ВК-6	4,8	1	17,2	46
2	ВК-6 с покрытием из никеля	4,8	0,98	16,9	39
3	ВНЖ-90	5	1,1	16,8	46
4	ВНЖ-МП	5	1,1	16,8	46

Условия и порядок проведения испытаний.

Для исследования сохранности ГПЭ было смоделировано действие ударно-волновой нагрузки на осколочную оболочку боевой части. Для этого были разработаны макеты (Рисунок 1), на торцевой стороне, которой, располагались ГПЭ.



1 – метаемые элементы; 2 – разрывной заряд; 3 – стальные элементы; 4 – алюминиевый диск (АМг-6); 5 – пенопластовый диск; 6 – шашка из состава К-91, 7 – электродетонатор ЭД- 8М, 8 - компаунд ЭД-20.

Рисунок 1 – Схема конструкции макета для метания ГПЭ

Разрывной заряд (РЗ) изготавливался из двух шашек из окфола-3,5 ø104×100 мм с плотностью 1,74 г/см³. Масса РЗ - 3 кг. В каждом макете укладывалось определенное количество элементов (таблица 4). Для ограничения разлета элементов при метании элементы размещались внутри зоны 70×70 мм, ограниченной 40 стальными элементами.

Вид макета перед испытаниями представлен на рисунке 2.

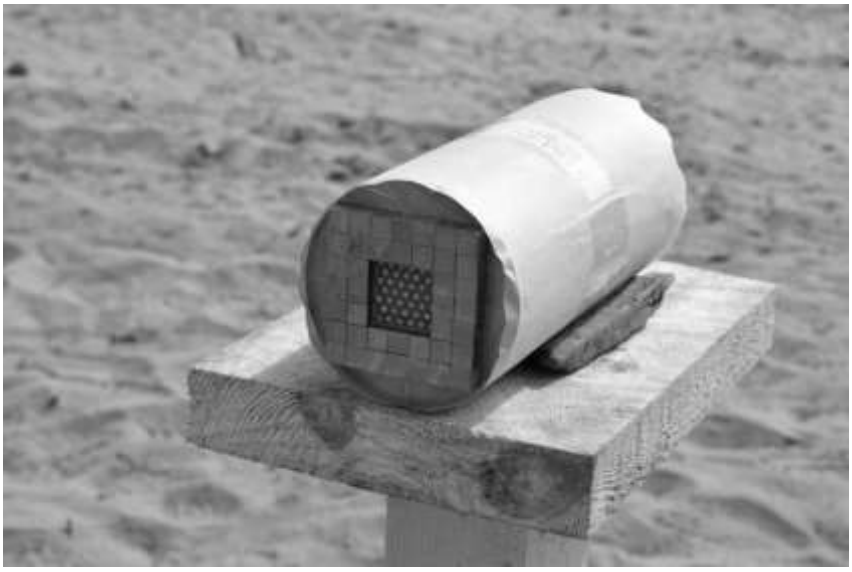
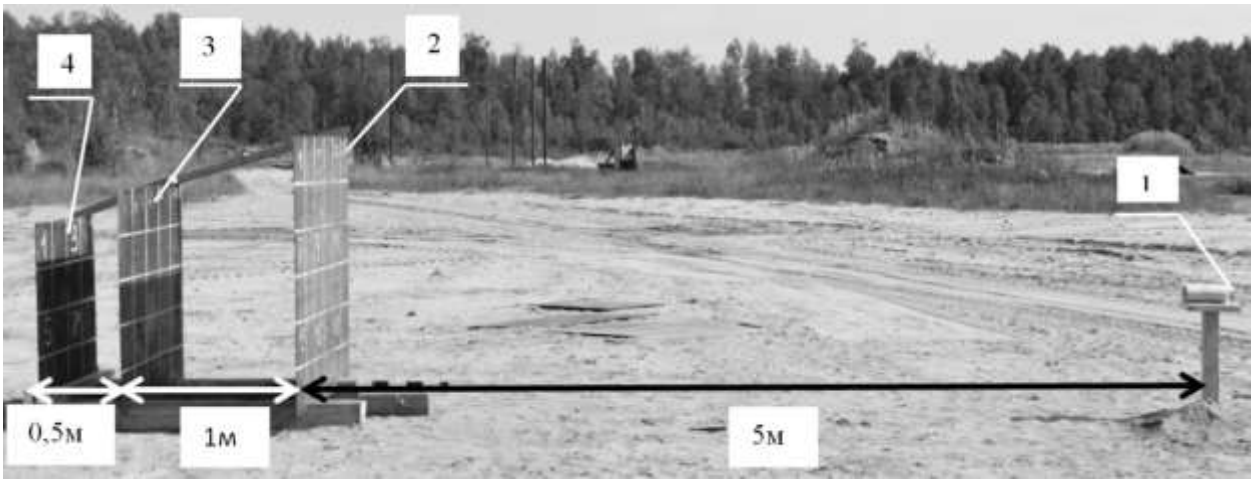


Рисунок 2 – Вид макета с элементами ВК-6 с покрытием из никеля

Испытания макетов были проведены на испытательном полигоне АО «ГосНИИмаш» в щитовых мишенных обстановках. Схема мишенной обстановки представлена на рисунке 3.

Первая стальная преграда размерами 1,25×1,25 м и толщиной 5 мм располагалась на расстоянии 5 м от центра подрыва, вторая преграда из стали 3 с размерами 1,25×1,25 м и толщиной 3 мм устанавливалась на расстоянии 1 м от первой преграды. За второй преградой на расстоянии 0,5 м устанавливалась третья стальная преграда с размерами 1×1 м толщиной 10 мм.



1 – макет, 2 – стальной лист δ=5мм, 3 – стальной лист δ=3мм,
4 – стальной лист δ=10мм.

Рисунок 3 – Схема мишенной обстановки

Для регистрации скорости потока элементов и процесса пробития элементами преград применялась высокоскоростная съемка камерами Phantom. Область съемки камеры приведена на рисунке 4.

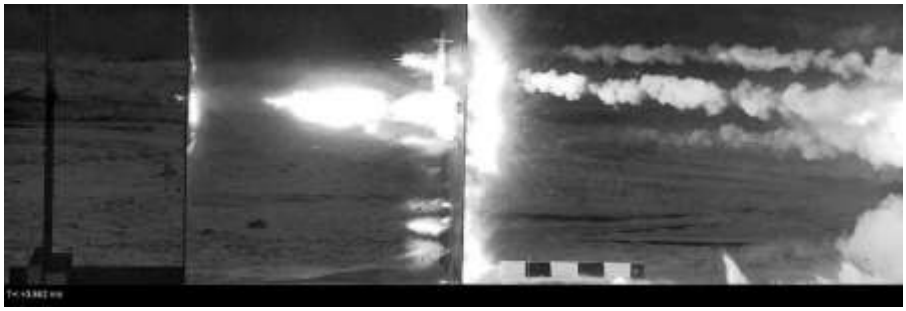


Рисунок 4 – Область съемки высокоскоростной камеры

Для ГПЭ из ВНЖ-МП использовалась мишенная обстановка, состоящая из стального листа размером 1060×1060 мм, толщиной 8 мм, установленного на расстоянии 5м.

Количество элементов достигших преград определялось в зоне фокусирования по центру преград. Размеры зоны разлета ГПЭ составляли 0,25×0,25 м (рисунок 5). Точка прицеливания макетов находилась в центре этой зоны. Для более точной расшифровки попавших в преграду элементов центральная зона щита фотографировалась в увеличенном масштабе.

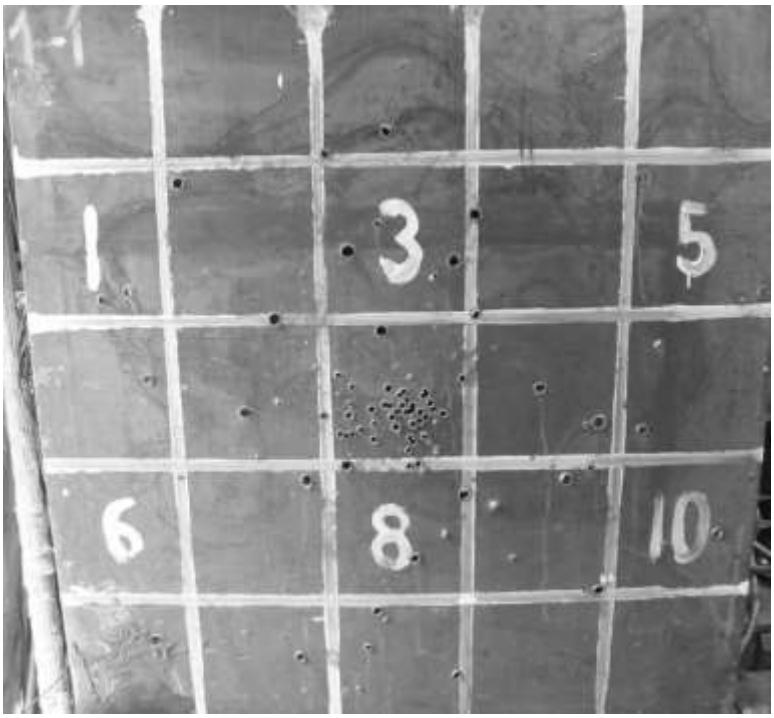


Рисунок 5 - Вид пробоин на тыльной стороне стальной преграды толщиной 5 мм от элементов из ВНЖ-90 Ø5 мм и стальных элементов 10х10 мм.

Испытания макетов показали, что во всех случаях количество элементов, пробивших первую стальную преграду не соответствует количеству элементов, уложенных в макет. Часть ГПЭ разрушается в процессе взрывного метания. В результате, в центральной зоне преграды остаются мелкие кратеры и пробоины диаметром 1-3 мм.

Мелкие пробоины диаметром 3 мм и меньше наблюдались и в зонах преграды, удаленных от ее центра. Эти пробоины, наиболее вероятно, образовывались от осколков стальных (сталь 10) элементов, обладающих достаточной плотностью для пробития преграды.

По результатам измерений входных пробоин от элементов в первой стальной преграде (в зоне фокусирования) их размеры составили: от элементов из ВК-6 – 5-7 мм; от элементов из ВНЖ – 8-10 мм.

Стальные элементы с размерами 10х10х10 мм при пробитии стальной преграды 3 мм образуют пробоины диаметром 16-18 мм, которые располагаются в зонах по краям щита.

В таблице 4 указано количество осколков, пробивших преграды δ=5мм и δ=3мм. Поскольку преграда δ=10мм не была пробита ни в одном опыте, в таблице указано количество внедрявшихся в нее осколков, в таблице 5 указаны протокольные данные испытаний. Картины пробития преград элементами приведены на рисунках приложения А.

Таблица 4 – Количество осколков, пробивших преграды δ=5мм и δ=3мм, а также внедрившихся в преграду δ=10мм.

№	Материал элемента	Пробития в 1 преграде X1, шт. (X0) шт.	Пробития во 2 преграде X2, шт.	Внедрения в 3 преграду X3, шт.
1	ВК-6	45 (46)	15	0
2	ВК-6 с покрытием из никеля	51 (39)	10	4
3	ВНЖ-90	43 (46)	23	30
4	ВНЖ-МП	44 (46)	-	-
Примечание: X - количество ГПЭ, пробивших преграду, X0 – количество ГПЭ в макете.				

Таблица 5 – Результаты испытаний

№	Материал элемента	Средняя скорость элементов, м/с	Суммарная толщина,H∑ пробития преград, мм	Угол разлета элементов, градус
1	ВК-6	1811	8	2-3
2	ВК-6 с покрытием из никеля	2072	9	2-3
3	ВНЖ-90	1840	14	2-3
4	ВНЖ-МП	1780	8	2-3

Несмотря на отличающиеся технологии изготовления, элементы из ВНЖ-90 и ВНЖ-МП имеют схожие сохранность и поражающее действие. ГПЭ выдерживают взрывную нагрузку и пробивают более 8 мм стали, оставляя крупные отверстия в преграде. Разрушение элементов происходит после пробития преград.

Что касается ГПЭ из ВК-6, несмотря на высокую прочность, элементы частично разрушаются при взрывном нагружении теряя часть своей массы, о чем говорят меньшие отверстия в преградах, по сравнению с ВНЖ. При скорости метания ~2000 м/с часть элементов разрушается на несколько частей, оставляя в стальной преграде большее количество мелких

отверстий. При пробитии первой преграды элементами из ВК-6 происходит их дополнительное дробление. Наружное покрытие из никеля (Ni) не способствует изменению сохранности элементов. Все вышеперечисленное говорит о том, что из-за высокой твердости ГПЭ обладают излишней хрупкостью и недостаточной пластичностью.

Список литературы

1. Средства поражения и боеприпасы: А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др. М.:Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.

2. Вольфрам в боеприпасах. Черняк Г.Б., Поварова К.Б.М.: ФГУП «ЦНИИХМ», 2014.

3. Перспективная технология переработки порошковых композиций. 3D/PIM технология. Обзорная статья с сайта www.kuranty.pro. 2022г;

4. ТУ 25.40.14-001-08847173-2019;

5. ТУ 25.40.14-002-08847173-2020;

6. Вольфрам и его сплавы. Поварова К.Б. М.: Машиностроение, 2001.

УДК 662.215.12

Кривизна фронта детонационной волны взрывчатого вещества триаминотринитробензола

Triaminotrinitrobenzene detonation wave front curvature

Ахлюстин И. А. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Косолапов И. Э. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Просвирнин К. М. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Мирошкин К. М. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Лопандина Н. Ю. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Беленовский Ю. А. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Смирнов Е. Б. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Гармашев А. Ю. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»
Петров Д. В. – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ имени академика Е.И. Забабахина»

Аннотация: теория идеальной детонации удовлетворительно описывает детонацию зарядов, диаметр которых близок к предельному. При меньших диаметрах скорость детонации может существенно отличаться от идеального значения. При этом фронт детонационной волны приобретает форму выпуклую в сторону распространения детонации и по прошествии некоторого участка развития он принимает стационарную форму. В данной работе проведен анализ результатов экспериментов, демонстрирующих взаимосвязь локальной кривизны фронта детонационной волны с величиной скорости детонации данного участка фронта.

Annotation: the theory of ideal detonation can adequately describe the detonation of charges with near critical diameter. For minor diameters, detonation velocity can differ significantly from an ideal value. In this case, the detonation wave front acquires a convex shape in the direction of detonation propagation and after a certain section of development it assumes a stationary form. In this work the analysis of experimental results demonstrating the relationship between the local curvature of the detonation wave front and the detonation rate of this section of the front.

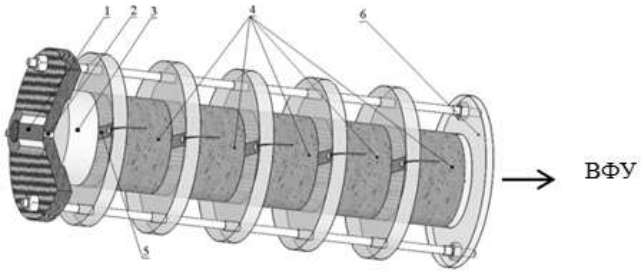
Ключевые слова: взрывчатые вещества, скорость детонации, пористость, кривизна фронта, триаминотринитробензол.

Keywords: explosives, detonation velocity, porosity, front curvature, triaminotrinitrobenzene.

Теория идеальной детонации удовлетворительно описывает детонацию зарядов, диаметр которых близок к предельному. При меньших диаметрах скорость детонации может существенно отличаться от идеального значения. При этом фронт детонационной волны приобретает форму выпуклую в сторону распространения детонации и по прошествии некоторого участка развития он принимает стационарную форму. В данной работе проведен анализ результатов экспериментов, демонстрирующих взаимосвязь локальной кривизны фронта детонационной волны с величиной скорости детонации данного участка фронта.

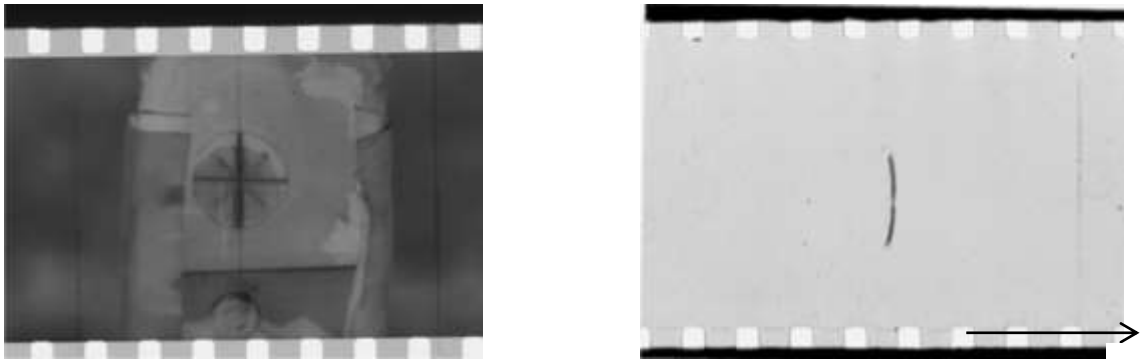
Параметры детонации определяются термодинамическими характеристиками взрывчатого вещества (ВВ): плотность и температура, а также параметрами структуры: дисперсность кристаллов ВВ, функцией распределения пор в объеме детали из ВВ и т.д. [1].

В данной работе экспериментально исследовано влияние пористости на кривизну фронта детонационной волны (ДВ) в ВВ триаминотринитробензол (ТАТБ). В экспериментах с помощью высокоскоростного фоторегистратора (ВФУ) регистрировался пространственный профиль детонационной волны, выходящей на торцевую поверхность исследуемых цилиндрических образцов различного диаметра и пористости. Дополнительно, с помощью ионизационных электроконтактных датчиков, регистрировался процесс распространения детонации в ВВ ТАТБ. Схема постановки опытов приведена на рисунке 1.



1 Электродетонатор
2 Пруток из пластичного ВВ
3 Инициирующий заряд
4 Исследуемые образцы ВВ ТАТБ
5 Система электроконтактных датчиков (ЭКД) из медной фольги
6 Отсечка из оргстекла
Рисунок 1 – Схема постановки экспериментов

В экспериментах, с помощью электроконтактных датчиков (5), регистрировались времена прохождения детонационной волны по последовательно расположенным образцам (4). Возбуждение детонации в исследуемых образцах (4) осуществлялось при помощи инициирующего заряда (3). Заряд (3) инициировался электродетонатором (1) через пруток из пластичного ВВ (2).Пример фотохронограммы фронта ДВ и предварительного снимка (до проведения эксперимента) приведены на рисунке 2.



а) б)

а) предварительный снимок
б) фотохронограмма фронта ДВ
Рисунок 2– Фотохронограмма фронта детонационной волны

Первоначально анализ z, r координат движения формы фронта детонационной волны для случая установившегося течения проводился с использованием функции окружности

$$z = z_0 + \sqrt{R^2 - \left(r - r_0\right)^2}, \tag{1}$$

где r0, z0 – коэффициенты, учитывающие смещение центра окружности от нулевой точки, R – радиус окружности.

Результаты аппроксимации z, r координат с помощью формулы (1) приведены на рисунке 3. Так же на рисунке приведены отклонения экспериментальных точек от аппроксимирующей функции Δz.

Из рисунка 3 видно, что функция окружности позволяет достоверно описывать центральную часть фронта, но при приближении к краю образца ВВ резко возрастают отклонения. Так же коэффициент корреляции при аппроксимации принимает значение меньше 0,99.

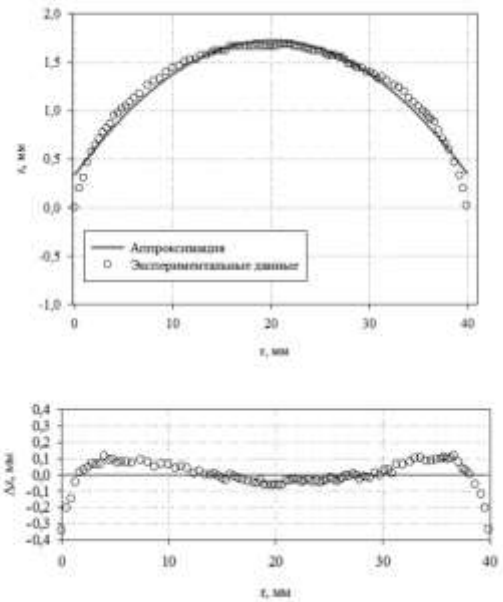


Рисунок 3– Аппроксимация фронта ДВ с помощью функции окружности

Для решения данной проблемы был проведен поиск функции, способной описывать весь фронт ДВ. Было предложено использовать функцию Бесселя, приведенную в работах [2, 3].

В данном случае анализ формы фронта детонационной волны проводился на основе теории неидеальной детонации.

Кривизна (k) любой трехмерной поверхности определяется из комбинации ее первой и второй пространственных производных по ортогональным направлениям. Первая главная кривизна по радиальной координате выражается следующим образом

$$k_1(r) = \frac{z^{//}(r)}{\left[1 + z^{/}(r)^2\right]^{\frac{3}{2}}} \tag{2}$$

В цилиндрической геометрии образца предполагается, что профиль фронта ДВ симметричен относительно оси, что позволяет выразить вторую главную кривизну

$$k_2(r) = \frac{\sin\theta}{r} = \frac{\sin \operatorname{arctg}(z^{/}(r))}{r} = \frac{z^{/}(r)}{r\left[1 + z^{/}(r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \tag{3}$$

Из дифференциальной геометрии известно, что средняя кривизна поверхности выражается через две главные кривизны в ортогональных направлениях

$$k(r) = \frac{1}{2}\left(\frac{z^{//}(r)}{\left[1 + z^{/}(r)^2\right]^{\frac{3}{2}}} + \frac{z^{/}(r)}{r\left[1 + z^{/}(r)^2\right]^{\frac{1}{2}}}\right) \tag{4}$$

Задаваясь конкретным видом зависимости кривизны фронта детонационной волны от стационарной скорости детонации k(D), можно получить аналитическое решение этого уравнения. Приближенное решение данного уравнения имеет вид

$$z(r) = \ln\left(J_0(r)\right) \tag{5}$$

где J0(r) – функция Бесселя первого рода, которая для удобства дифференцирования с точностью до константы может быть выражена через тригонометрические функции. Окончательно для функции z(r) предложено следующее выражение

$$z(r) = -\sum_{1}^{n} a_i \left(\ln\left[\cos\left(\eta \frac{\pi}{2} \frac{r}{R}\right)\right]\right)^i \tag{6}$$

где r – радиальная координата; R – радиус цилиндрического заряда; ai,η – подгоночные коэффициенты, n – количество членов ряда.

В данной работе использовалось количество членов ряда, равное 5. Дальнейшее увеличение числа членов ряда оказывается нецелесообразным из-за громоздкости аналитических представлений первой и второй производных используемой функции.

Результаты аппроксимации экспериментальных данных с помощью формулы (6) приведены на рисунке 4. На этом же рисунке приведено распределение отклонения экспериментальных точек от аппроксимирующей функции Δz. Отклонение между экспериментальными и расчетными значениями, за исключением краевой зоны, не превышает 0,05мм, что в пересчете на времена дает значение 0,007 мкс.

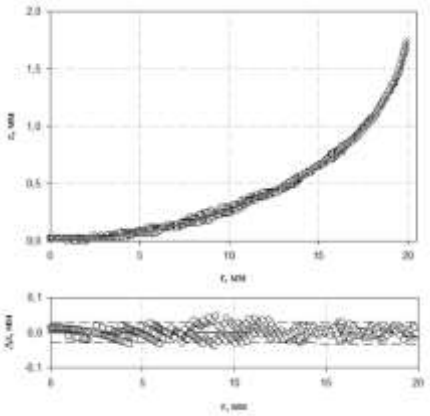


Рисунок 4 – Аппроксимация фронта ДВ с помощью функции Бесселя

Для оценки достоверности аппроксимации экспериментальных данных выбранными функциями был проведен анализ распределения остатков (отклонений экспериментальных данных от аппроксимирующей кривой) на предмет его соответствия нормальному закону. Оценка проводилась с использованием критерия Колмогорова [4]. Он основан на определении максимальной разности между эмпирическим распределением выборки (остатков) и теоретическим (законом нормального распределения).

Анализ по критерию Колмогорова показал, что распределение остатков при аппроксимации с помощью функции:

- окружности подчиняется нормальному закону распределения с вероятностью от 0,85 до 0,95;

- Бесселя подчиняется нормальному закону распределения с вероятностью от 0,99.

Таким образом, из анализа по критерию Колмогорова следует, что экспериментальные данные наиболее достоверно описывает функция Бесселя. В дальнейшем использовались данные, полученные при аппроксимации функцией Бесселя.

Нормальная компонента скорости детонации вдоль радиальной координаты r связана со стационарной скоростью детонации для данного диаметра Dст (в цилиндрической геометрии) следующим образом

$$D_n(r) = D_{\text{ст}} \cos\theta(r) = D_{\text{ст}} \cdot \cos \operatorname{arctg}\left(z'(r)\right) = \frac{D_{\text{ст}}}{\left[1 + z'(r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (7)$$

где θ(r) - угол между нормальной составляющей вектора скорости детонации и осью заряда по радиальной координате.

Полученные таким образом две функции Dn(r) и k(r) в параметрическом виде дают связь нормальной составляющей скорости детонации с кривизной вдоль профиля детонационной волны. Рассчитанные значения для образцов разной пористости приведены на рисунке 5. На рисунке верхняя ветвь зависимости получена в экспериментах с образцами ВВ диаметром 40 мм, а нижняя – в экспериментах с образцами ВВ диаметром 15 мм.

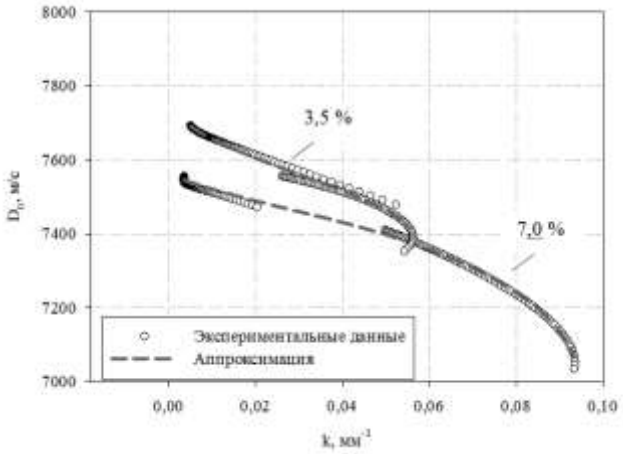


Рисунок 5 – Связь нормальной составляющей скорости детонации с кривизной фронта ДВ ВВ ТАТБ

Вся совокупность данных аппроксимирована выражением, предложенным в работе [5]:

$$D_n(k) = D_{np}\left(1 + A\left[\left(k_{kp} - k\right)^{\alpha} - k_{kp}^{\alpha}\right] - \frac{Bk^{\beta}}{1 + Ck^{\gamma}}\right) \quad (8)$$

где kkp – критическая кривизна фронта ДВ; Dпр – предельная скорость детонации, A, B, C, α, β, γ – аппроксимирующие коэффициенты.

В результате аппроксимации формулой (8) найдены следующие значения коэффициентов аппроксимации для образцов ВВ ТАТБ:

- пористостью 3,5%: kkp = 0,052 ± 0,002 мм-1; Dпр = 8074 ± 379 м/с, A = 0,230 ± 0,091, B = 0,896 ± 0,397, C = 73,806 ± 6,932, α = 0,780 ± 0,101, β = 0,315 ± 0,053, γ = 0,521 ± 0,223;

- пористостью 7,0%: kkp = 0,093 ± 0,001 мм-1; Dпр = 8417 ± 513 м/с, A = 0,497 ± 0,200, B = 1,478 ± 0,367, C = 48,064 ± 21,287, α = 0,675 ± 0,063, β = 1,391 ± 0,207, γ = 2,064 ± 0,235.

Зависимость Dn(k) представляет собой связь нормальной составляющей компоненты скорости детонации с кривизной по радиальной координате, и хорошо согласуется с данными, полученными для различных диаметров. Кривизна фронта увеличивается не бесконечно, а до некой максимальной величины - критической кривизны фронта ДВ. Таким образом, полученная зависимость отражает существование критического диаметра детонации ВВ.

В работе [6] И. Ф. Кобылкиным было показано, что связь критический диаметр детонации (dkp) с критическим радиусом кривизны фронта ДВ определяется из условия стационарности фронта

$$R_{кр} cos\varphi_{зв} = \frac{d_{кр}}{2}, \quad (9)$$

где Rkp - критический радиус кривизны фронта ДВ, являющийся обратно пропорциональной величиной kkp.

Угол наклона (φзв) фронта детонационной волны к вектору нормали имеет вид

$$\varphi_{зв} = arctg\left[\frac{D_n^2}{\left(D_n - u\right)\left[bu\left(2D_n + bu\right)\right]^{\frac{1}{2}}}\right], \quad (10)$$

где Dn – нормальная составляющая скорости детонационного фронта; u – массовая скорость; a, b – коэффициенты уравнения ударной адиабаты.

С использованием D-U – соотношения ВВ ТАТБ [7] и формул (9, 10) был рассчитан критический диаметр детонации для образцов ВВ ТАТБ различной пористости. В результате расчетов было получено, что для образцов ВВ ТАТБ пористостью 3,5% критический диаметр детонации равняется 19,6±0,8 мм, а для образцов ВВ ТАТБ пористостью 7,0% - 12,7±0,5 мм. Таким образом, при увеличении пористости образцов с 3,5 % до 7,0% происходит уменьшение критического диаметра детонации. Однако, стоит отметить, что полученные результаты имеют завышенные значения на 10-15% относительно экспериментальных данных [8].

Список литературы

Физика взрыва. Под. Ред. Л.П. Орленко. Монография. Изд 3-е, переработанное. В 2 т. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002г.

B. D. Lambourn, D.C. Swift. Application Whitham's shock dynamics theory to the propagation of divergent detonation waves. 9th Symposium (Int.) on Detonation (1989).

Е.Б. Смирнов, А.Н. Аверин, Б.Г. Лобойко, О.В. Костицын, Ю.А. Беленовский, К.М. Просвирнин, А.Н. Киселев. Динамика фронта детонационной волны в твердых взрывчатых веществах // Физика горения и взрыва. – 2012. – Т.48, №3. – С. 69 – 78.

РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных.

L. G. Hill, J. B. Bdzil, T. D. Aslam. Front Curvature Rate Stick Measurements and Detonation Shock Dynamics Calibration for PBX-9502 over a Wide Temperature Range. The XIth Symposium (Int.) on Detonation. Snowmass, Colorado, USA, 1998.

И.Ф. Кобылкин, В.В. Селиванов, В.С. Соловьев, Н.Н. Сысоев. Ударные и детонационные волны. Методы исследования. М.:Физматлит 2004. – 375с

Ударно-волновые явления в конденсированных средах. Г.И. Каннель, С.В. Разоренов, А.В. Уткин, В.Е. Фортов. Москва, Янус-к, 1996 г.

Afanas'ev G.T., Akimova L.N. Common shape of dependence critical diameter of denotational on density for TATB example // 31 st Annual Conference of ICT. Karlsruhe – 2000 – p 79.

УДК 623.45

Методические основы расчета параметров функционирования кумулятивного заряда с использованием нейронной сети

Methodological foundations for calculating parameters of shaped charge functioning using a neural network

Колодкин В.С. – сотрудник научно-исследовательского центра АО «НИМИ им. В.В. Бахирева»

Аннотация: предложен метод расчета параметров функционирования кумулятивного заряда, сочетающий известные инженерные методики и вычисления с помощью искусственной нейронной сети. Представлена схема нейронной сети, определяющей необходимые поправочные коэффициенты. Учтено влияние технологических факторов и отклонений инженерных методик от реальных физических процессов. Указаны основные преимущества и недостатки метода, а также его потенциальные возможности.

Annotation: a method for calculating the parameters of shaped charge functioning is proposed, combining well-known engineering techniques and calculations using an artificial neural network. The article presents a diagram of a neural network that determines the necessary correction coefficients. The method takes into account the influence of technological factors and deviations of engineering techniques from real physical processes. Indicated the main advantages and disadvantages of the method, as well as its potential.

Ключевые слова: нейронная сеть, кумулятивный заряд, инженерная методика

Keywords: neural network, shaped charge, engineering

Осесимметричные кумулятивные заряды (КЗ) нашли широкое применение в военных целях в соответствующих артиллерийских и инженерных боеприпасах [1], а также для решения прикладных задач промышленности и производства продукции гражданского назначения [2, 3]. Существующие инженерные методики расчета параметров функционирования кумулятивных зарядов напрямую не учитывают влияние различных технологических факторов (например, точность изготовления отдельных элементов кумулятивного узла и всей сборки в целом, неоднородности взрывчатого состава и параметров материала облицовки и т.п.).

В монографии [4] представлены инженерные методики расчета параметров функционирования кумулятивных зарядов (методики Орленко и Маринина). В инженерной методике Орленко скорость схлопывания элемента кумулятивной облицовки (КО) определяется по формуле

$$v_i = 0,5 k_1 D \sqrt{\frac{\beta_i}{\beta_i + 2}} \qquad (1)$$

где β – коэффициент нагрузки, D – скорость детонации используемого состава,

k1 – коэффициент, учитывающий отклонение от реального процесса схлопывания. Коэффициент предельного удлинения элемента струи определяется по формуле

$$n_b = k_2 + k_3 R\varepsilon \qquad (2)$$

где k2 и k3 – коэффициенты, определяемые индивидуально для материала КО,

R и ε –начальные значения радиуса элемента и градиента скорости соответственно. Глубина проникания элементов струи рассчитывается как

$$L_i = k_4 k_5 k_6 k_7 l_i \sqrt{\frac{\rho_J}{\rho_T}} \qquad (3)$$

где коэффициенты k4–k7 отвечают соответственно за учет влияния скорости на глубину проникания, прочности преграды, сжимаемость струи и преграды и технологические особенности изготовления кумулятивного узла [5].

Коэффициенты k1–k7 позволяют косвенно учесть технологические параметры и влияние свойств преграды на характер действия КЗ и подбираются так, чтобы результаты расчета согласовались с результатами экспериментов. Тем не менее, сложно установить явную связь между конкретными значениями технологических параметров (разноплотность взрывчатого состава, величина зерна материала облицовки и т.п.) и значениями этих коэффициентов. Такую возможность дает использование искусственных нейронных сетей.

Искусственная нейронная сеть – это математическая модель, обрабатывающая входные данные по принципу, аналогичному принципу функционирования нейронов живых организмов. Нейронные сети используются в задачах аппроксимации, прогнозирования, управления и распознавания образов. В инженерной области нейронные сети используются для вычисления аэродинамических характеристик аппаратов [6, 7], моделирования жаропрочности сплавов [8], а также для решения многих других прикладных задач. Структурными единицами нейронной сети являются нейроны, строение которых похоже на строение биологических нейронов. Модель нейрона представлена на рисунке 1.

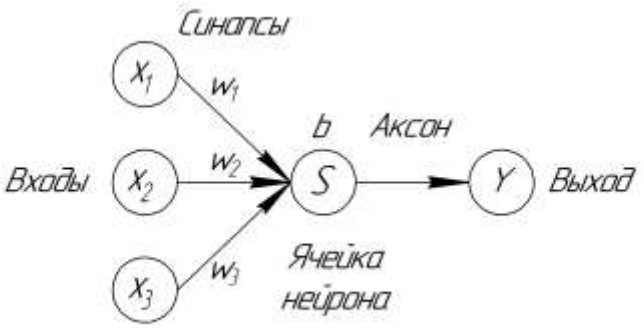


Рисунок 1 – Модель искусственного нейрона

Каждый нейрон обладает набором однонаправленных входных связей, называемых синапсами, а также одной выходной связью – аксоном. Синапсы «снабжают» нейрон входными данными и данными от других нейронов, аксон передает единственное выходное значение на другие нейроны. Каждый i-ый синапс характеризуется собственным весом wi, а значение S на самом нейроне определяется по формуле

$$S = \sum_{i=1}^{n} x_i w_i + b, \quad Y = f(S) \tag{4}$$

где xi – i-ое входное значение, wi – вес соответствующего синапса,

b – смещение нейрона, Y – выходное значение нейрона, которое аксон передает на другие нейроны.

Функция f(S) называется функцией активации и как правило имеет следующий вид:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-\alpha x}} \tag{5}$$

Одной из наиболее простых моделей нейронной сети является нейронная сеть с одним скрытым слоем [9], модель которой изображена на рисунке 2. В процессе работы сети каждое значение из входных данных («входного слоя») поступает в каждый нейрон промежуточного («скрытого») слоя, а затем переработанные значения из нейронов скрытого слоя поступают в выходные нейроны (выходной слой). Каждому нейрону скрытого и выходного слоев соответствует свой набор весов и свое смещение. В более общем случае, количество скрытых слоев может быть больше одного.

Одним из важнейших свойств искусственных нейронных сетей является их способность к обучению, т.е. к обобщению знаний, полученных на основе вводимых данных. Фактически, обучение нейросети заключается в определении подходящих весов и смещений каждого нейрона, составляющего сеть.

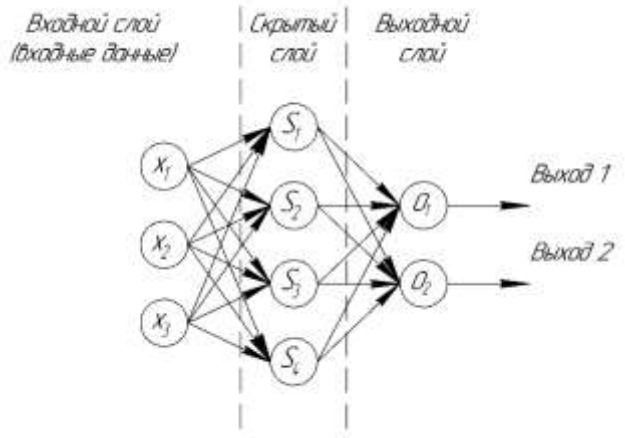


Рисунок 2 – Модель нейронной сети с одним скрытым слоем

Обученная искусственная нейронная сеть может позволить напрямую учесть влияние технологических факторов на функционирование КЗ путем расчета коэффициентов k1-k7 на основании входных данных, показанных на рисунке 3.

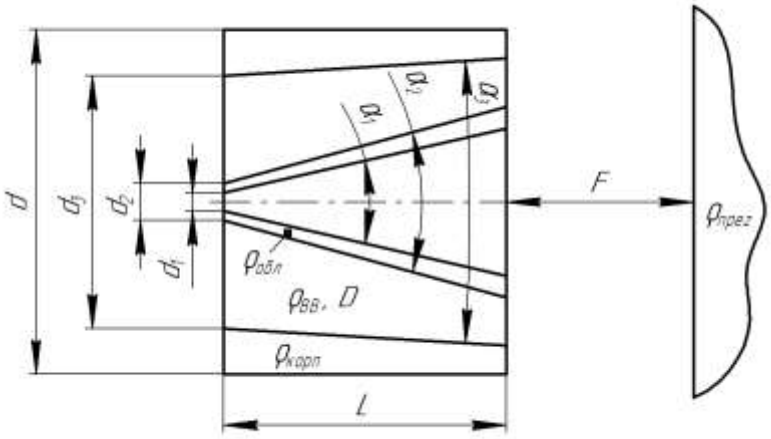


Рисунок 3 – Параметры кумулятивного узла

Для прогнозирования влияния технологических параметров на действие КЗ предлагается использовать нейронную сеть с одним скрытым слоем нейронов, модель которой представлена на рисунке 4. В качестве входных данных принимаются геометрические характеристики КЗ (d, L, F и т.д. на рисунке 3), характеристики используемых материалов (плотности корпуса, облицовки, преграды и взрывчатого состава, скорость детонации) и набор технологических параметров (t1–tm), таких как величина зерна материала облицовки, отклонения и т.д.

Помимо расчета коэффициентов k1–k7 необходим расчет еще одного коэффициента k8, отражающего влияние параметров КЗ на скорость дрейфа (боковую скорость). В грубом приближении скорость дрейфа можно принять пропорциональной скорости элемента струи:

$$v_{Бi} = k_8 v_i \qquad (6)$$

Количество элементов разбиения n (которые полагаются равными по длине) также является результатом работы нейросети.

Такой способ расчета позволит более точно описать процесс функционирования КЗ и сделает возможным корректное решение задач оптимизации [10] параметров всего кумулятивного узла с учетом технологических аспектов, а также отклонений от реальных физических процессов, возникающих из-за принятых в инженерных методиках допущений.

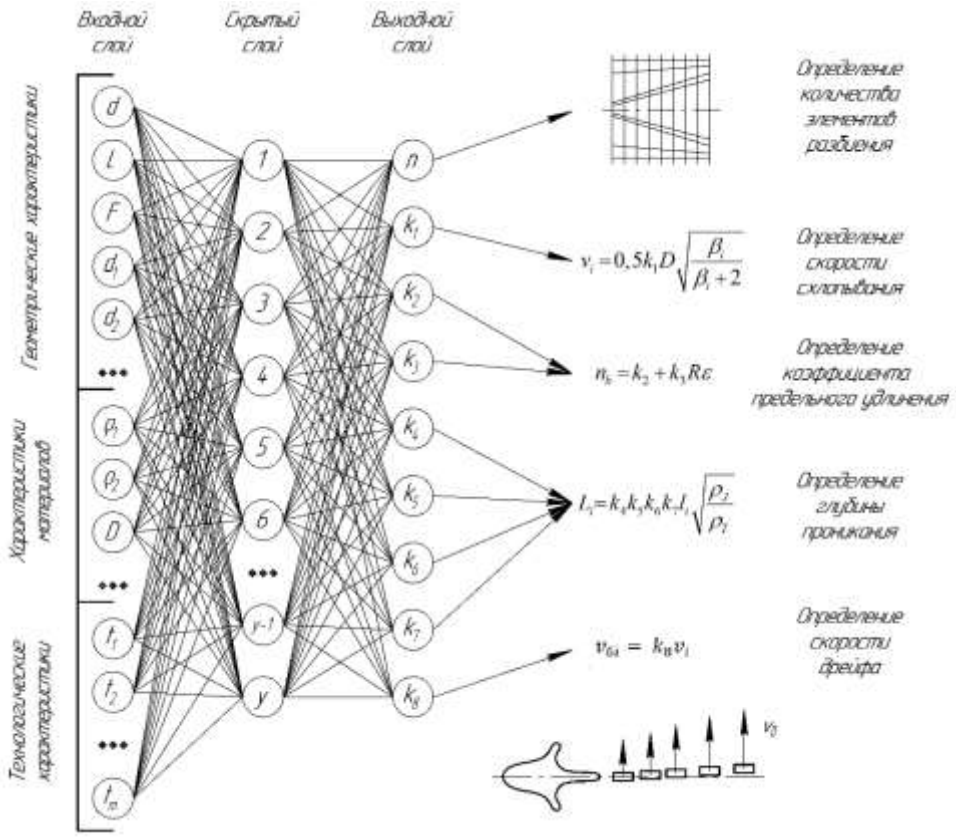


Рисунок 4 – Схема нейронной сети для определения оптимального количества элементов разбиения и поправочных коэффициентов

Главным преимуществом метода является то, что нейронная сеть может принимать на вход параметры разных типов (например, геометрические размеры КЗ и характеристики материалов), самостоятельно выстраивая закономерности и связи между отдельными характеристиками. В то же время, для обучения нейронной сети необходимо наличие обучающей выборки (большого набора экспериментальных данных), для которых точно известны учитываемые в модели сети технологические характеристики. Данное обстоятельство может представлять определенную проблему, что следует считать некоторым недостатком предложенного метода.

Большой практический интерес представляет определение конкретных параметров нейросети (например, количество нейронов в скрытом слое). На основе схемы, изображенной на рисунке 4, автором статьи на языке Python создается программа расчета параметров функционирования кумулятивного узла.

Таким образом, представленный комбинированный способ расчета параметров функционирования КЗ на основе инженерной методики, использующей рассчитанные нейронной сетью коэффициенты, может стать эффективным инструментом теоретического и практического анализа задач, связанных с кумулятивным действием.

Список литературы

1. Семененко Н.П., Гогин В.В., Коленкин А.В., Кузьмин В.Н. Научно-исследовательский машиностроительный институт (НИИ-24): для великой Победы, для мирной жизни // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы – 2020. - №2. С. 29-41.

2. Селиванов В.В., Кобылкин И.Ф., Новиков С.А. Взрывные технологии: Учебник для втузов / под общей ред. В.В. Селиванова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 648 с.: ил.

3. Перспективы разработки и производства инновационной продукции гражданского назначения на предприятиях интегрированной структуры: корпоративные задачи, научные исследования и разработки, методическое обеспечение / Тематический научно-технический сборник ФГУП «НИМИ». ISBN 978-5-9902072-3-3. – М.: ГосНИП «Расчет». 2011. – 154 с.

4. Физика взрыва. Монография, под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, переработанное. Том 2. Физматлит, 2002.

5. Колмаков А.И., Ладов С.В., Силаева В.И. Влияние технологии изготовления, структуры и механических свойств облицовок на эффективность работы перфораторов // Труды МВТУ. -1980. - №340. – С.27-35.

6. Ф.Е. Дорофеев, Е.А. Дорофеев. Применение нейронных сетей для определения аэродинамических характеристик малых космических аппаратов // Труды МФТИ. 2020. Том 12, №2. С. 141–148.

7. Е.А. Дорофеев, Д.И. Игнатьев, А.Н. Храбров. Применение искусственных нейронных сетей для моделирования нестационарных аэродинамических характеристик // Аэрокосмические исследования, прикладная механика. Труды МФТИ. 2011. Том 3, №3. С. 64–72.

8. Применение искусственных нейронных сетей в материаловедении: учеб. пособие / А.Г. Тягунов, О.Б. Мильдер, Д.А. Тарасов, А.П. Сергеев; М-во науки и высш. обр. РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2021. – 68 с.

9. С. Хайкин. Нейронные сети. Полный курс. 2-е издание. Диалектика, 2019. 1104 с.

10. Г.Д. Григоренко, В.В. Гогин, А.Я. Дмитриева, В.С. Колодкин. Технологические параметры изготовления заготовок деталей снарядов из конструкционных сплавов. Планирование и оптимизация эксперимента // Боеприпасы и высокоэнергетические конденсированные системы – 2022.

УДК 355.421

Моделирование тактических ситуаций с помощью экспертных систем с нечеткой логикой

Simulation of tactical situations using expert systems with fuzzy logic

Дурнев Р.А. – первый вице-президент ФГБУ РАРАН
Свиридок Е.В. – заместитель руководителя секретариата СГК СВ СОН ФГБУ РАРАН
Гусева А.С. – заместитель руководителя секретариата президиума ФГБУ РАРАН

Аннотация: приведен пример использования алгоритмов нечёткого вывода для оценки рациональности различных вариантов маршрута передвижения при выполнении боевых задач.

Annotation: an example of using fuzzy inference algorithms to assess the rationality of various options for the route of movement when performing combat missions is given.

Ключевые слова: теория нечетких множеств, системы БПЛА, система нечеткого вывода, укрепление огневой позиции, бой.

Keywords: fuzzy set theory, system BPLA, fuzzy inference system, strengthening the firing position, the battle.

Важнейшей частью разработки вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) является моделирование применения ВВСТ на тактическом уровне. На данном уровне, как представляется, заключено многообразие всех возможных факторов боевой обстановки, условий применения оружия, индивидуальных действий военнослужащих. При этом, в научном плане особый интерес представляет вопрос о том, что должно быть положено в основу алгоритмизации процессов современного боя, протекающего в сложных условиях. Особенностями этих условий является, прежде всего, наличие огромного количество факторов различной природы, подлежащих учету - от конкретного физиологического состояния бойца до погрешности в передаче разведывательной информации, от наличия боекомплекта у каждого военнослужащего в тактическом подразделении - до метеорологических параметров атмосферы в районе расположения противника и т.п.[1,2]. Помимо размерности такой задачи, особую проблему составляют и другие нюансы, например, точность получаемой отдельными военнослужащими, в том числе командирами, информации о всех рассматриваемых факторах. Ну и, наконец, значительную проблему в автоматизации (в частности, для выработки рациональных тактических действий) представляет неопределенность информации, зачастую связанная с её качественным характером.

Представляется, что наиболее пригодным для решения рассматриваемой задачи являются различные экспертные системы знаний, основанные на теории нечетких множеств (ТНМ) [3]. Именно они позволят учесть высокую размерность и все неопределенности, о которых говорилось выше. Сама эта теория является обобщением классической теории множеств (положенной в основу всей современной математики) на случай различного рода физических, лингвистических и других неопределенностей.

С учетом положений ТНМ в рамках экспертной системы для выработки рациональных тактических действий необходимо разработать систему нечеткого вывода (СНВ). Информацию, которая подается на вход СНВ, составляют значения некоторых входных

переменных. Это может быть поступающая бойцу информация из всех возможных источников –от старшего начальника в виде полной постановки боевой задачи или отдельных конкретных указаний в ходе боя, личного состава своего подразделения (соседей справа-слева), приборов ночного видения, прицельных приспособлений, органов чувств самого военнослужащего, приборов разведки, оптико-электронных систем БПЛА и робототехнических средств и др. Выходной информацией для СНВ будут являться рациональные варианты тактических действий – по выбору цели, перемещению на поле боя, занятию рубежей обороны, выбору стрелкового и другого оружия и многое другое.

Для построения алгоритмов нечеткого вывода, которые могут быть положены в основу экспертных систем для выработки рациональных тактических действий, в докладе рассматривается условная тактическая ситуация следующего характера:

из укрепленной огневой позиции (УОП) в направлении двух бойцов осуществляется огневое воздействие с использованием крупнокалиберного автоматического оружия (пулемета);

этим бойцам поставлена задача подавить УОП путем приближения к ней и поражения с использованием гранат;

справа от позиции бойцов располагается многоэтажное здание, на верхних уровнях которого вероятно нахождение снайпера (некоторое время назад были слышны одиночные выстрелы);

с фронтальной стороны здания есть полоса достаточно редкой растительности, с тыльной – густая (по всей видимости) лесополоса;

в лесополосе находится несколько бойцов, принадлежность которых не выяснена;

над лесополосой осуществляет полет разведывательный квадрокоптер, информация с оптико-электронного устройства (ОЭУ) которого передается двум бойцам. Разрешение видеоизображение невысокого качества и не позволяет достоверно определить цвет полосы на руке и ноге бойцов в лесополосе;

необходимо выбрать 1-ый или 2-ой маршруты выдвижения к УОП.

Рассмотренное крайне неопределенное описание тактической ситуации можно формализовать с помощью системы нечеткого вывода, который выполнялся с использованием приложения FuzzyLogicDesigner [2,3] в программном продукте MATLABR2022a.

Вид окон формирования системы нечеткого вывода и выходной нечеткой переменной («выбор действий») показан на рисунке 1, входных нечетких переменных («пауза в ведении огня из УОП», «отсутствие огня» (со стороны снайпера), «частота выстрелов по тылу», «отсутствие противника» (в лесополосе), далее соответственно «пауза УОП», «отсутствие снайпера», «частота тыл» и «отсутствие противника») - на рисунке 2.

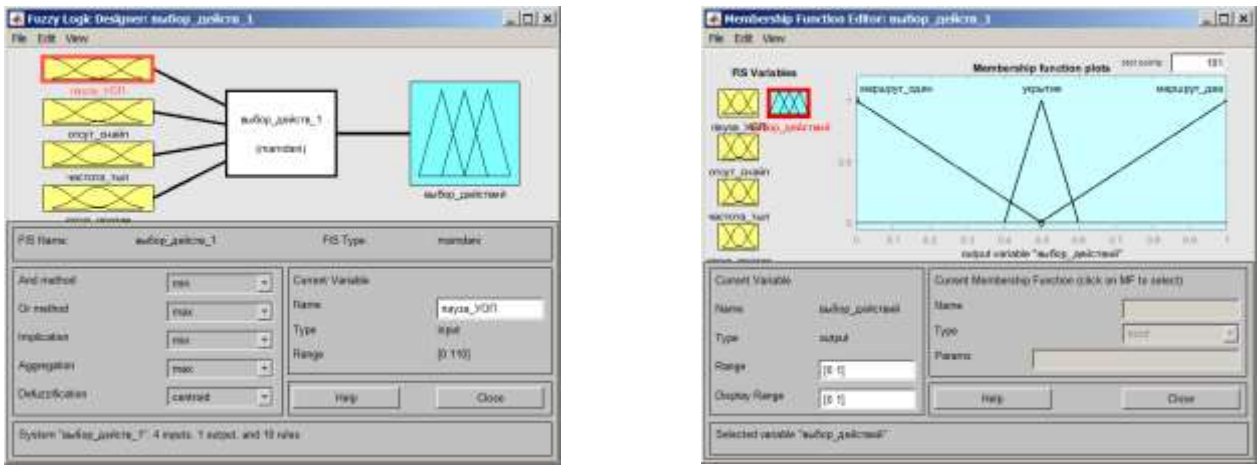


Рисунок 1 – Вид окон формирования системы нечеткого вывода и выходной нечеткой переменной

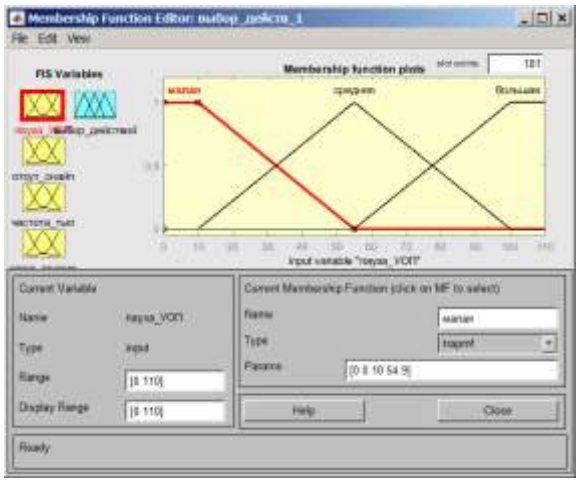
В качестве термов выходной нечеткой переменной выбраны «маршрут один», «маршрут два» и «укрытие» с областями определения соответственно [0;0,5], [0,5;1] и [0,4;0,6].

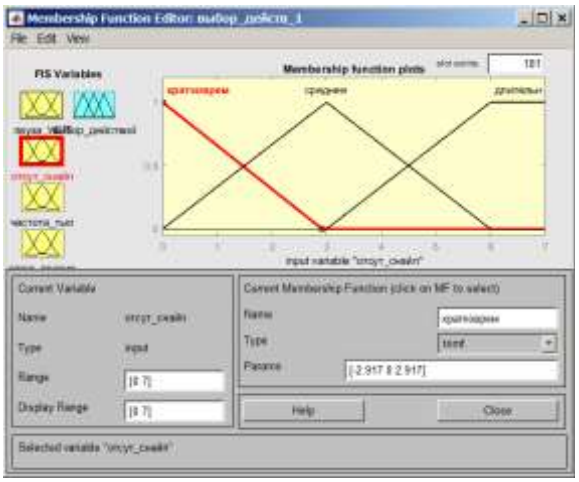
Правила нечеткого вывода формировались двумя способами - так, как приведено в статье [1], и объединением отдельных правил, относящихся к одному из термов выходной нечеткой переменной («маршрут один», «маршрут два» и «укрытие»), с помощью конъюнкции (логического «И») или отрицания (логического «НЕ»), типа:

ЕСЛИ "пауза УОП"="средняя" И "отсутствие снайпера"="длительное"ТО "выбор действий"="маршрут один"

или

ЕСЛИ "пауза УОП"= НЕ "средняя" И "отсутствие снайпера"= НЕ "длительное" И «частота тыл»=НЕ «низкая» И «отсутствие противника»= «неочевидное» ТО "выбор действий"="укрытие".





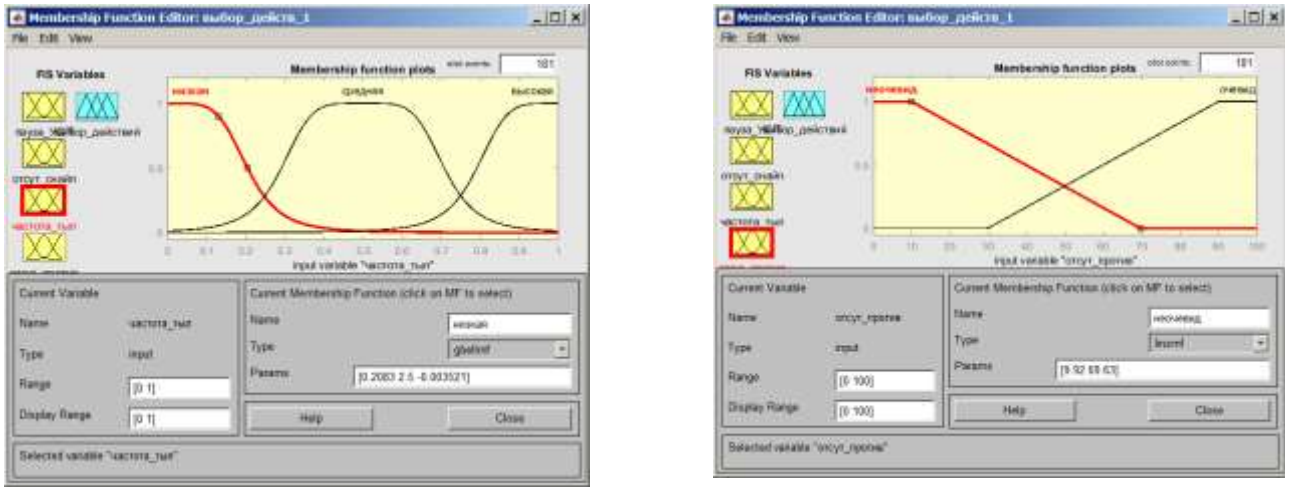


Рисунок 2 – Вид окон формирования входных нечетких переменных

Окна формирования системы правил показаны на рис.3:

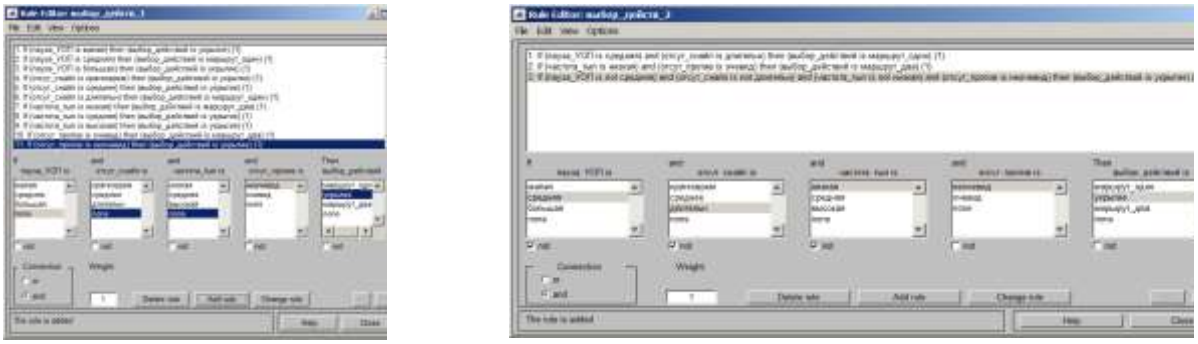
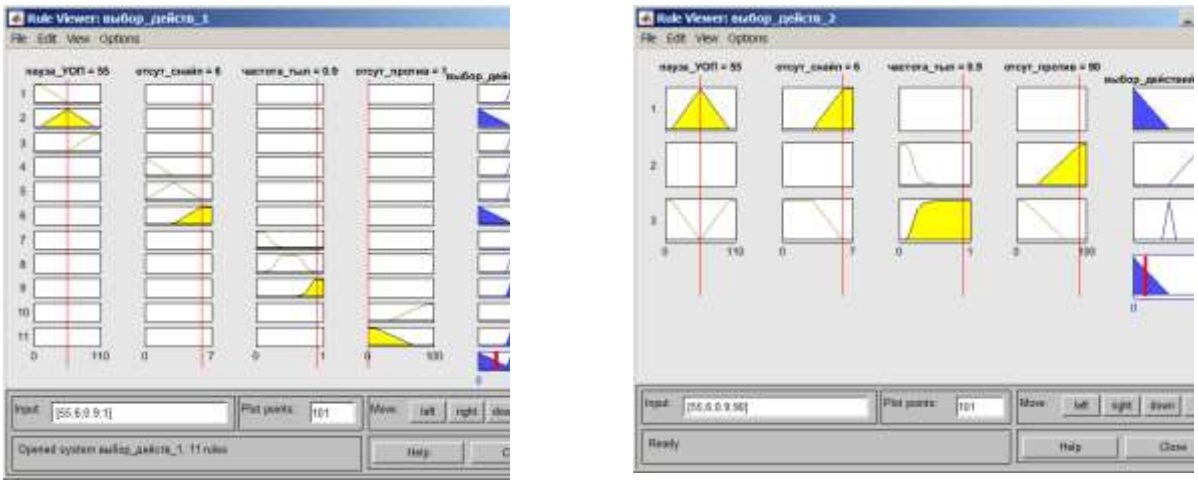
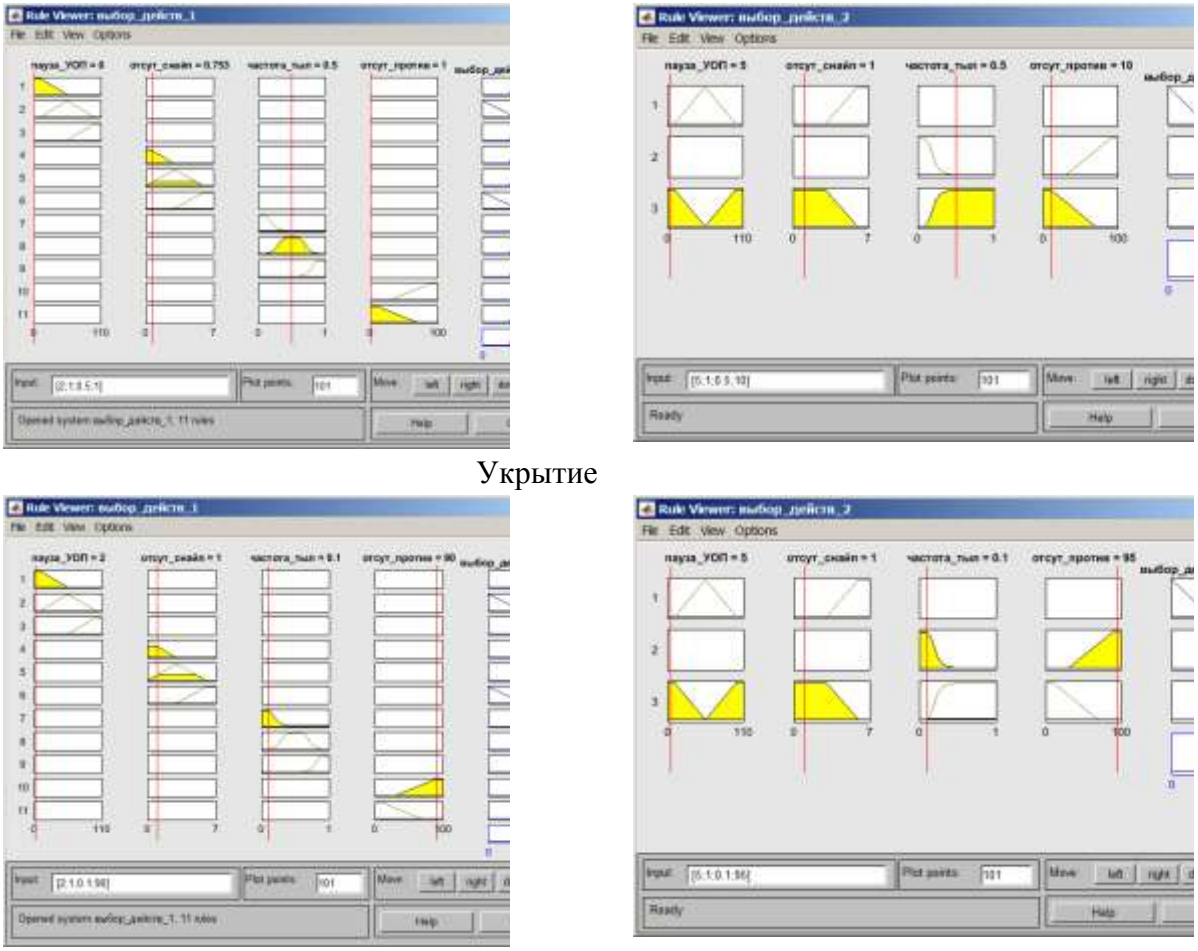


Рисунок 3 -Вид окон формирования системы отдельных (слева) и объединенных (справа) правил

На рисунке 4 показаны окна результатов нечеткого вывода применительно к отдельным и объединенным правилам при одинаковых входных нечетких переменных:



Маршрут один



Укрытие

Маршрут два

Рисунок 4 – Вид окон результатов нечеткого вывода применительно к отдельным (слева) и объединенным (справа) правилам

Значения выходной нечеткой переменной «выбор действий» при конкретных значениях входных нечетких переменных отражены в таблице 1:

Таблица 1 – Значения выходной нечеткой переменной при конкретных значениях входных

Входные нечеткие переменные				Выходная нечеткая переменная
«пауза УОП»	«отсутствие снайпера»	«частота тыл»	«отсутствие противника»	«Выбор действий»
для отдельных правил				
55	6,00	0,9	1	0,254 (маршрут один)
0	0,75	0,5	1	0,514 (укрытие)
2	1,00	0,1	90	0,746 (маршрут два)
для объединенных правил				
55	6,00	0,9	90	0,164 (маршрут один)

5	1,00	0,5	10	0,500 (укрытие)
5	1,00	0,1	95	0,835 (маршрут два)

Примечание: термы переменной «выбор действий» определялись с учетом вышеприведенных областей определения

В используемом программном продукте существует возможность визуализации кривой или поверхности результатов нечёткого вывода. Для кривой выводится зависимость выходной переменной от одной из входных переменных (рисунок 5). При этом значения оставшихся трех переменных фиксируются на определенном уровне.

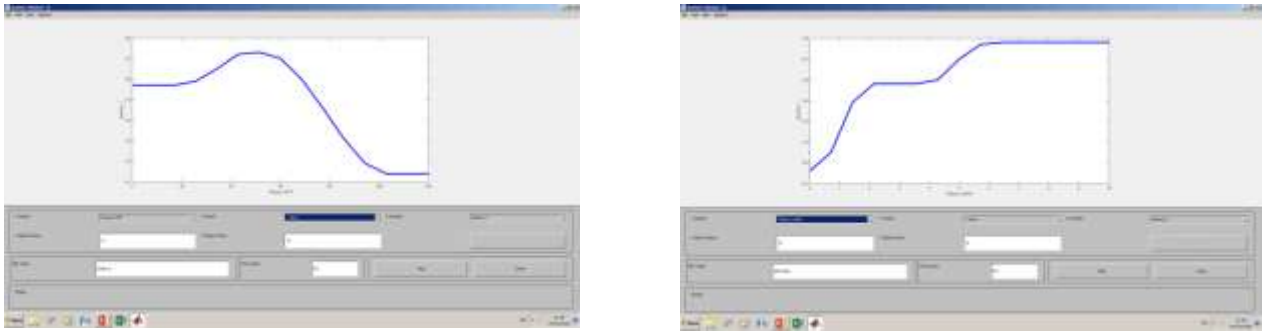
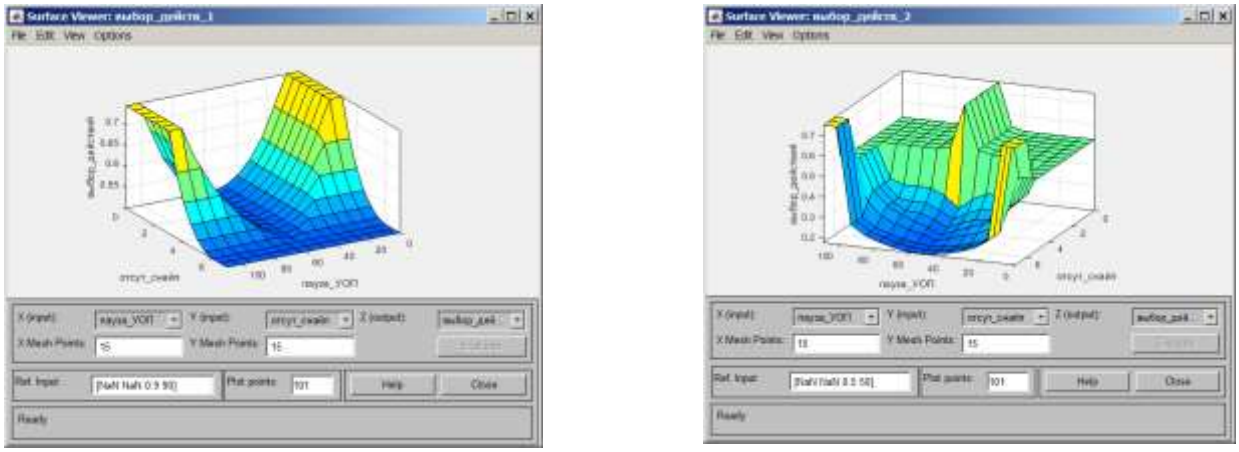


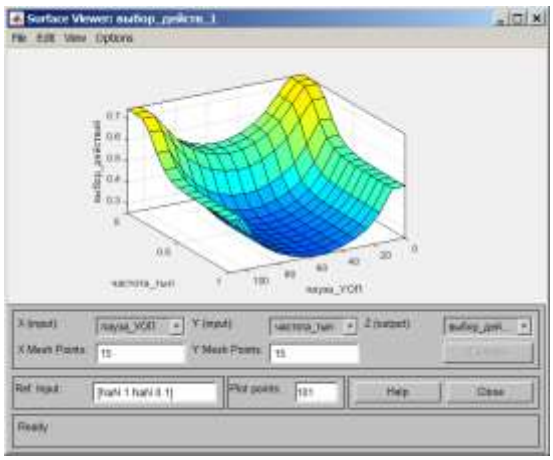
Рисунок 5 – Вид окон визуализации кривой результатов нечёткого вывода (зависимость «маршрут один» от «пауза УОП» (слева) и «отсутствие снайпера» (справа))

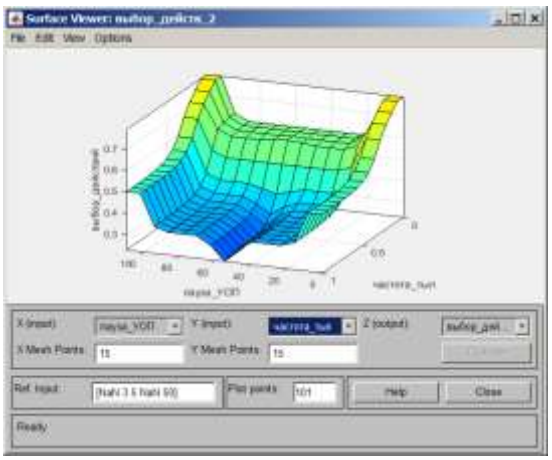
Для поверхности выводится зависимость выходной переменной (по вертикальной оси) от двух входных переменных (по горизонтальным осям) при фиксации оставшихся двух переменных. На рисунках 6 и 7 в левой колонке показаны такие поверхности для отдельных правил, в правой – для объединенных правил.

В связи с тем, что такие составляющие нечеткого вывода, как функции принадлежности и импликации (правила) определялись экспертным путем, высоких требований к точности результатов предъявлять не целесообразно. В случае экспертных систем результатом будут являться данные для сравнения различных вариантов тактических действий и выбора с учетом формализованного опыта военнослужащих, участвовавших в боевых действиях, наиболее рационального варианта с учетом конкретных значений факторов обстановки на поле боя.

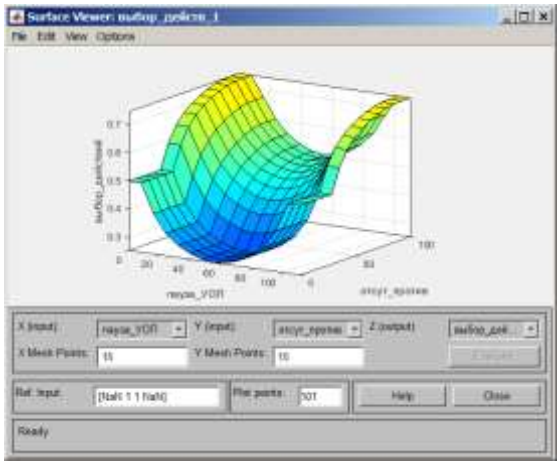


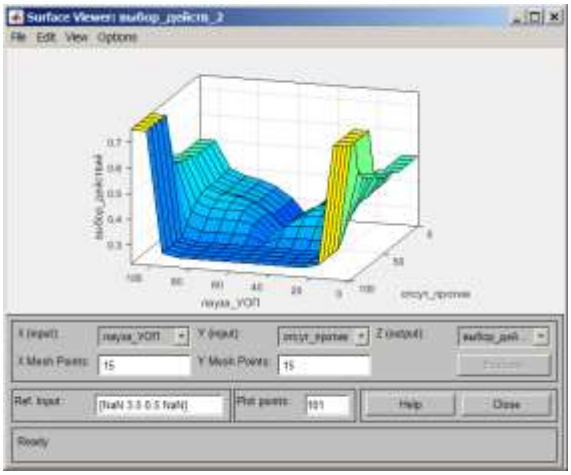
а)





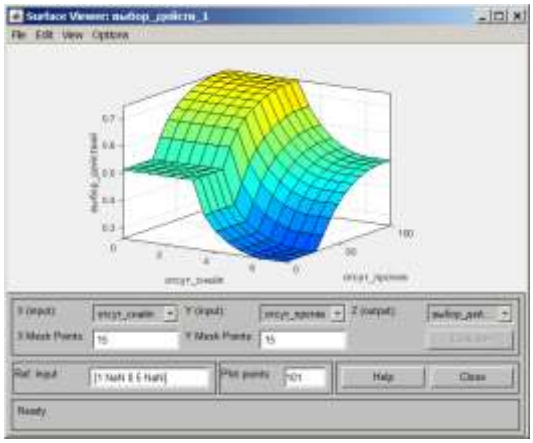
б)

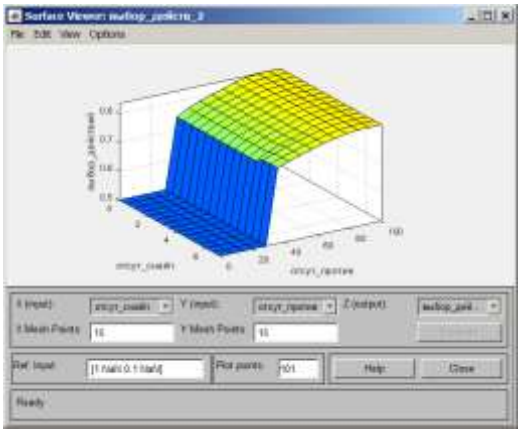




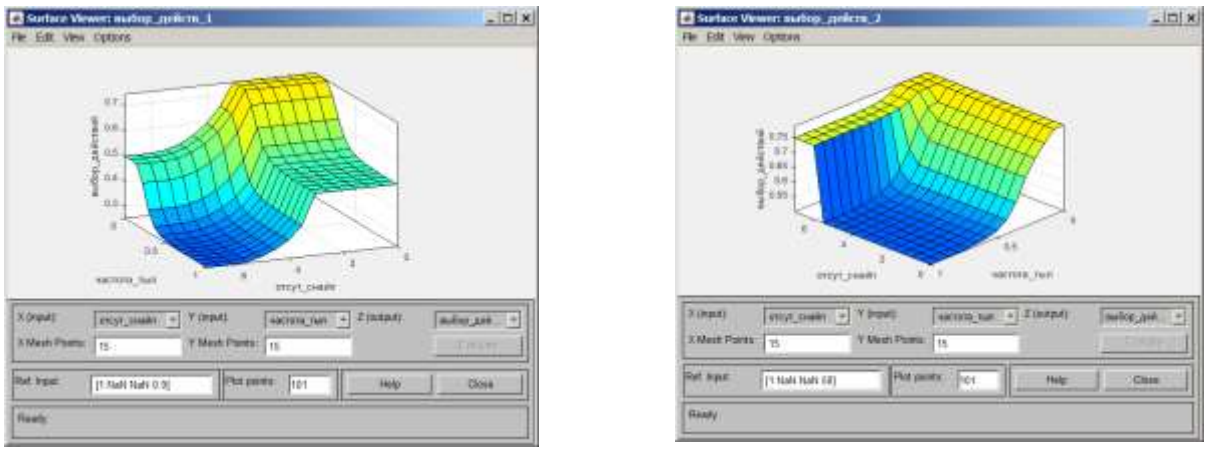
в)

Рисунок 6 – Поверхности, отражающие зависимости «выбор действий» от «пауза УОП - отсутствие снайпера» (а), «пауза УОП - частота тыл» (б) и «пауза УОП - отсутствие противника» (в)

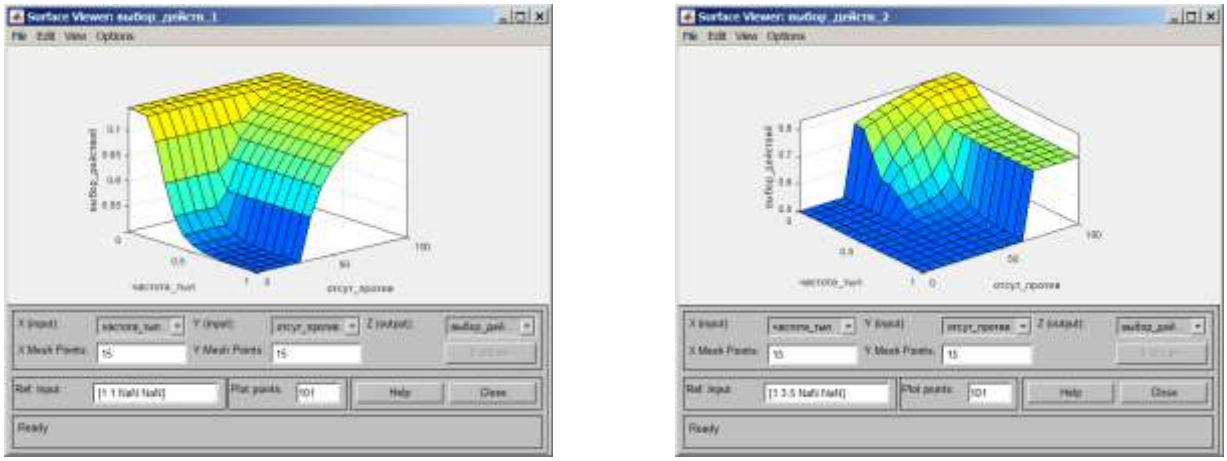




г)



д)



е)

Рисунок 7 – Поверхности, отражающие зависимости «выбор действий» от «отсутствие снайпера - отсутствие противника» (г), «отсутствие снайпера – частота тыл» (д) и «частота тыл - отсутствие противника» (е)

На рисунках 6 и 7 цветами обозначены термы:

темно-синий цвет – маршрут один;

голубой-бирюзовый – укрытие;

салатовый-желтый – маршрут два.

Визуальный анализ рисунков 6 и 7 позволяет сделать предварительный вывод о том, что поверхности для объединенных правил, по всей видимости, более адекватны мнениям специалистов. Но, в то же время, их характеризует «скачкообразность» изменения формы поверхности при незначительных изменениях значений входных переменных. Недостатком является и наличие «седловых» точек, многоэкстремальность поверхности, не всегда поддающаяся разумной интерпретации. Для отдельных правил поверхность более гладкая, монотонная, более плавно «аппроксимирует» мнения экспертов, зачастую не столь категоричных в выводах о рациональных вариантах тактических действий.

В будущем для того, чтобы добиться адекватных результатов вывода необходимо привести в более полное соответствие результатов экспертной системы с мнением бойцов, имеющих значительный опыт ведения боевых действий. Для этого потребуется либо дополнительный их опрос, либо использование искусственных нейронных сетей в рамках

гибридных моделей [4], позволяющих перенастраивать параметры функций принадлежности, веса правил и т.п.

Представленные алгоритмы могут быть положены в основу экспертных систем для выработки рациональных тактических действий по применению разрабатываемых образцов ВВСТ. С использованием нечётких процессоров, которые могут быть связаны с различными источниками информации (датчиками на БПЛА, приборами разведки, радиостанциями, геоинформационными системами, устройствами сканирования мозговой активности военнослужащих и т.п.), поступающая информация беспрерывно перерабатывается и в каждый момент времени выдаются данные, позволяющие выбрать рациональные варианты тактических действий. Применительно к рассматриваемому примеру это могут быть степени пригодности 1-го и 2-го маршрутов, а также вариант, предусматривающий нахождение бойца в исходном укрытии. Изменение этих величин будет происходить во времени с учетом поступающей противоречивой, неопределенной, зачастую качественной информации.

Задание правил применительно к различным тактическим ситуациям необходимо осуществлять с использованием знаний, опыта и интуиции военнослужащих, имеющих опыт участия в боевых действиях на тактическом уровне. Именно эта информация и будет составлять основу соответствующей базы знаний СНВ. При этом очевидно, что вариантов обстановки на поле боя огромное (пожалуй, бессчетное) количество. Поэтому такая база знаний должна регулярно пополняться и составлять банк таких ситуаций, из которого всегда можно выбрать наиболее близкую к реальной. Выбор сходной ситуации возможно осуществлять с использованием искусственных нейронных сетей, которые необходимо обучать на примерах из указанного банка ситуаций. Именно нейронные сети должны позволить автоматизировать этот процесс и «подгружать» более соответствующей реальной обстановке информационный фон, перестраивать параметры СНВ применительно к данной обстановке и предлагать варианты рациональных тактических решений, сформированных с учетом баз знаний экспертов. При необходимости в СНВ могут использоваться и традиционные методы обоснования мероприятий, количественные модели операций, функционирования систем вооружения, расчетные задачи и многое другое, широко использующееся в практике принятия решений.

Построение такой базы знаний должно иметь иерархический характер. Верхние уровни иерархии боевых ситуаций должны составлять те из них, описание которых имеет самый общий характер в связи с неопределенностью информации. По мере поступления разведывательных и иных данных возможен переход на более низкие уровни с детальным описанием возможных ситуаций на поле боя. Представляется, что указанные системы в настоящем и будущем могут быть реализованы различным образом - и на традиционных сегодня «планшетах», и на экранах шлем-масок боевой экипировки и даже с использованием компактных сканирующих устройств в касках военнослужащих, позволяющих сопрягать мыслительные процессы с внешними информационными потоками.

Использование рассмотренных экспертных систем выработки рациональных тактических действий позволит значительно повысить оперативность и обоснованность принятия решений по применению ВВСТ, а значит - увеличить ущерб и потери противника, снизив их для своих сил и средств.

Список литературы

1. Дурнев Р.А., Свиридок Е.В., Маркелов Е.Б. Выработка рациональных тактических действий: методический подход к алгоритмизации. Сборник докладов научно-технической конференции "Научно-технические проблемы развития ракетно-артиллерийского вооружения Воздушно-десантных войск и пути их решения". Москва, 3 ЦНИИ Минобороны России, 2022.

2. Леоненков А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2005.

3. Штовба С.Д. Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия - Телеком, 2007.

4. А. Пегат. Нечеткое моделирование и управление. М., Изд. Бином, 2011.

УДК 621.45.035

Особенности проектирования и расчёта сопловых заглушек, размещенных в докритической части сопел для ракетных двигателей, требующих высокого давления воспламенения заряда

Design and calculation features of high-pressure opening nozzle plugs placed in the subcritical part of nozzles for rocket engines requiring high charge ignition pressure

Богданович А. Б. – начальник отдела, АО «Корпорация «МИТ»
Кузьмин Н. Е. – инженер, АО «Корпорация «МИТ»
Коновалов Д. А. – инженер-конструктор, АО «Корпорация «МИТ»
Красильников Д. В. – инженер, АО «Корпорация «МИТ»

Аннотация: в данной статье представлены результаты пневматических испытаний сопловых заглушек с определением давлений вскрытия при заданном градиенте нарастания давления. Показаны особенности проектирования и расчёта сопловых заглушек, размещенных в докритической части сопел для ракетных двигателей, требующих высокого давления воспламенения заряда.

Annotation: this article presents the results of pneumatic tests of nozzle plugs with the determination of opening pressures at a given pressure gradient. The features of the design and calculation of nozzle plugs placed in the subcritical part of the nozzles for rocket engines requiring high charge ignition pressure are shown.

Ключевые слова: ракетный двигатель, сопловая заглушка, градиент нарастания давления.

Keywords: rocket engine, nozzle plug, pressure rise gradient.

Сопловая заглушка, являясь элементом герметизации корпуса ракетного двигателя, одновременно обеспечивает надежность воспламенения заряда и время выхода двигателя на рабочий режим. Для зажжения заряда необходимо создать очаги горения на поверхности заряда за счет её прогрева газами от воспламенителя. Скорость образования очагов горения зависит от давления в камере сгорания. Уровень давления, необходимый для устойчивого горения заряда, определяется давлением вскрытия герметизирующей заглушки [1].

Заряды современных космических двигателей твердого топлива имеют нижний предел устойчивого горения от 2 до 6 МПа [2]. В настоящее время в твердотопливных ракетных двигателях используются композитные сопла, а привычное размещение сопловой заглушки в закритической части может привести к разрушению сопла. Авторами для обеспечения необходимого давления вскрытия предложена конструкция сопловой заглушки, установленной в докритической части сопла.

Задачи исследований:

- проведение пневматических испытаний заглушек с разной толщиной мембраны по определению давления вскрытия при заданном градиенте нарастания давления;

- исследование особенностей проектирования и расчёта сопловых заглушек высокого давления вскрытия (более 2,5 МПа), размещенных в докритической части сопел для твердотопливных ракетных двигателей, обеспечивающих надежное воспламенение заряда.

Схема расположения сопловой заглушки в тракте ракетного двигателя представлена на рисунке 1.

Заглушка включает в себя:

- опорное кольцо из нержавеющей стали;
- сопловой вкладыш;
- мембрану из твёрдой медной ленты ДПРНТ М1, припаянную к опорному кольцу.

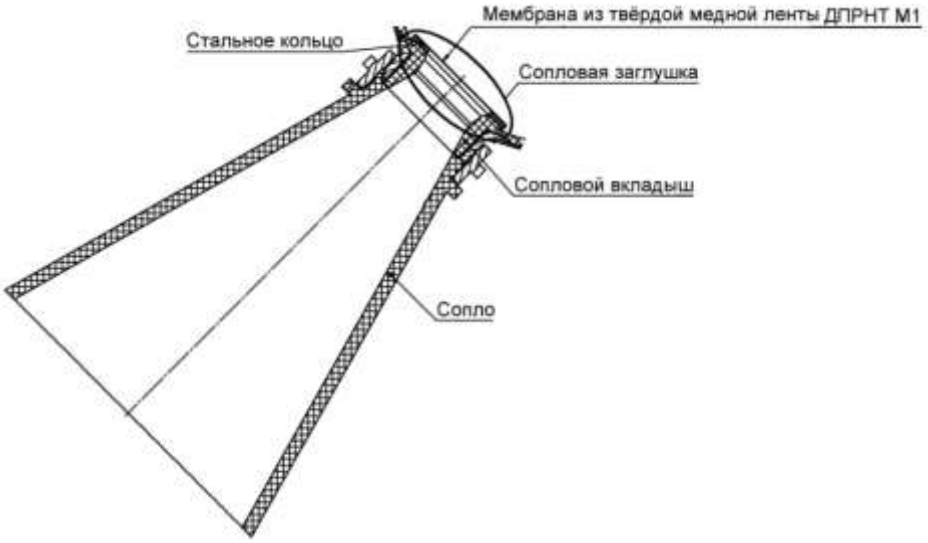


Рисунок 1 – Схема расположения сопловой заглушки в тракте ракетного двигателя

При испытаниях двигателей-аналогов установлено, что давление вскрытия мембран заглушек существенно зависит от градиента нарастания давления перед ними [3].

При отработке заглушек для обеспечения требуемого градиента нарастания давления [4] применялся стенд, в состав которого входят [5]:

- емкость-накопитель, на выходе которой установлен расходный дроссель с постоянным критическим сечением;
- ресивер, имитирующий предсопловой объем ракетного двигателя, на выходе которого установлен объект испытаний - сопло с вскрываемой заглушкой;
- отсечной клапан, установленный перед расходным дросселем;
- манометр для задания давления перед отсечным клапаном и датчик для измерения давления в ресивере.

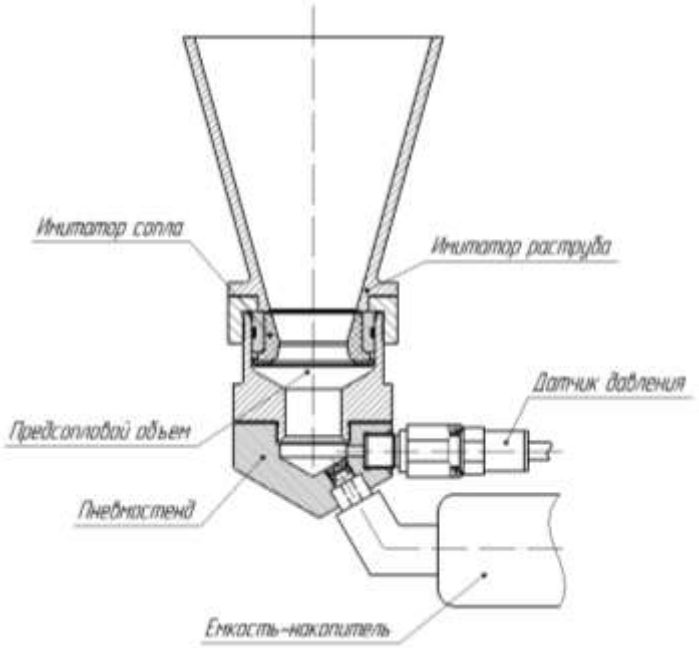


Рисунок 2 – Стенд для пневмоиспытаний

При проведении испытаний давление перед отсечным клапаном составляло 5 МПа для обеспечения гарантированного вскрытия сопловой заглушки, а градиент нарастания давления составлял от 250 до 400 МПа/с. Варьирование градиента проводилось изменением диаметра критического сечения расходного дросселя или изменением давления перед отсечным клапаном.

На пневматическом стенде проведены предварительные пневматические испытания на вскрытие сопловых заглушек с толщиной мембраны 0,2 мм, 0,25 мм, 0,3 мм и 0,4 мм при максимальном расчетном градиенте нарастания давления 380 МПа/с. Результаты предварительных пневматических испытаний представлены в таблица 1.

Таблица 1 – Результаты предварительных пневматических испытаний

№ пп.	Толщина мембраны, мм	Давление перед отсечным клапаном, МПа	Давление вскрытия сопловой заглушки, МПа	Экспериментальный градиент нарастания давления, МПа/с
1	0,25	5,0	3,29	365
2	0,25	3,5	3,23	253
3	0,25	3,5	3,18	217
4	0,2	3,5	2,71	258
5	0,2	3,5	2,66	254
6	0,2	3,5	2,22	243
7	0,3	3,5	3,45	190
8	0,3	3,5	3,26	226
9	0,3	3,5	3,50	221
10	0,4	4,5	4,50	270
11	0,4	5,0	5,47	283
12	0,4	5,4	5,49	299

По результатам предварительных испытаний, исходя из обеспечения давления вскрытия сопловой заглушки при давлении не менее 2,5 МПа, выбрана мембрана толщиной 0,25 мм. Опытное максимальное значение градиента нарастания давления - 365 МПа/с.

Для набора статистики проведены контрольные испытания сопловых заглушек с выбранной толщиной мембраны 0,25 мм в количестве 10 опытов. Результаты контрольных испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты контрольных испытаний

№ пп.	Давление вскрытия сопловой заглушки, МПа	Экспериментальный градиент нарастания давления, МПа/с
1	3,19	239,9
2	3,5	242,5
3	3,36	216,6
4	3,24	225
5	3,3	224,4
6	3,2	235,6
7	3,22	243,3
8	3,29	246,5
9	3,28	239,6
10	3,3	243,4

Давление вскрытия сопловой заглушки составило от 3,2 до 3,5 МПа, что удовлетворяет требуемому условию устойчивого горения заряда.

Из анализа результатов пневмоиспытаний определено, что используемая для изготовления мембран твёрдая медная лента ДПРНТ М1 имеет примерно двухкратный разброс временного сопротивления материала от 300 до 550 МПа [6], что приводит к недопустимому разбросу давления вскрытия [7, 8]. Для выбора необходимой толщины ленты, для каждой партии материала потребуется проведение пробных пневматических испытаний с мембранами разной толщины.

Авторами выявлены особенности проектирования и расчета сопловых заглушек, позволяющие определять давление вскрытия сопловых заглушек по известному временному сопротивлению материала. Для этого проведена статистическая обработка опытных данных.

Для данной выборки значений параметра, определено математическое ожидание [9] и толерантные пределы [10]. В результате получено, что разброс ожидаемого давления вскрытия сопловых заглушек находится в диапазоне давлений от 3,07 до 3,5 МПа.

Для расчета необходимой толщины мембраны при заданном давлении вскрытия сопловых заглушек последовательно определялись:

- Sразр – площадь сечения мембраны, по которой происходит разрушение:

$$S_{\text{разр}} = \pi \cdot D \cdot \delta_{\text{м}}, \tag{1}$$

где D – диаметр мембраны в месте разрушения (на периферии);

δм – фактическая толщина мембраны;

- Sн – площадь мембраны, на которую действует давление газа:

$$S_{н} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (2)$$

- Fразр – сила, требуемая для разрушения мембраны:

$$F_{разр} = \sigma \cdot S, \quad (3)$$

где σ - величина разрушающего напряжения.

В результате преобразований давление разрушения мембран выражается формулой:

$$P_{разр} = \frac{F_{разр}}{S_{н}} = \frac{4 \cdot \sigma_{оп} \cdot \delta_{м}}{D} \quad (4)$$

Фактическая величина разрушающего напряжения $\sigma_{оп}$ может быть определена по результатам разрушающих испытаний [11]:

$$\sigma_{оп} = \frac{P_{разр} \cdot D}{4 \cdot \sigma_{В} \cdot \delta_{м}}, \quad (5)$$

где σв – временное сопротивление материала.

Использование σоп неудобно, так как требует проведения специальных разрушающих испытаний мембран.

Поэтому, путем статистической обработки опытных данных было найдено соотношение между разрушающими напряжениями и временным сопротивлением материала – $K_{соот} = \frac{\sigma_{оп}}{\sigma_{В}}$, которое составило примерно 30%.

В результате давление разрушения мембран выражается формулой:

$$P_{разр} = \frac{4 \cdot K_{соот} \cdot \sigma_{В} \cdot \delta_{м}}{D} \quad (6)$$

Расчетные и опытные (математическое ожидание) давления разрушения мембран приведены в таблице 3. Расхождение результатов не превышает 12 %.

Таблица 3 - Расчетные и опытные давления разрушения мембран

Толщина мембраны,	Фактическое давление	Ожидаемое расчётное давление разрушения, МПа	Расхождение результатов расчёта с
Предварительные испытания			
0,25	3,23	3,19	1,3
0,3	3,35	3,72	11,1
0,2	2,53	2,52	0,1
0,4	5,48	5,18	5,4
Контрольные испытания			
0,25	3,28	3,19	2,8

Для рассматриваемых сопловых заглушек с мембраной из твёрдой медной ленты ДПРНТ М1 с параметрами: номинальное давление вскрытия 3,5 МПа и диаметром в зоне вскрытия (по опорному кольцу) 45 мм - составлена таблица 4 для выбора толщины мембраны в зависимости от величины временного сопротивления материала. В таблице 4 приведен также диапазон ожидаемых давлений разрушения мембран Рразр.расч.

Таблица 4 – Выбор толщины мембран (мм) из твёрдой медной ленты ДПРНТ М1 с номинальным давлением вскрытия 3,5 МПа и диаметром 45 мм в зависимости от величины временного сопротивления материала.

Временное сопротивление материала σв, МПа	Св. 300	До 400	Св. 400	До 500	Св. 500	До 600
Толщина мембраны δм, мм	0,4-0,05		0,3-0,04		0,25-0,04	
Диапазон ожидаемых давлений разрушения мембран с учетом допуска на толщину						
Рразр.расч, МПа	2,8 – 4,3		2,8 – 4,0		2,8 – 4,0	

Выводы:

1. Проведены пневматические испытания заглушек с разной толщиной мембраны по определению давлений вскрытия при заданном градиенте нарастания давления.

2. Исследованы особенности проектирования и расчёта сопловых заглушек высокого давления вскрытия, размещенных в докритической части сопел для твердотопливных ракетных двигателей, обеспечивающих надежное воспламенение заряда.

3. На основе полученных экспериментальных данных предложена зависимость для расчета давления вскрытия заглушки в зависимости от временного сопротивления материала герметизирующей мембраны.

Список литературы

Мухамедов В.С. Твердотопливные двигатели специального назначения / В.С. Мухамедов. – СПб., 2018. – 152 с.

Уимпресс Р.Н. Внутренняя баллистика пороховых ракет / Р.Н. Уимпресс. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1952. – 189 с.

Экспериментальные методы определения параметров двигателей специального назначения / И.М. Гладков, В.С. Мухамедов, Е.Л. Валуев, В.И. Черепов. – М.: НТЦ «Информ-техника», 1993. – 300 с.

Шишков А.А. Газогенераторы ракетных систем / А.А. Шишков, Б.В. Румянцев. – М.: Машиностроение, 1981. – 152 с.

Стенды для наземной отработки РДТТ. Справочник / [Е.Л. Валуев и др.]; Под ред. А.А. Шишкова. – М., Издательство АО «Корпорация «Московский институт теплотехники», 2019 – 373 с.

ГОСТ 1173-2006. Фольга, ленты, листы и плиты медные. Технические условия. – Введ. 2008-01-01. – Изд. официальное. – М.: Стандартинформ, 2007. – 27 с.

Фахрутдинов И.Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: Учебник для машиностроительных вузов / И.Х. Фахрутдинов, А.В. Котельников. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

Шишков А.А. Газодинамика пороховых ракетных двигателей / А.А. Шишков. – М.: Машиностроение, 1974. – 156с.

Ширяев А.Н. Вероятность: В 2-х кн. / А.Н. Ширяев – 4-е изд., переработ. и доп. / М.: Изд-во МЦНМО, 2017. – 552 с.

ГОСТ Р ИСО 16269-6-2005. Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов. – Введ. 2005-06-30. – Изд. официальное. – М.: Стандартинформ, 2005. – 42 с.

Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Р.М. Шнейдерович. – 2-е изд., исправ. и доп. – М.Машиностроение, 1966. – 612 с.

УДК: 621.314

Подход к выбору источника энергии, при проектировании системы электроснабжения малогабаритного летательного аппарата

An approach to choosing an energy source when designing a power supply system for a small-sized aircraft

Новаков А. В. – аспирант кафедры ЭТЭО, Тульский государственный университет

Аннотация: в данной статье предлагается подход к выбору источника энергии, при проектировании системы электроснабжения малогабаритного летательного аппарата с двигателем на твердом топливе. Рассмотрены различные виды нагрузок. В качестве источников питания рассматриваются: синхронный генератор с магнитоэлектрическим возбуждением [1], тепловой химический источник тока (ТХИТ) [2] и ионисторы [3].

Annotation: this article proposes an approach to choosing an energy source when designing a power supply system for a small-sized aircraft with a solid fuel engine. Various types of loads are considered. The following are considered as power sources: a synchronous generator with magnetoelectric excitation [1], a thermal chemical current source (THS) [2], and ionistors [3].

Ключевые слова: система электроснабжения, тепловой химический источник тока, малогабаритный летательный аппарат, ионисторы.

Key words: power supply system, thermal chemical current source, small-sized aircraft, ionistors.

Предлагаемый подход предназначен для выбора источника энергии, при проектировании систем электроснабжения малогабаритных летательных аппаратов с двигателем на твердом топливе, имеющие длительный срок хранения (20 лет и более), с временем приведения в рабочее состояние менее 15 секунд, хранящиеся и эксплуатируемы при температуре окружающей среды от -50, до +50 градусов Цельсия.

В предлагаемых, существующих методиках проектирования и оптимизации систем электроснабжения (СЭС) летательных аппаратов [4-7] учитывается множество различных факторов, влияющих на структуру системы электроснабжения, однако в данных методиках уделяется недостаточное внимание выбору источников электроэнергии.

Основным потребителем электроэнергии на борту летательного аппарата является система коррекции траектории (СКТ) ЛА, которая делится на два основных вида: 1) постоянная составляющая, обусловленная работой систем навигации, пространственной ориентации и вычислительной электроникой; 2) переменная составляющая, которая зависит от траектории полета, типа приводов аэродинамических поверхностей управления, а так же от закона управления.

Для составления типовых графиков нагрузки «формирования системы коррекции траектории полёта» проанализированы различные сочетания источников энергии с траекториями полёта и электро приводами рулей, которые представлены на рисунке 1.

Рисунок 1 – Исходные данные для формирований различных вариантов нагрузки СКТ

В колонке энергопотребление объекта есть два столбца, в первом классификация траекторий полёта, во втором типы электромагнитных приводов рулей [8-10], для анализа энергопотребления составим типовые графики нагрузки, которую бы создавало каждое из сочетаний. Типовые графики нагрузки, создаваемые различными вариантами компоновки СКТ, представлены на рисунке 2.

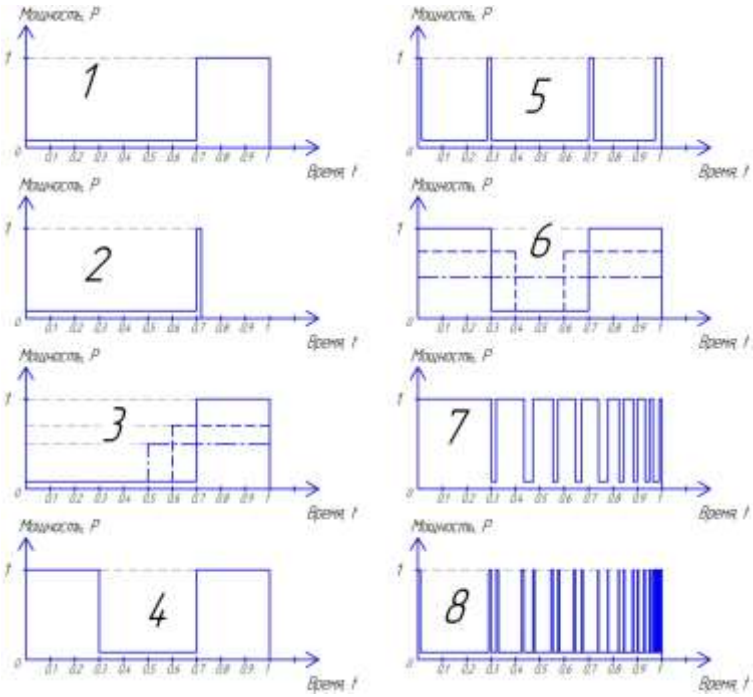


Рисунок 2 – Типовые графики нагрузки, при различных вариантах компоновки СКТ

На рисунке 2 представлены следующие типовые графики нагрузки: 1 график - корректировка на конечном участке траектории, в сочетании с привод без фиксации в

заданном положении; 2 график – корректировка на конечном участке траектории, в сочетании с приводом, имеющим фиксацию в заданном положении; 3 график - коррекция на конечном участке, в сочетании с приводом, с пропорциональным отклонением; 4 график - корректировка на начальном и конечном участке траектории, в сочетании с привод без фиксации в заданном положении; 5 график – корректировка на начальном и конечном участке траектории, в сочетании с приводом, имеющим фиксацию в заданном положении; 6 график - коррекция на начальном и конечном участке, в сочетании с приводом с пропорциональным отклонением; 7 график – коррекция в течении всего времени полёта, при управлении работающим в скользящем режиме, в сочетании с приводом без фиксации; 8 график - коррекция в течении всего времени полёта, при управлении работающим в скользящем режиме, в сочетании с приводом, имеющим фиксацию в заданном положении.

В результате анализа, получилось восемь типовых графиков нагрузки.

Оценка приоритета применения источников энергии производится по следующим критериям:

1. По времени работы
2. По количеству запасённой энергии.
3. По максимально допустимой мощности.

При времени полёта ЛА меньше, или равному времени работы ТХИТ приоритет падет именно на ТХИТ, так как они быстро приводятся в готовность, обеспечивают необходимой мощностью все потребители. В таком случае данный источник энергии подойдёт для всех типовых графиков нагрузки. При этом ТХИТ не требует мощный импульс тока для заряда, который необходим ионисторам и не оказывают влияние на траекторию движения и скорость полёта, как в случае с генератором, преобразующим энергию встречного воздушного потока в электрическую. Важнейшим ограничением для ТХИТ является время работы. При этом подразумевается, что мощность, которую может отдать ТХИТ заведомо больше возможной потребляемой мощности.

При времени полёта больше времени работы ТХИТ и интенсивных нагрузках, как на пример на графиках 3,4,6,7,8 (рисунок 2). Рекомендуется использовать энергию набегающего потока воздуха и преобразовывать её в электрическую по средствам генератора. В таком случае преобразуя энергию движения, можно получить падение скорости, и изменение траектории движения, которое следует оценить. При этом в конструкцию ЛА требуется внести изменения, что крайне нежелательно, при модернизации серийно выпускаемых изделий.

Для графиков нагрузки 2 и 6 требуется небольшой запас энергии, в виду данного факта целесообразно применять батарею ионисторов. В виду того, что перед запуском ионисторы необходимо заряжать большими токами, то это может повлечь за собой изменения в конструкции пусковой установки. Так же для поддержания выходного напряжения такого источника, на заданной величине, необходим преобразователь напряжения.

Рассмотрим случай, когда запаса энергии ТХИТ хватает для обеспечения энергии полёта, но время полёта превышает время работы ТХИТ. В таком случае предлагается совместное использование ТХИТ и ионисторов. Предлагается построение данной системы, по блок - схеме, представленной на рисунке 3.

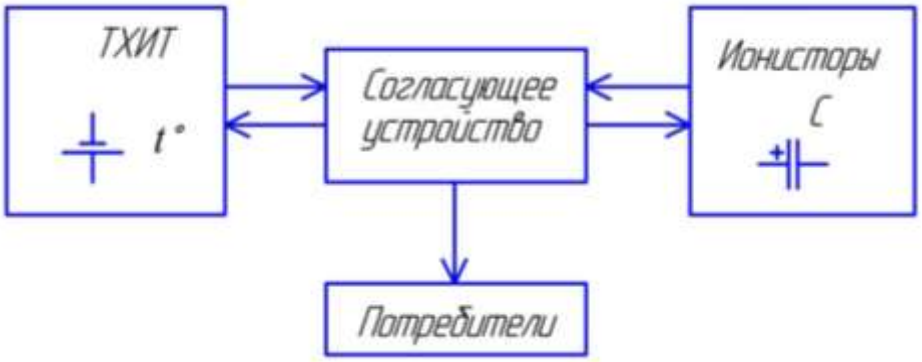


Рисунок 3 – Предлагаемая структура системы электроснабжения

При формировании системы электроснабжения согласно блок схемы, представленной на рисунке 3, следует учитывать, что рациональное применение такой системы целесообразно, только в случае, когда энергия запасаемая ионисторами не превышает энергию ТХИТ на 10%, в противном случае целесообразно будет применять два и более ТХИТ. Так же стоит отметить, что при использовании данной системы соотношение энергии потребляемой ионисторами для зарядки, к энергии отдаваемой во внешнюю цепь 1,45 и более.

Список литературы

1. Зечихин Б. С., Журавлев С. В., Мисютин Р. Ю. Авиационные генераторы с постоянными магнитами //Электричество. – 2018. – №. 6. – С. 49-59.

2. Архипенко В. А. и др. ТЕПЛОВОЙ ХИМИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК ТОКА. – 2020.

3. Кузнецов В., Панькина О. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство //Компоненты и технологии. – 2005. – №. 50. – С. 12-16.

4. Яковлева И. В., Максутова Д. А., Халиуллина А. Р. К оптимизации системы электроснабжения летательного аппарата //Актуальные проблемы науки в студенческих исследованиях. – 2018. – С. 139-150.

5. Потёмкин А. В., Горшков П. С., Халютин С. П. Методика синтеза структурных схем системы электроснабжения воздушных судов //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2013. – Т. 1. – С. 318-321.

6. Халютин С. П., Жмуров Б. В., Матюшина А. В. Особенности выбора структуры системы электроснабжения летательного аппарата по циклограмме потребления мощности //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2012. – Т. 1. – С. 493-494.

7. Жмуров Б. В. Процесс проектирования систем электроснабжения воздушных судов как объект автоматизации //Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 21. – №. 1.

8. Овчелупов Н. В. и др. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ БЛОК РУЛЕВОГО ПРИВОДА УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ. – 2006.

9. Заец В. Ф. и др. Электромеханический рулевой привод. – 2015.

10. Заец В. Ф. и др. Исполнительный механизм системы управления. – 2016.

УДК 532.51

Исследование процесса функционирования оребренных кумулятивных облицовок во вращающихся кумулятивных зарядах

Analysis of the fluted liners' performance in rotating shaped charges

Бабаева Г. С. – инженер-конструктор 1 категории, АО «НПО «Прибор» имени С.С. Голембиовского»

Рассоха С. С. –доцент кафедры «Высокоточные летательные аппараты», МГТУ им. Н.Э. Баумана

Аннотация: Изложены результаты численного моделирования методом сглаженных частиц (SPH) процесса образования кумулятивной струи (КС) из гладкой или оребренной облицовки при наличии или в отсутствии начального вращения. Вычислено распределение угловой скорости вдоль КС. Показано, что использование внешнего оребрения кумулятивных облицовок позволяет снизить угловую скорость КС в сформировавшемся состоянии.

Annotation: the results of numerical simulation by SPH method of a shaped charge jet formation from a smooth or fluted liner with or without initial rotation are presented. The distribution of the angular velocity along the shaped charge jet is calculated. It is shown that the use of fluted liners makes it possible to reduce jet angular velocity in the formed state.

Ключевые слова: вращение, кумулятивная струя, оребренная облицовка, метод сглаженных частиц, кумулятивный заряд, численное моделирование, спин-компенсация.

Keywords: rotation, shaped charge jet, fluted liner, smoothed particles method, shaped charge, numerical simulation, spin-compensation.

Вращение используется для стабилизации траекторного движения боеприпасов без аэродинамического оперения, в том числе кумулятивных. Такое вращение отрицательно сказывается на глубине отверстия, формируемого кумулятивной струей (КС) при ее проникании в преграду [1–2].

На рисунке 1 показаны зависимости относительной глубины пробития КС преграды от угловой скорости вращения кумулятивного заряда (КЗ) [2].

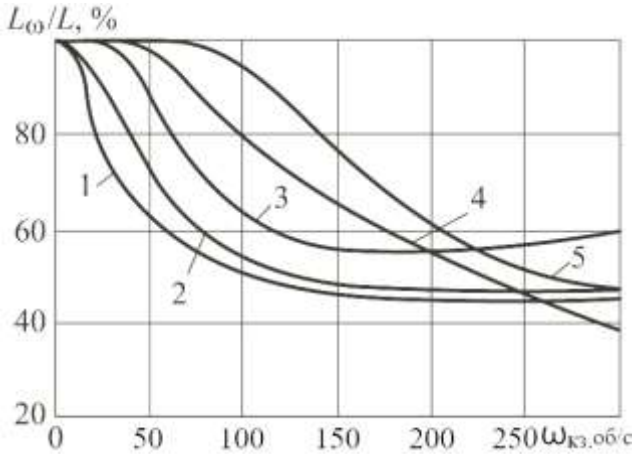


Рисунок 1 – Зависимость относительной глубины пробития КЗ от угловой скорости его вращения для различных материалов КО: 1 – алюминиевый сплав В-95; 2 – дюралюминий Д16; 3 – алюминий А2; 4 – сталь Х3НМ; 5 – высокопластичная сталь П-11

Одним из возможных способов противодействия снижению глубины каверны из-за начального вращения КЗ является применение так называемых оребренных облицовок [3-6]. Суть их использования сводится к тому, что из такой кумулятивной облицовки (КО) формируется вращающаяся КС. При условии противоположной направленности начального вращения КЗ и приобретенного струей вращения произойдет их взаимная компенсация или так называемая спин-компенсация, что приведет к росту глубины отверстия. Однако необходимо учитывать, что угловая скорость изменяется вдоль струи, поскольку различные участки струи формируются из элементов облицовки с различным расстоянием до оси симметрии заряда. Из-за этого полная компенсация начального вращения представляется затруднительной.

Кроме того, наличие технологических погрешностей размеров облицовки приводит к ее боковому смещению («скорость дрейфа») [7], что дополнительно усложняет анализ процесса. Последний фактор в рамках настоящей статьи не учитывается и принимается, что все детали изготовлены с абсолютной точностью.

Для оценки возможности использования оребренных КО анализ функционирования такого рода КЗ проводился с помощью численного моделирования методом сглаженных частиц (SPH) в программном комплексе ANSYS LS-DYNA [8].

На рисунке 2 приведены геометрические модели облицовок, использовавшихся в расчете. Моделировалось функционирование традиционной гладкой облицовки (рисунке 2а) и оребренной облицовки с нанесением оребрения только на наружную боковую поверхность (рисунке 2б).

а) б)

Рисунок 2 – Геометрия облицовок: а) гладкая (традиционная), б) одностороннее оребрение (внешнее)

Количество ребер в облицовке на рис. 2б n = 10, высота боковой поверхности ребра a = 0,18δ, где δ – толщина стенки облицовки. При движении вдоль образующей КО от ее основания к вершине высота ребра линейно уменьшается от максимального значения в ее основании до нулевого в вершине. Обозначение размеров соответствует отчету [3].

SPH модель рассчитываемого заряда показана на рис. 3. Длина заряда составляет 1,6dкз, высота облицовки 0,6dкз, ее толщина 0,04dкз, угол при вершине 60º, где dкз – диаметр кумулятивного заряда. Для моделирования материалов корпуса КЗ (сталь) и облицовки (медь) использовалась модель упругопластического материала (*MAT_PLASTIC_KINEMATIC) с параметрами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры упругопластической модели

Материал	Плотность $\rho, кг/м^3$	Модуль Юнга $E, ГПа$	Предел текучести $\sigma_T, МПа$	Коэффициент Пуассона ν
Сталь	7800	200	500	0,33
Медь	8900	120	100	0,33

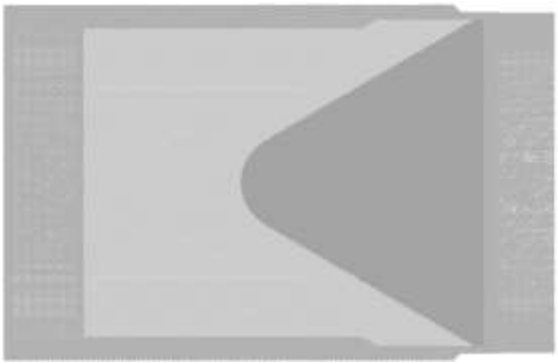


Рисунок 3 – Модель кумулятивного заряда

Взрывчатое вещество (ВВ) рассчитывалось с помощью модели *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN и уравнения состояния в форме JWL (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры уравнения состояния JWL

ВВ	Плотность ρ_0,кг/м3	Скорость детонации D,км/с	Коэффициенты уравнения состояния JWL					
			p_H, ГПа	A, ГПа	B, ГПа	R_1	R_2	ω
Октоген	1891	9,10	42	778,3	7,07	4,2	1,0	0,30

Детонация заряда ВВ инициировалась из точки на оси симметрии заряда на границе корпуса и ВВ в начальный момент времени расчета. Расстояние между SPH элементами в области облицовки составляло 0,2 мм.

В качестве базового варианта моделировалось функционирование не вращающегося КЗ с гладкой облицовкой. На рисунке 4 приведен внешний вид образующейся КС через 50 мкс после инициирования детонации. На рисунке 5 приведены распределения осевой и угловой скоростей по длине КС для каждого SPH элемента.

Рисунок 4 – Внешний вид КС через 50 мкс после инициирования детонации

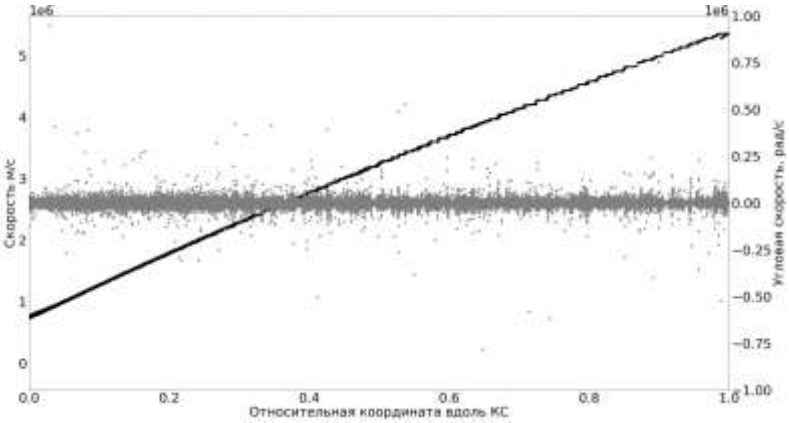


Рисунок 5 – Распределения осевой (черные точки) и угловой (серые точки) скоростей по длине КС

Из рисунка 5 следует, что осевая скорость возрастает вдоль КС линейным образом от 700 м/с у ее основания до 5500 м/с в головной части. Угловая скорость по причине отсутствия начального вращения КЗ по всей длине струи равна 0 рад/с. Разброс значений угловой скорости на рисунке 5 относительно нулевого значения объясняется особенностями метода SPH [8]. Полученные результаты хорошо согласуются с вычислениями по инженерным методикам [1] и с данными численных расчетов, проведенных в других программных комплексах, что свидетельствует о корректности выбранного подхода.

Эффект от использования оребренных облицовок может быть оценен по распределению угловой скорости вдоль струи. В случае идеальной спин-компенсации зависимость угловой скорости от координаты вдоль струи должна быть нулевой и напоминать приведенную на рисунке 5.

Для оценки вращения КС, которое должна компенсировать оребренная КО, на основе результатов численного моделирования определялись зависимости относительной угловой скорости от положения вдоль КС (рисунок 6). Относительная угловая скорость определялась как отношение угловых скоростей SPH частиц к начальной угловой скорости КЗ. По массиву полученных величин строились полиномиальные аппроксимационные зависимости, приведенные на рисунке 6.

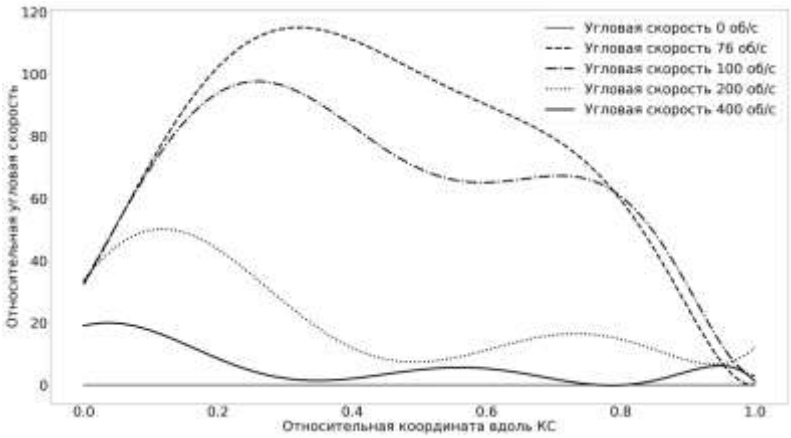


Рисунок 6 – Распределения относительной угловой скорости вдоль КС для различного начального вращения КЗ (0 об/с; 76 об/с; 100 об/с; 200 об/с; 400 об/с) с гладкими КО через 50 мкс после инициирования детонации

Из рисунка 6 следует, с увеличением вращения КЗ угловая скорость КС возрастает до определенного значения, при котором начинается процесс ее разрушения. Этот процесс начинается не в точке, соответствующей максимальной угловой скорости КС, а, приблизительно в ее середине (относительная координата 0,5). Это следует из того, что для вращения КЗ со скоростью 100 об/с в середине струи наблюдается локальное снижение угловой скорости, которое связано с образованием центрального канала. Дальнейшее увеличение угловой скорости КЗ приводит к интенсивному центробежному разрушению, которое сопровождается радиальным расширением струи и уменьшением ее вращения.

Степень влияния оребренных КО может быть оценена по результирующей угловой скорости, которую приобретает струя. На рисунке 7 приведены вычисленные значения относительной угловой скорости для облицовок с внешним оребрением при отсутствии начального вращения и разнонаправленном вращении с угловой скоростью 76 об/с.

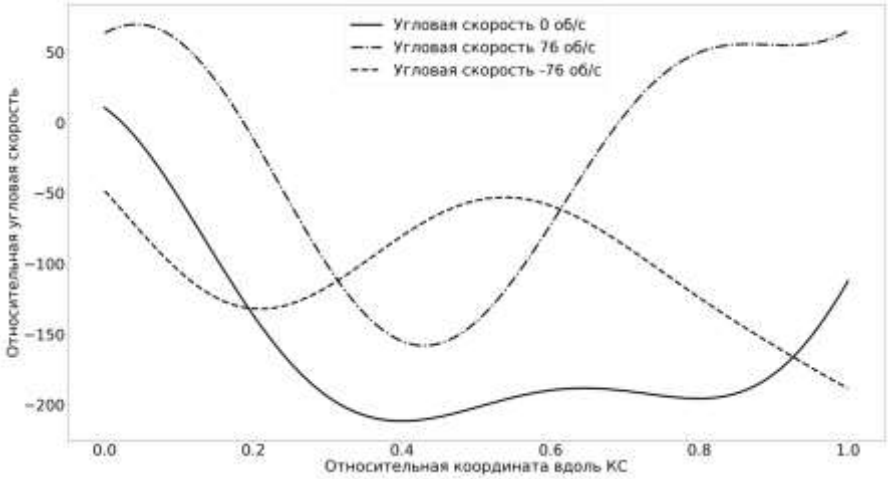


Рисунок 7 – Распределение относительной угловой скорости вдоль КС для оребренной облицовки с начальным вращением КЗ ±76 об/с и без начального вращения через 50 мкс после инициирования детонации

Из рисунка 7 следует, что использование оребренных облицовок для заряда с угловой скоростью 76 об/с приводит к разнонаправленному эффекту: в головной и хвостовой частях КС угловая скорость возрастает, а в средней части - уменьшается вплоть до изменения знака на противоположный. Это свидетельствует о том, что оребренная КО с выбранными размерами сечения в целом компенсирует заданное начальное вращение КЗ (76 об/с), но делает это избыточным образом. Среднее значение относительной угловой скорости КС на рисунке 7: -24 для +76 об/с; -104 для -76 об/с и -160 для 0 об/с. Отсюда следует, что для заданного вращения КЗ необходимо применение КО с другими размерами ребер.

В качестве варьируемого параметра, который позволит подобрать размеры оребренной КО под заданную угловую скорость КЗ, может выступать высота оребрения а и ее распределение вдоль образующей КО. Показано [6], что угловая скорость КС линейно зависит

от а. Следовательно, для КЗ вращающегося с угловой скоростью 76 об/с величину а необходимо уменьшить в среднем в 2 раза по всей КО.

Таким образом, оценены распределения угловых скоростей струи из гладких КО для различных начальных угловых скоростей вращения зарядов. Для оребренных облицовок с наружным оребрением построены аналогичные распределения угловой скорости КС. Показано, что использование оребренных облицовок позволяет снизить среднюю угловую скорость вращения КС. Тем самым продемонстрирован положительный эффект от использования таких КО для борьбы с негативным влиянием вращения КЗ на кумулятивное действие.

Список литературы

1. Физика взрыва: учебное пособие / С.Г. Андреев, А.В. Бабкин, Ф.А. Баум [и др.]; под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, перераб. В 2 т. Т. 2. М.: Физматлит, 2004. Текст: непосредственный.

2. W.P.Walters, J.A.Zukas Fundamentals of Shaped charges. N.Y.: John Wiley and Sons, 1989.

3. R.J. Eichelberger Spin compensation // Critical Review of Shaped Charge Information. Ballistic Research Laboratories Report № 905/ Edited by L. Zernov. Maryland: Aberdeen Proving Ground, 1959.

4. X. Wang et al. Mechanical parameters of the overwhelm process of fluted liner for 30 mm rifled gun based on SPH method // Explosion And Shock Waves, 2019, 39(1): 012201

5. C.A. Weickert Spinning Self-Forging Fragments and Shaped Charges. PhD Thesis, Drexel University, 1986

6. Рассоха С.С. Анализ вращательного движения кумулятивных струй, образованных из рифленых облицовок / С.С. Рассоха С.В. Ладов, А.В. Бабкин. – Текст: непосредственный // Сб.: XIX Харитоновские тематические научные чтения "Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны". Саров, 2018. С. 120-124.

7. O. Ayisit The influence of asymmetries in shaped charge performance // International Journal of Impact Engineering, 35 (2008).P. 1399–1404

8. LS-DYNA Theory Manual. 2019. Livermore Software Technology Corporation.

ИССЛЕДОВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРИБОРОВ И УСТАНОВОК, ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

УДК 681.5.08

Новые двухэлектродные струнные волнографы в маломасштабном исследовании волны прорыва

New two-electrode string wave recorders for smallscale sdudying the parameters of a wave break

Колпаков Д. А. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Рожков А. П. – младший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Цыбуля М. С. – научный сотрудник,12 ЦНИИ МО РФ;
Карпенко А. В. – ведущий научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Коломиец Ю. И. – научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ

Аннотация: проведен анализ средств измерений волновых колебаний водной поверхности, предложен новый тип струнного двухэлектродного волнографа. Описана схема проведения опыта с использованием предложенного волнографа. Приведены эпюры уровней воды в сечениях гидролотка, полученные с использованием струнного двухэлектродного волнографа.

Annotation: an analysis of measuring instruments for wave oscillations of the water surface carried out, a proposal was made for a new type of wave recorder. The scheme of the experiment using the proposed wave recorder is described. Plots of water levels in the sections of the hydroflume obtained using a wave recorder are given.

Ключевые слова: волна прорыва, двухэлектродный струнный лабораторный волнограф, экспериментальные данные, верификация результатов расчётов.

Keywords: wave break, two-electrode string laboratory wave recorder, experimental data, results calculation verification.

Плотины многих гидроузлов представляют собой крупные стационарные гидротехнические сооружения, при разрушении которых, потенциальная энергия воды в водохранилище высвобождается в виде волны прорыва и приводит к затоплению местности, разрушению зданий, транспортных коммуникаций и линий связи.

Существующие методики дают возможность рассчитывать параметры волны прорыва в случае разрушения отдельно стоящего гидроузла. Расчёт параметров волны прорыва в каскаде гидроузлов требует разработки критериев разрушения плотин волной прорыва, образовавшейся при разрушении напорного фронта вышерасположенного гидроузла. Для получения экспериментальных данных разрабатываемых критериев на территории НИЦ БТС были проведены исследовательские испытания, в ходе которых была создана экспериментальная установка, состоящая из резервуара гидролотка и подвижной перегородки – гидрозатвора.

Для проведения испытаний требовалась разработка средств измерения уровней воды в сечениях гидролотка в процессе её излива через проран (разрушенная часть плотины).

Изготовленная экспериментальная модель гидролотка, имеющего геометрические характеристики: длина – 6,05 м, ширина – 0,5 м, высота – 0,4 м, ограничивала возможности по применению волноизмерительной аппаратуры, так как размеры отдельных первичных преобразователей могли вносить погрешности в измерение параметров волны прорыва. Вода, соприкасаясь с такими датчиками, отклоняется от них, и искривляются ее линии тока. Поэтому необходимо было выбрать такие размеры первичных преобразователей, чтобы они не изменяли линии тока воды во фрагменте модели каскада плотин, а точность определения высоты волн прорыва была не хуже ±0,005м.

Для поиска оптимального решения по выбору средств измерений был осуществлен поиск и анализ отдельных авторских свидетельств и патентов на изобретения, а также аппаратуры изготовленной в заводских условиях [1 – 11].

В 50-х и 60-х годах прошлого века был запатентован ряд изобретений, позволяющих измерить и зарегистрировать волновые колебания водной поверхности. Так, например, в изобретении «Устройство для измерения и регистрации высоты и среднего периода волн» (Патент US № 120342) применяют устройства с волномерной вехой. На вехе укреплены электроды, расположенные по вертикали на заданном расстоянии один от другого, соединенные между собой резисторами и подключаемые к источнику постоянного тока через быстродействующий самописец с поперечной штриховой записью. Резисторы на электродах установлены на определенном расстоянии друг от друга. При таком расположении резисторов запись сигналов будет иметь ступенчатую форму [1].

В настоящее время для измерения параметров волн прорыва используются емкостные волнографы. Они представляют собой изолированный, токопроводящий стержень с загерметизированным нижним концом, помещенным в воду. Система вода - диэлектрик-проводник образует своеобразный конденсатор, емкость которого меняется в зависимости от прохождения профиля волны, то есть зависит от площади обкладок и прямо пропорциональна профилю волны. Применение емкостных волнографов данного типа позволяет уменьшить погрешность измерения параметров волн прорыва, однако сложность изготовления и отсутствие отдельных типов измерительной аппаратуры заставили отказаться от применения этих волнографов [11].

Одним из примеров, использования стандартных средств измерений параметров волн является волнограф прибрежный ГМ-61, разработанный в 1977 году и предназначенный для измерения высот волн в диапазоне 0,05-10 м. Прибор состоит из проволочного датчика кабельной связи, генератора звуковой частоты для питания датчика, измерительной схемы и аналогового регистратора с возможностью вывода на ЭВМ. Основная погрешность прибора по амплитуде волновых колебаний не превышает ±(0,05+0,01h) м, где h – амплитуда волновых колебаний [9]. Технические характеристики данного устройства не позволяют производить измерения волновых процессов при амплитуде волны меньше 0,05 м и периоду колебания волн менее 0,4с.

При подготовке к исследовательским испытаниям проверялась возможность использования поплавковых уровнемеров. Они работают по принципу перемещения поплавка по скользящей трубе при выталкивании его к верху жидкостью [11]. Основным недостатком в этих уровнемерах является то, что герконы (магнитные контакты), размещены внутри трубы на расстоянии геометрических размеров герконов и погрешность определения высот гребня

волн определяется расстоянием между ними. При высоте уровня воды 1…2 см измерения поплавковыми уровнемерами произвести невозможно.

В результате изучения и анализа волноизмерительной аппаратуры было принято решение для проведения исследовательских работ изготовить двухэлектродный струнный волнограф, который не нарушал бы линии тока воды своими размерами и с высокой точностью определял бы высоту уровня воды.

Данный двухэлектродный струнный лабораторный волнограф представляет собой конструкцию, в которой на диэлектрическом основании закреплены два струнных электрода, расстояние между которыми линейно уменьшается по высоте (рисунок 1). Волнограф помещался вертикально в воду. По мере подъёма водной поверхности под водой оказывались всё большие части обоих струнных электродов. В результате площади боковых поверхностей струнных электродов, находящихся в воде, увеличивались, а расстояние между электродами в местах их погружения в воду уменьшались. Поскольку вода является слабым электролитом, то по мере увеличения уровня воды увеличивался электрический ток, протекающий между этими электродами. В виду линейной зависимости величины электрического тока от расстояния между электродами, от площади боковых поверхностей электродов, погружённых в воду, от напряжения питания представляемое измерительное устройство обладало линейной переходной характеристикой.

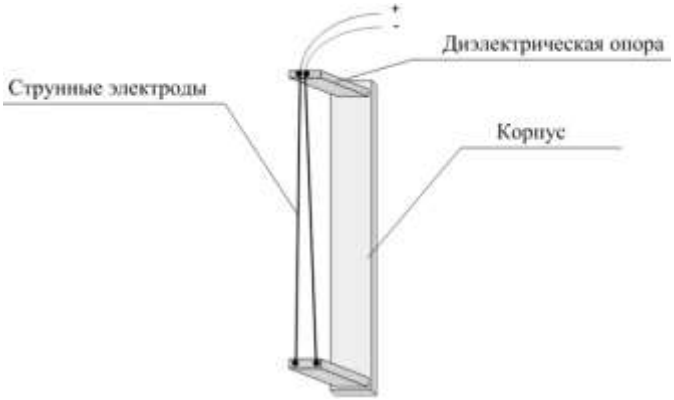


Рисунок 1 – Схема двухэлектродного струнного лабораторного волнографа

Для измерения высоты волны волнограф включался в электрическую схему (рисунок 2), в которой его струнные электроды подключались к источнику питания напряжением 12 В. С целью регистрации эпюры напряжения, возникающей от изменяющегося во времени тока между электродами волнографа, в электрическую цепь между плюсовой клеммой блока питания и одним из электродов волнографа устанавливался резистор с электрическим сопротивлением 8,5 кОм. Регистрация эпюры напряжения осуществлялась посредством электронного осциллографа TDS 3014C, подключенного к клеммам волнографа коаксиальным кабелем.

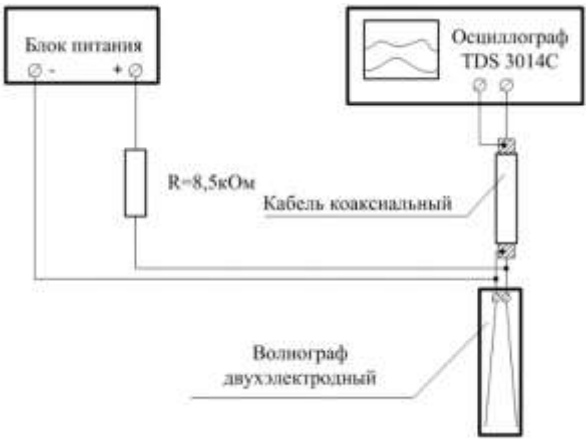
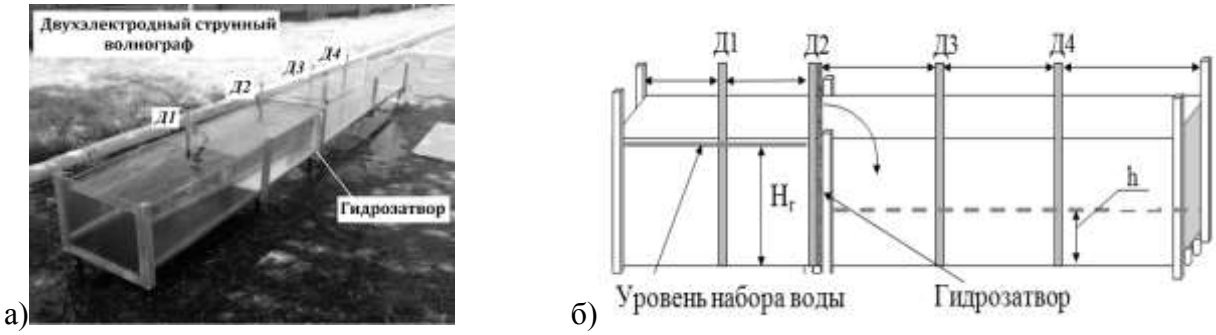


Рисунок 2 – Электрическая схема измерительного тракта с использованием двухэлектродного струнного лабораторного волнографа

Трапецивидное расположение струнных электродов вместо параллельного и постоянное питание обеспечили простоту конструкции волнографа и повысили точность регистрации высоты волны до 1 мм по сравнению с 1 см у аналогичных приборов.

Исследовательские работы с применением разработанных двухэлектродных струнных волнографов проводились в следующей последовательности. Пространство гидролотока (рисунок 3) перед закрытым гидрозатвором заполнялось водой до уровня НГ. После этого гидрозатвор с большой скоростью открывался, имитируя мгновенное разрушение верхней плотины. От него по свободному пространству гидролотка после обрушения столба воды распространялась волна прорыва, регистрируемая видеокамерой. Изменение уровня воды h на разных удалениях от гидрозатвора регистрировалось двухэлектродными струнными лабораторными волнографами Д1, Д2, Д3, Д4 (рисунок 4). Их показания сравнивались с данными, полученными по мерным линейкам посредством покадрового просмотра видеозаписей (рисунок 5).



а) фото гидролотка на опытовой площадке б) конструктивная схема гидролотка

Геометрические размеры: длина – 6,05 м, ширина – 0,5 м, высота – 0,4 м

Рисунок 3 – Гидролоток

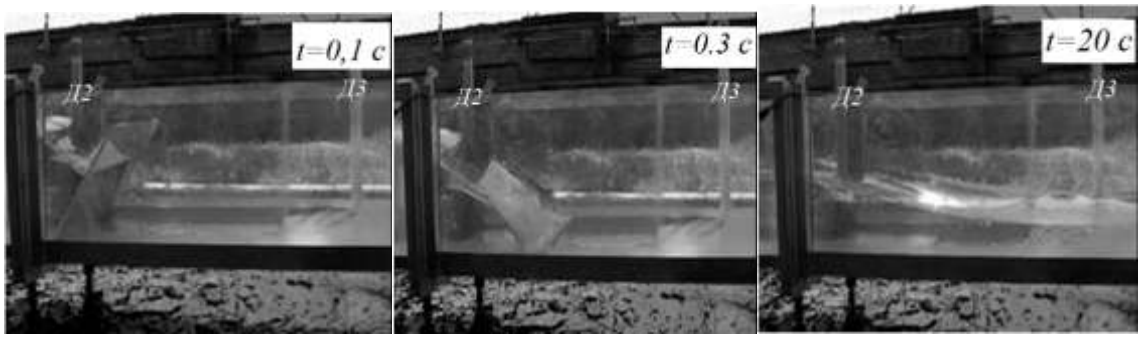


Рисунок 4 – Процесс измерения высоты волны прорыва волнографами

Рисунок 5 – Использование мерных линеек для измерения высоты волны прорыва

Полученные экспериментальные данные волнографов (Д1, Д2, Д3, Д4) по высоте волны h, возникающей в гидролотке при обрушении столба воды и дальнейшем её движении по гидролотку представлены на графиках рисунка 6 линиями (▬). Линиями (▬) представлены результаты расчёта в тех же сечениях по одномерным уравнениям Сен-Венана мелкой воды [12].

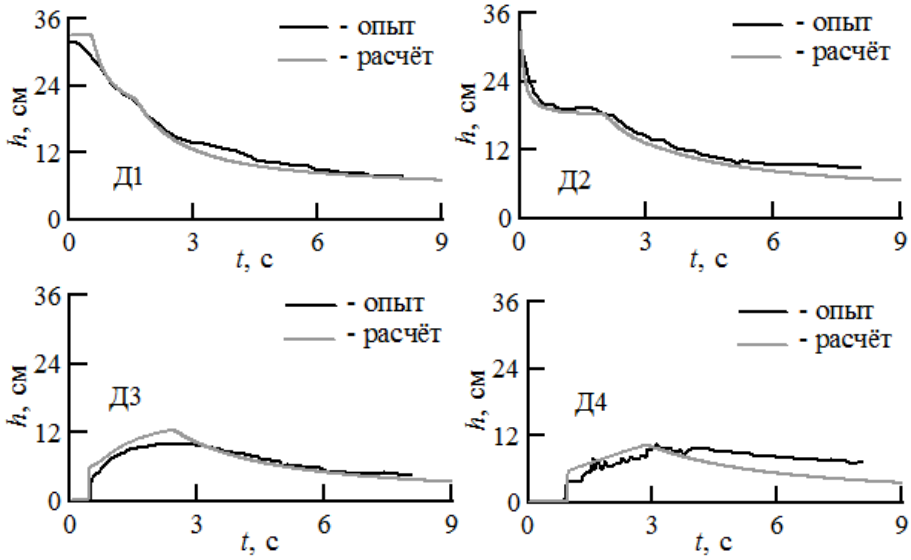


Рисунок 6 – Эпюры уровней воды в сечениях гидролотка
по данным волнографов Д1, Д2, Д3, Д4

В таблице проведено сравнение максимальной высоты волны, зарегистрированной волнографом Д3, и высоты волны по мерной линейке, размещённой в месте установки волнографа Д3.

Таблица – Результаты обработки экспериментальных данных

НГ, см	Расстояние между торцом гидролотка и Д1, см	Расстояние между Д1 и Д2, см	Расстояние между Д2 и Д3, см	Расстояние между Д3 и Д4, см	Δt между Д3 и Д4, с	ΔH по Д3, см	h по линейке, см
32	100	96	100	100	0.5	13,5	13,7
32	100	96	100	100	0.49	13,3	13,6
32	100	96	100	100	0.46	13,8	14,0

Сопоставление экспериментальных и расчётных данных рисунка 4 и таблицы 1 свидетельствует, что разработанные двухэлектродные струнные лабораторные волнографы удовлетворительно фиксируют изменение высоты воды – относительная погрешность не превышает 2.2%.

Выводы:

Практическое применение разработанных двухэлектродных струнных волнографов позволяет определять время прихода волны прорыва, ее высоту и форму в лабораторных условиях.

Применение в измерительном тракте цифровых осциллографов дает возможность регистрировать сигналы с высокой точностью. Относительная погрешность измерения высоты волны прорыва не превышает 2,2%.

Представленный способ регистрации параметров волны прорыва планируется использовать для оценки времени прихода, высоты и формы гравитационной волны в лабораторных испытаниях, планируемых к проведению на территории НИЦ БТС.

Список литературы

1. Авторское свидетельство 120342 СССР. Устройство для измерения и регистрации высоты и среднего периода волн / А.А Куклин (СССР). – №602423/26-08; заявл. 21.6.58; опубл. 1959, Бюл. №11.

2. Авторское свидетельство 513250 СССР. Волнограф / А.К. Куклин (СССР). – заяв. 23.01.1975; опубл. 18.05.1976. Патент перешел в общественное достояние.

3. Авторское свидетельство RU 119 874 U1. Волнограф для опытового бассейна / ФГБОУВПО "КнАГТУ" (RU). – №5013968/10, заявл. 28.11.1991; опубл. 27.08.2012 Бюл. № 24. Патент перешел в общественное достояние.

4. Авторское свидетельство RU 2 008 625 C1. Омический уравнемер / И.А. Краснов (RU)/ – 5013968/10, заяв. 28.11.1991, опубл. 28.02.1994. Патент перешел в общественное достояние.

5. Авторское свидетельство RU 2 040 780 C1. Способ измерения высокочастотных спектров поверхностных волн и устройство для его осуществления / Морской гидрофизический институт (RU). – 4933795/28, заявл. 07.05.1991, опубл. 25.07.1995. Патент перешел в общественное достояние.

6. Авторское свидетельство RU 2 659 727 C2. Струнный волнограф / ФГБУН "Морской гидрофизический институт РАН" (RU). – 2016146953, заявл. 29.11.2016, опубл. 03.07.2018 Бюл. № 19.

7. Авторское свидетельство RU 2 711 585 C1. Струнный волнограф с инфракрасной регистрацией длины струн / В.В. Стерлядкин (RU). – 2019120409, заявл. 01.07.2019, опубл. 17.01.2020 Бюл. № 2.

8. Авторское свидетельство RU 2 712 755 C1. Оптический струнный волнограф / В.В. Стерлядкин (RU). – 2019116825, заяв. 30.05.2019, опубл. 31.01.2020 Бюл. № 4.

9. Волнограф прибрежный ГМ-61. //Труды НИИГПМ– М.,1974. – №60 – С. 56-57.

10. Коровин В.П. Океанологические наблюдения в прибрежной зоне моря/ Коровин В.П. – СПб.:«РГГМУ», 2007 – 433 с.

11. Вильина А.В. Современные методы и средства измерения уровня в химической промышленности/ Вильина А.В., Вильин А.Д., Ефемов Е.В. – Томск: ТПУ, 2011 – 84 с.

12. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике/ Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. – М.: Наука, 1982. – 392 с.

УДК 627.8.034

Экспериментальные исследования режимов размыва плотин из местных материалов, связанные с обоснованием способов применения высокоточного оружия

Experimental studies of the models of erosion of dams from local materials related to the justification of methods of using high-precision weapons

Рожков А. П. – младший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ;
Колпаков Д. А. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ
Розов А. Л. – старший научный сотрудник, 12 ЦНИИ МО РФ

Аннотация: в статье представлен анализ исследования двух режимов размыва плотины из местных материалов в каскаде гидроузлов при переливе воды через её гребень, а также оценка количественных значений критерия перехода от пространственного к плоскопараллельному режиму размыва песчаной модели плотины различной высоты.

Annotation: the article presents an analysis of the study of two modes of erosion of a dam made of local materials in a cascade of hydroelectric facilities when water overflows over its crest, as well as an assessment of the quantitative values of the criterion for the transition from a spatial to a plane-parallel regime of erosion of a sand model of a dam of various heights.

Ключевые слова: волна прорыва, перелив через гребень, плотина, проран, размыв.

Keywords: break-through wave, water flow over crest, dam, proran, washout.

Перелив воды через гребень плотины может приводит к её разрушению. По этой причине происходит до 33% аварий на различных гидросооружениях [1]. Воздействие такого характера на гидроузлах (ГУ) считается наиболее опасным и влечет за собой большие экономические и социальные потери, в том числе и при разрушении каскадов плотин [2]. При разрушении плотины гидроузла в результате нанесения удара образуется волна прорыва, являющаяся вторичным поражающим фактором удара. Расчет параметров волны прорыва в настоящее время, как правило, выполняется с допущением о мгновенном разрушении отдельно стоящего ГУ. Эти решения не учитывают временной характер процесса. В настоящее время практикой гидротехнического строительства является каскадное возведение ГУ. Это определяет необходимость проведения расчётов параметров волны прорыва в каскаде ГУ с получением критериев разрушения плотин волной прорыва, образовавшейся при разрушении напорного фронта вышерасположенного ГУ [3,4].

Ранее, на основании экспериментальных данных, проведенных в 2015 году, при исследовании процесса перелива волны через гребень модели плотины, была выявлена возможность моделирования на гидролотке двух принципиально различных режимов размыва плотины из местных материалов при переливе воды через её гребень- пространственный и плоскопараллельный. Было выявлено, что равномерный размыв тела плотины происходит за более короткое время, чем развивается проран, что обуславливает катастрофические последствия для региона или группы регионов страны при аварии или преднамеренном специальном ударе по плотинам в каскаде ГУ, если будет реализован плоскопараллельный режим размыва.

В свою очередь, формирование двух принципиально разных режимов размыва плотины

может зависеть от высоты перелива ΔH воды через гребень плотины [4,5]. В реальных условиях обычных сезонных паводков наблюдаются лишь режимы размыва, обусловленные развитием прорана в теле плотины [6]. Для исследования процесса размыва волной прорыва плотин были проведены исследовательские испытания на маломасштабном гидролотке в каскаде с целью исследования двух режимов размыва плотины из местных материалов, при переливе воды через её гребень, а также оценки количественных значений критерия перехода от пространственного режима размыва к плоскопараллельному режиму размыва песчаной модели плотины высотой 0,1 м, 0,2 м, 0,3 м.

Схема исследовательских испытаний на модели фрагмента каскада плотин ГУ показана на рисунке 1.

Рисунок 1 – Схема исследовательских испытаний на модели фрагмента каскада плотин гидроузлов

Представленная схема предполагала размещение на расстоянии D = 3,5 м двух песчаных моделей плотин высотой $H_П$ = 0,1 и 0,2 м. Водохранилище модели плотины 2 моделировалось заполнением пространства между моделями плотин слоем воды глубиной H_0 = 0,08 м, что на 2 см ниже высоты $H_П$ = 0,1 м плотины 2. Водохранилище модели плотины 1 моделировалось заполнением пространства до модели плотины водой глубиной $H_0 = H_П$ = 0,2 м.

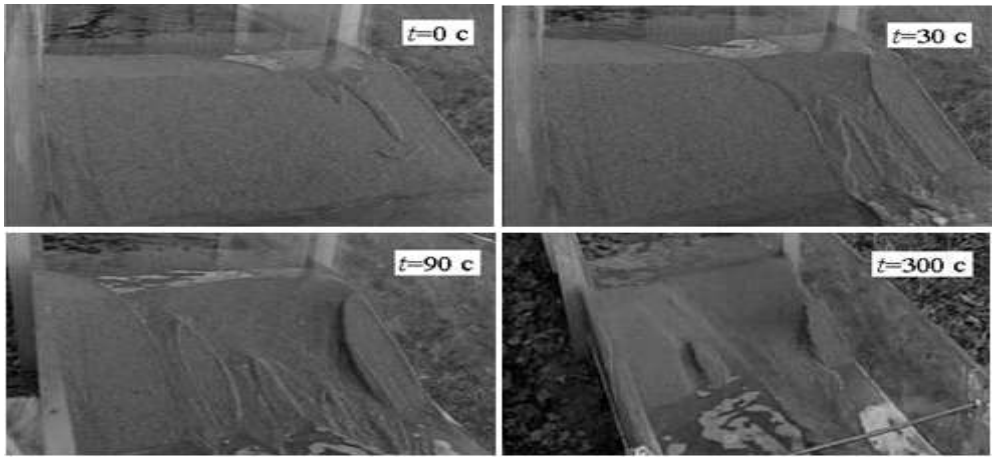


Рисунок 2 – Развитие прорана в теле модели плотины 1

В результате перелива воды через гребень плотины 1 в её теле образовался проран (рисунок 2) вследствие пространственного размыва. Примерно через 330 секунд начался

перелив через гребень плотины 2. Здесь уже наблюдался плоскопараллельный размыв (рисунок 3).

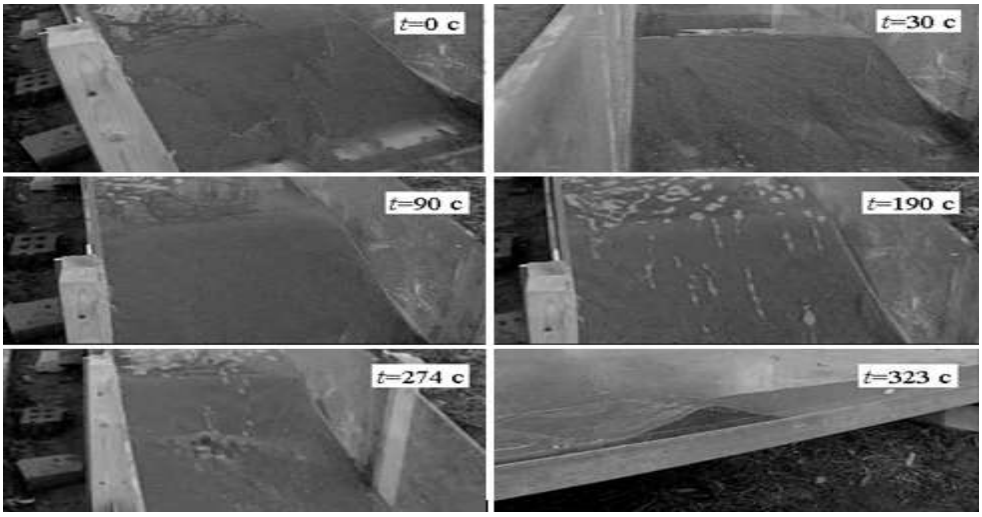


Рисунок 3 – Развитие плоскопараллельного размыва модели плотины 2

На рисунках буквой t обозначено время размыва. Эти же опытные данные продемонстрировали необходимость оценки количественных значений критерия перехода от пространственного режима размыва к плоскопараллельному режиму размыва песчаной модели плотины.

По результатам инициативных исследовательских испытаний 2015 года в качестве критерия размыва плотины волной прорыва предложено использовать уровень перелива ΔH воды через гребень плотины.

Испытания 2022 года проводились на моделях высотой $H_П$ = 0,1, 0,2 и 0,3 м и шириной гребня 0,1 м и 0,2 м, уклон откосов моделей составлял 1/3. При отсыпке моделей следует использовать песок естественной влажности, предварительно просеянный через сетку с ячейкой размером 2 мм и утрамбованный [7].

В экспериментах определяются условия реализации режимов размыва плотины.

Для каждой модели плотин находится такой уровень превышения воды в водохранилище над гребнем плотины, при котором происходит переход одного режима размыва плотины в другой.

Нахождение такого уровня будет означать, что для случаев с более высоким уровнем воды в водохранилище перед плотиной при переливе будет наблюдаться плоскопараллельный режим размыва плотины, а для случаев с более низким уровнем – пространственный режим размыва. При этом этот уровень должен обеспечивать скорость потока воды над гребнем плотины, превышающую критическую для грунта тела плотины.

Определялась критическая скорость грунта тела плотины $v_{кр}$.

Схема испытаний представлена на рисунке 4. Фактически она моделирует распространение волны прорыва в каскаде из двух ГУ. Разрушение верхней плотины моделировалось открыванием гидрозатвора, что соответствовало её полному мгновенному разрушению.

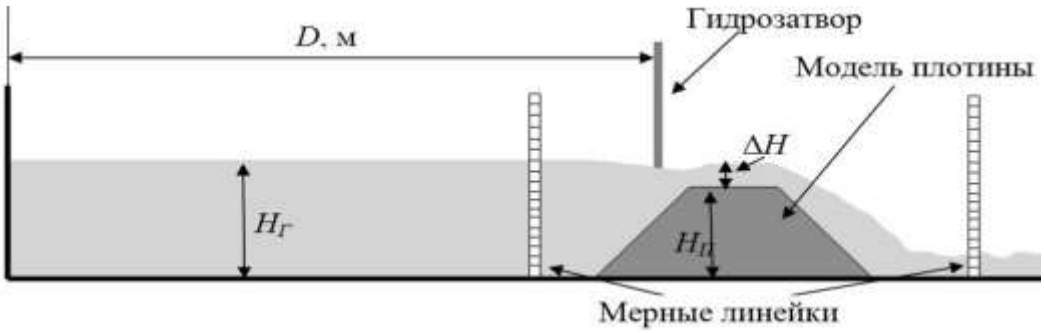


Рисунок 4 – Схема описанных исследовательских испытаний по оценке критерия размыва тела плотины

В отличие от испытаний 2015 года для минимизации искажающего влияния волн, образующихся при открывании гидрозатвора, в настоящих опытах он был перенесен к верхнему бьефу макета плотины (рисунок 5). При закрытом гидрозатворе гидролоток заполнялся водой до уровня $H_Г = H_П + \Delta H$ (уровень перелива оставался неизменным, $\Delta H = 0{,}02$ м). Затем гидрозатвор открывался. Процесс перелива через гребень модели плотины регистрировался видеокамерой. Уровни воды $H_Г$ и ΔH измерялись мерными линейками, размещавшимися по центру гребня плотины и перед гидрозатвором (рисунок 5).

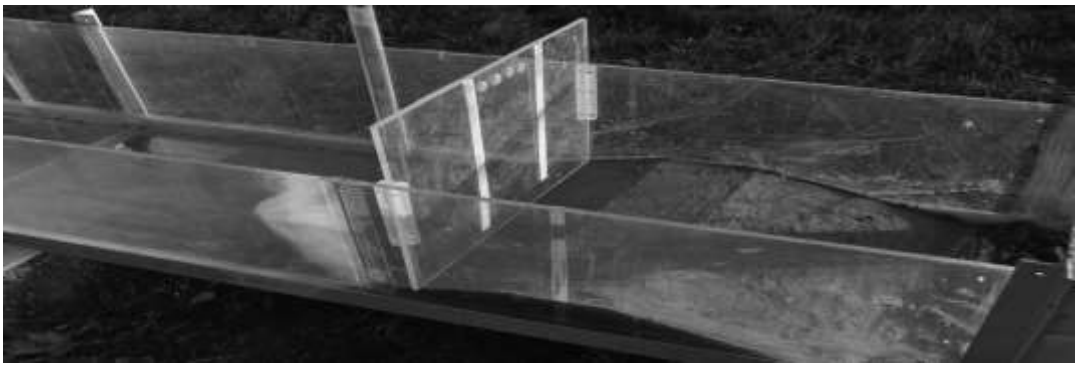


Рисунок 5 – Вид закрытого гидрозатвора перед испытанием

На каждом масштабе плотины опыты проводились до перехода пространственного режима размыва в плоскопараллельный режим размыва модели плотины.

Результаты обработки экспериментальных данных приведены в таблице 1 и на рисунке 6.

Таблица 1 – Результаты обработки экспериментальных данных

$H_Г$, см	t, с	$H_П$, см	D, м	Вид размыва
12	450	10	6,0	плоскопараллельный
11,7	530	10	6,0	плоскопараллельный
11,3	670	10	6,0	плоскопараллельный
10,8	790	10	6,0	плоскопараллельный
10,6	1260	10	6,0	образование начального прорана на гребне плотины, развитие пространственного размыва
21,3	1440	20	6,0	плоскопараллельный

21,1	2350	20	6,0	образование начального прорана на гребне плотины, развитие пространственного размыва
20,8	2530	20	6,0	образование начального прорана на гребне плотины, развитие пространственного размыва
31,8	1440	30	6,0	плоскопараллельный
31,4	1210	30	6,0	плоскопараллельный
31,2	2480	30	6,0	образование начального прорана на гребне плотины, развитие пространственного размыва
30,8	3260	30	6,0	образование начального прорана на гребне плотины, развитие пространственного размыва

На рисунке 6 опытные данные, полученные при настоящих испытаниях для песчаных моделей плотин с шириной гребня 0,1 м, показаны символами (●), а (+) - для песчаных моделей плотин с шириной гребня 0,2 м; пунктирной (---) линией показана экстраполяция.

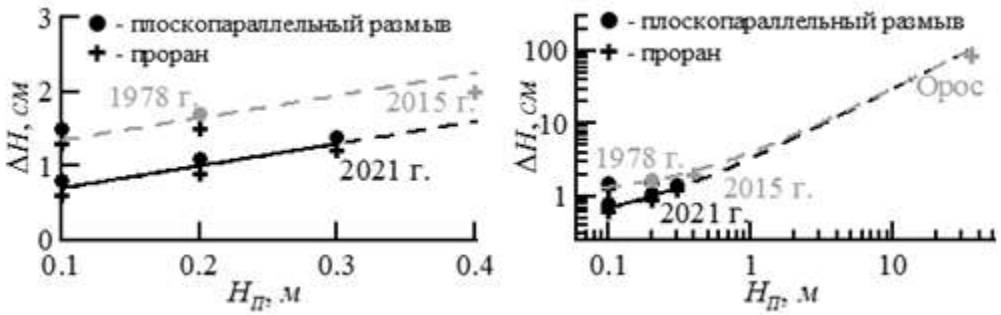


Рисунок 6 – Опытные данные, полученные при испытаниях для песчаных моделей плотин

На рисунке 6, символом (●) показан результат экспериментальных исследований доктора технических наук Розова А.Л. на модели плотины высотой $H_П$ = 0,2 м, уклоном откоса 1/3 и шириной гребня 0,2 м. Опыты проводились в 1978 году в волновом гидролотке на острове Бурнев Ладожского озера. Гидролоток имел длину 150 м, ширину 1 м и высоту 0,8 м. Изменение режима размыва модели плотины с прорана на плоскопараллельный режим было обнаружено при уровне перелива воды над гребнем плотины ΔH ≈ 1,7 см [8].

Символами (+), на рисунке 6 представлены результаты инициативных исследовательских испытаний 2015 г, описанных выше, а также результаты известных данных по аварии на плотине Орос из местных материалов. При высоте плотины $H_П$ = 35,5 м и уровне перелива воды ΔH ≈ 80 см через её гребень в теле плотины сформировался проран.

Было установлено, что плоскопараллельный режим размыва при переливе воды через гребень плотины имеет место при $\Delta H>0{,}15v^2_{кр}$, где $v_{кр}$- критическая скорость потока воды на гребне. Соответственно пространственный режим размыва при переливе воды через гребень плотины имеет место при $\Delta H<0{,}15v^2_{кр}$. При $\Delta H=0{,}15v^2_{кр}$ имеет место переходный режим [3].

Следует отметить, что для моделирования реальных условий полного процесса размыва плотины необходимо, чтобы длина водохранилища на модели варьировалась от 100 до 200 м.

Практическая важность данных исследований заключается в том, что при разрушении плотины, путем применения высокоточного оружия, образуется волна прорыва, являющаяся мощным вторичным поражающим фактором взрыва для нижележащей плотины. Различные

режимы размыва нижней плотины будут приводить к существенно отличающимся параметрам волны прорыва. В работах [8-11] было показано, что чем больше размеры прорана и быстрее его образование, тем более мощными (больше скорость и высота) будут параметры волны прорыва и, соответственно, более разрушительными будут последствия её прохождения. Новизна данных исследований состоит в определении условий перехода режима размыва при переливе воды через гребень плотины.

Таким образом, исследования, направленные на определение условий реализации различных режимов размыва плотин, являются практически важными. Они необходимы для формирования оценки эффективности ударов высокоточными боеприпасами определенной мощности по каскаду гидроузлов, который способен вызвать плоскопараллельный режим размыва, приводящий к максимальному ущербу, а также, для проведения обоснованных оценок последствий ударов по каскадам гидроузлов.

Список литературы

1. Векслер, А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка рисков и принятия решений/ А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин, СПб.: Изд-во «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева», 2002.– 591 с.

2. Рыбаков А.В., Галандаров В.Р. О построении модели оценки ущерба от наводнений в случае прорыва гидротехнического сооружения // Ученые записки Гянджинского Государственного Университета №4. – Азербайджан, Гянджа, 2018. - С.295-300.

3. Колпаков, Д.А. Режимы размыва плотины из местных материалов при переливе потока через её гребень / Д.А. Колпаков, А.Л. Розов, Н.Ю. Русина // Вопросы оборонной техники. Сер. 16. Технические средства противодействия терроризму. 2022. - Вып. 03-04, С. 160-166.

4. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М.Богославчик // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 4. - С. 292-296.

5. Лавреньтьев, М.А. Проблемы гидродинамики и их математические модели / М.А. Лавреньтьев, Б.В. Шабат // М.: Наука, 1973, 416 с.

6. Нежиховский, Р.А. Наводнения на реках и озерах / Р.А. Нежиховский // Л.: Гидрометеоиздат, 1988. - 184 с.

7. Салямова К.Д., Ахмедов М.А. Статистический анализ повреждений и разрушений грунтовых плотин // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: сборник докладов Международной научно-технической конференции, Алушта, 4–8 июня, 2018 г. / Белгородский государственный технологический университет – Белгород, 2018. – С. 104-113.

8. Косарев, С.Г. Методика расчета развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин вследствие возникновения аварийных ситуаций / С.Г. Косарев // Гидротехническое строительство. 2012. №4. С. 17-20.

9. Прудовский, А.М., Пономарчук, К.Р. Методика расчета развития во времени прорана в грунтовой плотине / Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидравлических сооружений: материалы Международного симпозиума. – СПб, 2002 . – С.145-151.

10. Розов, А.Л. Действие ядерного взрыва на гидроузел и последствия его разрушения. Физика ядерного взрыва. Т.2 Действие ядерного взрыва / А.Л. Розов // М.: Наука, Физматгиз, 1997. - 253 с.

11. Пономарчук, К.Р. Оценка влияния развития прорана в грунтовой плотине на гидравлический режим нижнего бьефа / К.Р. Пономарчук // Роль природоубустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции. М.: МГУП, 2007. - 273 с.

УДК 355:2:326.8

Влияние характеристик каната грузонесущей связи на технический облик и массогабаритные характеристики лебедки мобильного средства глубоководного подъема

Influence of characteristics of the rope of load-carrying communication on technical appearance and weight dimensional characteristics of the winch mobile device deep sea ascent

Салихов Д. Ф. – младший научный сотрудник научно-исследовательского отдела НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА»

Аннотация: в статье описаны зависимости характеристик лебедки мобильного средства глубоководного подъема (МСГП) от параметров ее технического исполнения в различных вариантах. Произведена оценка возможности создания МСГП в объемах, ограниченных линейными размерами стандартных грузовых контейнеров.

Annotation: the article describes the dependencies of the characteristics of the winch of a mobile device deep-sea lift (MDWLD) on the parameters of its technical performance in various options. An assessment was made of the possibility of creating an MDWLD volumes limited linear dimensions of standard freight containers.

Ключевые слова: мобильное средство глубоководного подъема, грузонесущая связь, лебедка, стальной канат, синтетический канат.

Keywords: mobile deep-water lifting device, load-carrying connection, winch, steel rope, synthetic rope.

Мобильное средство глубоководного подъема, предназначено для подъема с глубины до 1000 м затонувших объектов вооружения и военной техники (ВиВТ) массой до 100 т. Согласно концепции, облик МСГП включает смонтированные на прочном основании:

П-образную раму с одношкивным блоком;

лебедку;

компенсатор динамических нагрузок.

Кинематическая схема МСГП представлена на рисунке 1.

Лебедка является базовым элементом МСГП. Ее массогабаритные характеристики зависят от массы поднимаемого объекта [1], которой должны соответствовать прочность всех элементов лебедки, включая канат грузонесущей связи (ГНС), а также мощность привода лебедки. При глубоководном подъеме значение имеет материал каната ГНС, а конкретнее вес каната в воде [2].

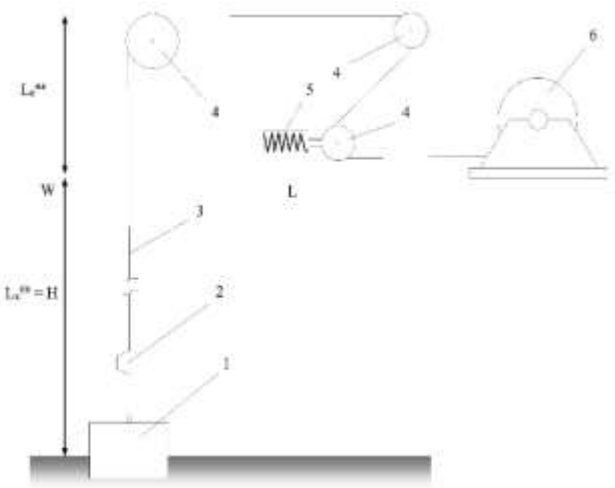
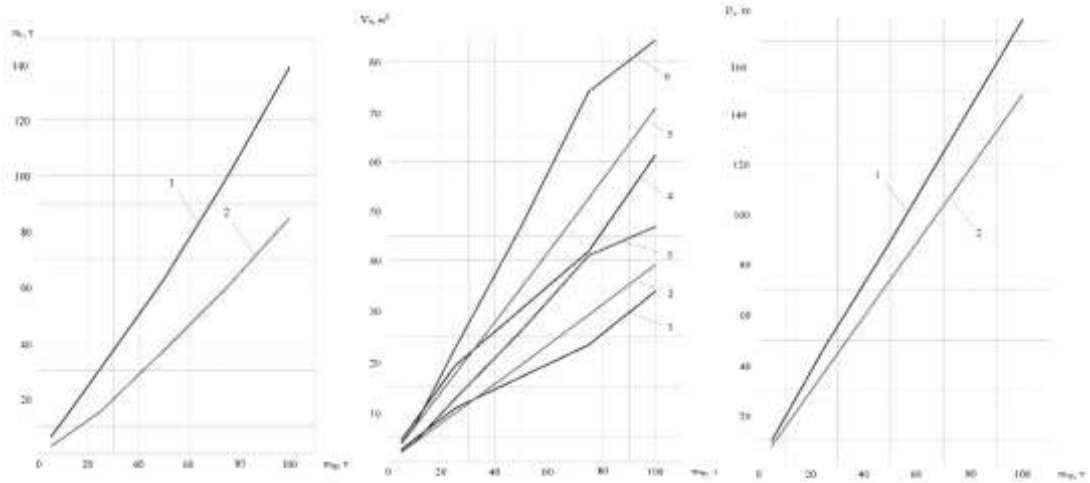


Рисунок 1 – Схема мобильного средства глубоководного подъема (МСГП):
1 – груз (поднимаемый объект); 2 – оснастка; 3 – канат ГНС; 4 – блок одношкивный; 5 – компенсатор динамических нагрузок; 6 – лебедка

Из исходных данных [3, 4] были выполнены расчеты характеристик лебедки МСГП для различных вариантов, отличающихся массой поднимаемого объекта, параметрами каната ГНС и количеством слоев намотки каната на барабан лебедки, построены зависимости массы, габаритного объема и тягового усилия лебедки МСГП от грузоподъемности и материала каната ГНС (рисунок 2).

Зависимости массы и тягового усилия для стальных и синтетических канатов имеют вид расходящихся кривых, так как значимым фактором [5] для них является удельная масса каната ГНС. Соотношение удельных масс стального и синтетического канатов, характеристики которых были использованы в расчетах, варьируется в диапазоне от 6,42 до 8,78 раза. При этом верхняя граница диапазона относится к лебедкам с меньшей грузоподъемностью. С увеличением грузоподъемности соотношение удельных масс стального и синтетического канатов уменьшается. Масса лебедок при применении синтетических канатов по сравнению с лебедками, имеющими стальные канаты ГНС, меньше в диапазоне от 1,64 до 2,24 раза. При этом верхняя граница диапазона также соответствует лебедкам меньшей грузоподъемности. Таким образом, замена стального каната на синтетический при равной грузоподъемности обеспечивает существенный выигрыш в массе лебедки МСГП. То же относится к тяговому усилию лебедок, которое при замене стального каната на синтетический канат снижается. Однако диапазон соотношений здесь находится в пределах от 1,2 до 1,3 раза. Масса лебедки и ее тяговое усилие, вычисляемые по рассматриваемой методике, не зависят от количества слоев намотки каната на барабан.

Значимыми факторами при определении линейных размеров лебедок при фиксированной глубине подъема являются количество слоев намотки на барабан каната ГНС и его диаметр.



а) б) в)

Рисунок 2 – Характеристики лебедки МСГП для различных вариантов:
а) зависимость массы лебедки МСГП от грузоподъемности и материала каната ГНС: 1 – стальной канат; 2 – синтетический канат;
б) зависимость габаритного объема лебедки МСГП от грузоподъемности и материала каната ГНС:1 – стальной канат при 8-слойной намотке; 2 – синтетический канат при 8-слойной намотке с запасом прочности, равным запасу прочности стального каната; 3 – синтетический канат при 8-слойной намотке с повышенным, 5-кратным запасом прочности; 4 – стальной канат при 3-слойной намотке; 5 – синтетический канат при 3-слойной намотке с запасом прочности, равным запасу прочности стального каната; 6 – синтетический канат при 3-

слойной намотке с повышенным, 5-кратным запасом прочности; в) зависимость тягового усилия лебедки МСГП от грузоподъемности и материала каната ГНС: 1 – стальной канат; 2 – синтетический канат

Соотношение диаметров стального и синтетического канатов для лебедок равной грузоподъемности в зависимости от массы поднимаемого груза не является линейным, что обусловливает иной характер зависимостей габаритного объема лебедок от их грузоподъемности, которые представляют собой пересекающиеся кривые. При наибольшей грузоподъемности габаритный объем лебедки со стальным канатом ГНС получается меньше приблизительно в 1,13. При относительно малой грузоподъемности диаметр синтетического каната становится меньше, поэтому линейные размеры такой лебедки по сравнению с лебедкой той же грузоподъемности, имеющей стальной канат ГНС, уменьшаются, и на нижней границе рассматриваемого диапазона грузоподъемности лебедка с синтетическим канатом меньше приблизительно в 1,19 раза.

Вывод в предыдущем абзаце сделан при условии равенства запасов прочности стального и синтетического канатов. На самом деле, согласно требованиям российского морского регистра судоходства РМРС следует принимать 10-кратный запас прочности синтетических канатов [5]. Это требование сформировано еще до появления синтетических канатов из современных сверхвысокомодульных материалов типа нити Dyneema и является устаревшим. Требование обеспечения 10-кратного запаса прочности делает задачу создания лебедок для глубоководного подъема с применением синтетического каната ГНС практически невыполнимой. В этой связи российская компания «Юнитекс-Нева» сертифицировала в РМРС канат «Neutron-8» типа AmSteel-Blue американской компании-производителя «Samson» с 5-кратным запасом прочности [6]. Следствием повышения норм прочности относительно норм, предъявляемых для стальных канатов, станет увеличение диаметра синтетических канатов, применяемых в составе МСГП, которое, в первую очередь, скажется на увеличении габаритных размеров лебедок. Результаты расчетов с учетом 5-кратного запаса прочности синтетического каната ГНС нанесены на графики на рисунке 4. Габаритный показатель лебедки за счет применения синтетических канатов большего диаметра увеличивается. Это приращение при принятых исходных данных в зависимости от соотношения разрывной нагрузки и диаметра каната составляет от 20 до 40%. Масса лебедки остается практически неизменной в связи с относительно малым удельным весом синтетического каната.

Негативное влияние увеличения диаметра каната на габариты лебедки требуется компенсировать за счет применения синтетических канатов с большим разрывным усилием при неизменном диаметре, то есть изготавливать их из более прочного материала.

Габаритный объем лебедки представляется возможным снизить за счет увеличения количества слоев намотки каната на барабан [7]. Расчет показывает, что в случае увеличения количества слоев намотки с 3 до 9 (в три раза), габаритный объем лебедки сокращается в 1,89 раза. При этом происходит неравномерное и разнонаправленное изменение ее главных размерений. В частности, длина лебедки увеличилась в 3,86 раза, а ее высота и ширина, наоборот, уменьшились на 30%. Это обусловлено непосредственной прямой зависимостью длины лебедки от количества витков и опосредованным воздействием количества слоев на ширину и высоту лебедки из-за наличия неизменного диаметра барабана, в 18 раз превышающего диаметр каната ГНС.

Разница в габаритном объеме лебедок, вызванная заменой стального каната ГНС синтетическим аналогом, находится в пределах ± 20% и существенно меньше, чем разница в их массе, показанная выше. В связи с этим, выбор материала каната ГНС в составе МСГП, в первую очередь, диктуется необходимостью уменьшения массы лебедки. Выигрыш в массе однозначно отдает предпочтение применению лебедок с синтетическим канатом ГНС. Меньшее, но достаточно важное значение имеет также возможность уменьшения тягового усилия лебедки и, как следствие, потребляемой ею мощности [8].

Крутящий момент лебедки МСГП также зависит от материала каната и количества слоев намотки. В связи с многократно (в 6-8 раз) большей удельной массой стального каната по сравнению с удельной массой синтетического каната крутящий момент лебедки со стальным канатом требуется иметь больше на 10-40%. При этом нижняя граница интервала относится к лебедкам с большей грузоподъемностью. С увеличением количества слоев намотки каната на барабан необходимый крутящий момент лебедки также увеличивается, что связано с возрастанием диаметра, по которому укладывается слой намотки. При увеличении количества слоев намотки с 3 до 9 необходимый крутящий момент увеличивается на 30%.

Теоретические расчеты позволяют оценить возможность создания МСГП в объемах, ограниченных линейными размерами стандартных грузовых контейнеров [9]. 20-футовый морской контейнер, полностью соответствующий габаритным ограничениям при транспортировке любым видом транспорта, имеет длину 6,05 м, ширину 2,43 и высоту 2,59 м. Внутренне пространство имеет длину 5,91 м, ширину 2,35 и высоту 2,39 м. Внутренний объем контейнера 33,0 м3. Масса контейнера составляет 2,23 т, масса размещаемого груза – 28,0 т. При 3-слойной намотке каната ГНС на барабан разместить лебедку длиной более 7,2 м в контейнере не представляется возможным во всем диапазоне рассматриваемой грузоподъемности. При 9-слойной намотке каната ГНС на барабан длину лебедки удается сократить до приемлемого с точки зрения размещения значения 1,89 м, однако по высоте в габариты контейнера входят только 5-тонная, 10-тонная и 25-тонная лебедки. Предельное значение грузоподъемности в зависимости от габаритных размеров лебедок в первом приближении определено на рисунке 3. При применении синтетического каната обеспечивается грузоподъемность 27,7 т, при применении стального каната – 38,4 т. При этом лимитирующим фактором является высота лебедки.

Длина лебедки в габаритах стандартного морского контейнера обеспечивается при 8 слоях намотки каната на барабан [10]. Это условие определяет конструктивное исполнение лебедки МСГП. Согласно РМРС при непосредственной передаче крутящего момента на барабан, на который действует тяговое усилие, количество слоев намотки не рекомендуется делать более 3.

Нарушение этой рекомендации ведет к неустойчивой работе канатоукладчика, вызванное деформацией каната под нагрузкой с уменьшением диаметра, что особенно характерно для лебедок с синтетическим канатом. С ростом количества слоев намотки возрастает опасность защемления каната при проваливании его между ниже расположенными слоями. Канат повреждается, лебедка работает со сбоями и с повышенной нагрузкой. В связи с вышеизложенным, единственным конструктивным решением становится применение транзитной лебедки, после прохода по шкивам которой канат ГНС с относительно небольшой постоянной нагрузкой, достаточной для плотной намотки, укладывается на барабан лебедки, который оснащен собственным дополнительным приводом. Мощность этого привода напрямую не связана с тяговым усилием лебедки.

Введение в состав МСГП транзитной лебедки завершило определение его технического облика. МСГП включает следующие элементы, размещенные на прочном основании:

вьюшку с канатом ГНС, оснащенную собственным приводом и канатоукладчиком;

транзитную лебедку, создающую тяговое усилие;

компенсатор динамических нагрузок;

направляющие блоки и ролики;

каркас и раму П-образную, обеспечивающие трассировку и вынос каната ГНС за борт.

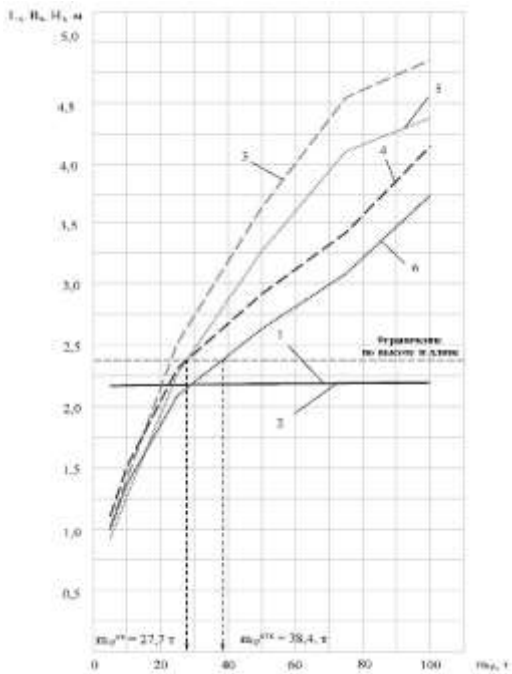


Рисунок 3 – Зависимость линейных размеров лебедки МСГП от грузоподъемности и материала каната ГНС (при 8 слоях намотки каната на барабан):
1 – длина при синтетическом канате; 2 – длина при стальном канате; 3 – ширина при синтетическом канате; 4 – ширина при стальном канате; 5 – высота при синтетическом канате; 6 – высота при стальном канате

В зависимости от грузоподъемности комплект оборудования МСГП будет размещаться в габаритах одного 20-футового транспортного контейнера или двух контейнеров, один из которых, содержащий вьюшку с канатом ГНС, будет негабаритным по длине (рисунки 4 и 5).

Одноконтейнерное исполнение обеспечивается для МСГП с грузоподъемностью 25 тс при применении синтетического каната, что обусловлено необходимостью уменьшения массы оборудования за счет применения каната с существенно меньшей удельной массой.

Двухконтейнерное исполнение обеспечивается за счет выноса вьюшки с канатом ГНС в отдельный контейнер. При этом вьюшку необходимо спроектировать более компактной за счет уменьшения диаметра барабана, приняв значение коэффициента выбора диаметра равным 12 (на 1/3 меньше), а соотношения высоты и ширины вьюшки к сумме диаметра барабана и удвоенной высоты реборды принять равными 1,1. При этом длина вьюшки превысит длину 20-футового транспортного контейнера, но не превысит габарит 40-футового транспортного контейнера. Этим будет обеспечена возможность транспортировки МСГП всеми видами транспорта как габаритного груза.

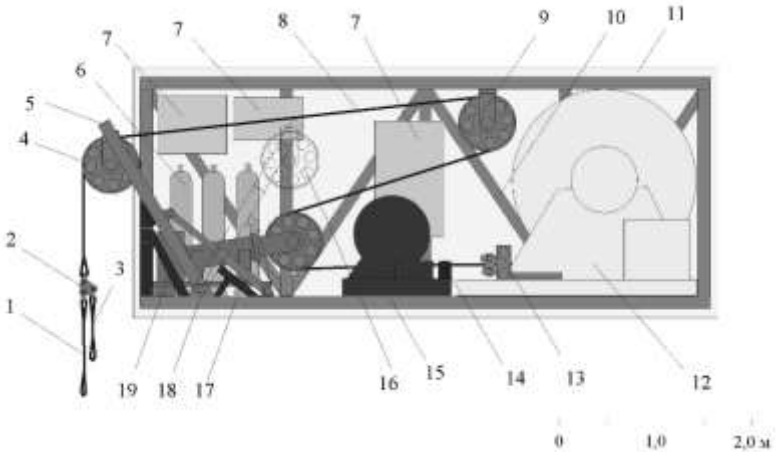


Рисунок 4 – Схема размещения оборудования МСГП для подъема объектов массой до 25 т с глубины 1000 м продольный разрез: 1 – строп для остропки объекта; 2 – соединительное звено – утяжелитель; 3 – строп для перестропки; 4 – блок П-образной рамы; 5 – рама П-образная; 6 – баллон воздушный из состава компенсатора динамических перемещений; 7 – щит питания и управления оборудованием; 8 – канат грузонесущей связи; 9 – блок потолочный; 10 – каркас; 11 – контейнер 20-футовый; 12 – вьюшка механическая с канатом грузонесущей связи; 13 – канатоукладчик вьюшки; 14 – ролики направляющие; 15 – лебедка транзитная; 16 – положение транспортное П-образной рамы; 17 – ограничитель перемещения П-образной рамы в транспортном положении; 18 – компенсатор динамических перемещений; 19 – упор П-образной рамы в рабочем положении

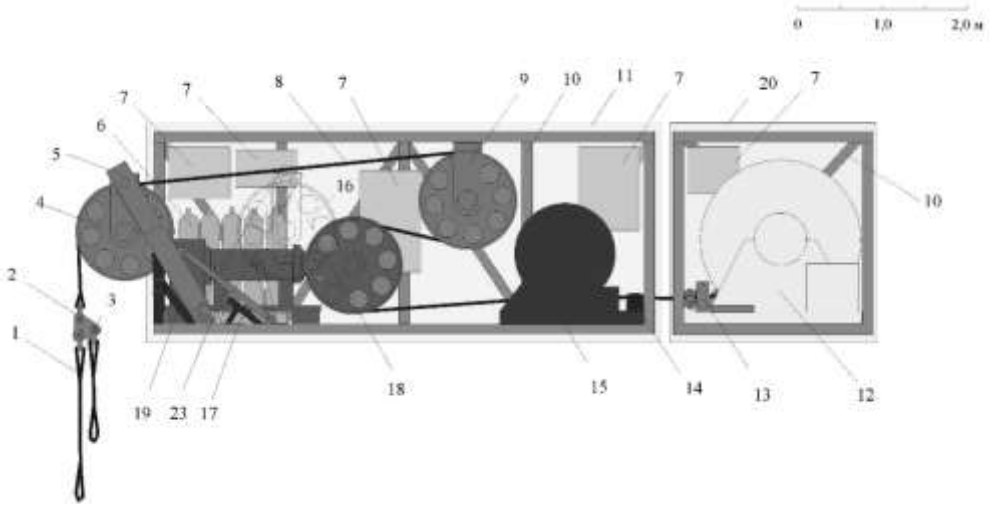


Рисунок 5 – Схема размещения оборудования МСГП для подъема объектов массой до 100 т с глубины 1000 м продольный разрез: 1 – строп для остропки объекта; 2 – соединительное звено – утяжелитель; 3 – строп для перестропки; 4 – блок П-образной рамы; 5 – рама П-образная; 6 – баллон воздушный из состава компенсатора динамических перемещений; 7 – щит питания и управления оборудованием; 8 – канат грузонесущей связи; 9 – блок потолочный; 10 – каркас; 11 – контейнер 20-футовый; 12 – вьюшка механическая с канатом грузонесущей связи; 13 – канатоукладчик вьюшки; 14 – ролики направляющие; 15 – лебедка транзитная; 16 – положение транспортное П-образной рамы; 17 – ограничитель перемещения П-образной рамы в транспортном положении; 18 – компенсатор динамических перемещений; 19 – упор П-образной рамы в рабочем положении; 20 – контейнер нестандартной длины, не превышающий длину контейнера 40-футового; 21 – толкатель

Выводы

Технический облик и массогабаритные характеристики мобильной глубоководной системы подъема (МСГП) существенно зависят от характеристик каната ГНС. Определяющими факторами являются прочностной показатель каната, характеризуемый отношением его разрывной нагрузки к диаметру (чем больше, тем лучше), а также малая удельная масса каната (чем меньше, тем лучше).

Расчеты показывают принципиальную возможность создания МСГП, способных поднять затонувшие объекты массой до 100 т с глубины 1000 м, с применением современных синтетических канатов типа Amsteel-Blue из сверхвысокомодульного вещества. При этом МСГП для подъема объектов массой до 25 т могут быть выполнены в габаритах одного транспортного 20-футового контейнера. Для подъема объектов массой от 25 до 100 т требуется размещение МСГП в двух транспортных контейнерах, один из которых превышает

стандартный 20-футовый контейнер по длине, но не превышает длины стандартного 40-футового контейнера.

Конструктивно МСГП, предназначенный для подъема объектов массой до 25 т, будет состоять из размещенных на единой раме транзитной лебедки, вьюшки с собственным приводом и канатоукладчиком, компенсатора динамических перемещений, каркаса и П-образной рамы для трассировки и выноса каната ГНС за борт, комплект блоков и роликов. МСГП, предназначенный для подъема объектов массой от 25 до 100 т, будет отличаться вынесением вьюшки с канатом ГНС в отдельный контейнер.

Создание МСГП, способных поднимать грузы от 25 до 100 т с глубины 1000 м, потребует применения более жестких норм проектирования и конструкционных материалов с повышенными прочностными характеристиками по сравнению с применяемыми при проектировании МСГП, способных поднимать массой грузы до 25 т включительно. Создание МСГП, способного поднять объект массой 100 т с глубины 1000 м, следует поручить проектно-конструкторскому бюро, имеющему опыт проектирования сложных морских технических систем, включающих спускоподъемные устройства, и способному принимать обоснованные технические решения, выходящие за рамки общепринятых ограничений.

Список литература

1. Справочник по расчетам при судоподъеме. М.: Воениздат, 2005. – 480 с.

2. Асминин В.В., Краморенко А.В. Телемеханика поисковых и судоподъемных работ. Труды крыловского государственного научного центра №2, 2019, - с.11-16.

3. Канаты. Стропы. Грузоподъемные комплектующие. Сервисы. Буклет компании Teci Rus, 2018. – 131 с.

4. Industrial Catalog of company «Samson Rope Technologies». USA, 2010. – 48 с.

5. Михайлов В.И., Федосов К.М. Планирование эксперимента в судостроении. Л.: Судостроение, 1978. – 159 с.

6. J.Boesten. Latest on Deepwater installation with HMPE rope. Доклад на международной конференции «MCE Deepwater», 2014.

7. Deck Machinery. Reliable solutions for efficient operations. Rolls-Royce Commercial Marine. Norway, 28 с.

8. АО Обуховское. Разработка и изготовление судового оборудования [Электронный ресурс]. – URL: http://obuhovskoe.ru/katalog-oborudovaniya/sudovye-mekhanizmy/lebedkivyushki.html# (дата обращения: 20.10.2020).

9. Рабочие материалы 2 этапа НИР «Исследование возможности оснащения кораблей и судов образцами модульного вооружения» (шифр «Модуль-НК»). – Ломоносов: НИИ СиПТ, 2019. – 44 с.

10. Гапанюк М.В. Судовой состав флота Росии и флотов иностранных государств [Текст] – Ломоносов: НИИ СиПТ, 2020. – 306 с.

УДК 355:2:326.8

Модернизация судоподъемных понтонов ССП-200 проекта 528

Progect 528 ssp-200 ship lifting pontoons upgrade

Фадеев Д. Е. – научный сотрудник научно-исследовательского отдела НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «ВМА»

Аннотация: в статье представлен процесс модернизации стальных судоподъемных понтонов ССП-200 проекта 528 от выявления недостатков прототипа до строительства нового образца.

Annotation: the article presents the process of upgrade of steel ship-lifting pontoons SSP-200 of project 528 from identifying flaws in the prototype to building a new model.

Ключевые слова: стальной судоподъемный понтон, понтонный парк, модернизация, судоподъем, корабль.

Keywords: steel ship-lifting pontoon, pontoon park, upgrade, ship-lifting, ship.

На сегодняшний день подъем затонувших объектов базируется, в основном, на восстановлении собственной плавучести поднимаемого затонувшего объекта. Также остается востребованным национальный способ подъема, основанный на применении стальных судоподъемных понтонов (ССП) (рисунок 1).

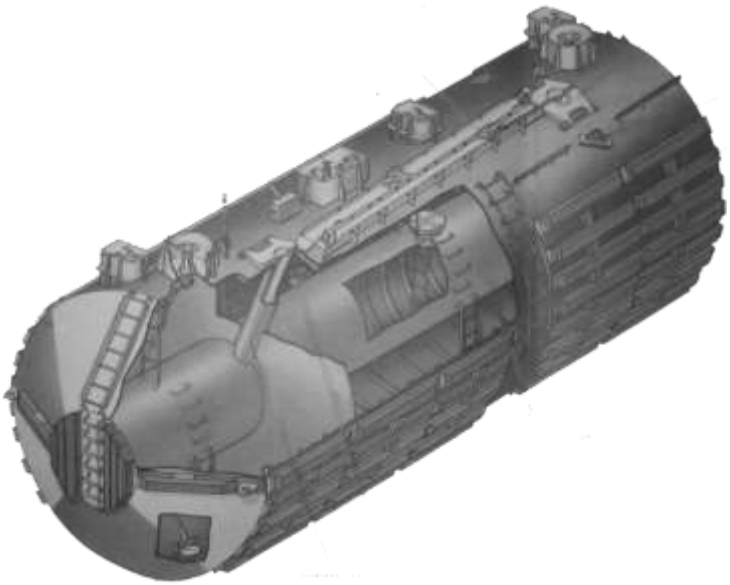


Рисунок 1 – Внешний вид стального судоподъемного понтона пр. 528

Существующий понтонный парк в основном состоит из ССП-400 пр. 529, ССП-200 пр. 528, ССП-80 пр. А096. ССП пр. 528, которые проектировались в конце 1950 годов как глубоководные понтоны с глубиной погружения до 200 м без поддува воздушного ящика и до 300 м с поддувом воздушного ящика. Глубина погружения 400-тонных понтонов пр. 529 и 80-тонных понтонов пр. А096 составляет 100 м. При разработке в 1986 году новой серии понтонов рабочая глубина погружения 200-тонных и 400-тонных понтонов была увеличена без поддува воздушного ящика до 300 м, одновременно была снижена их общая масса. Данное решение потребовало изготовления понтонов из легированной стали с повышенными прочностными характеристиками, что привело к удорожанию строительства понтонов. Вместе с тем, оно ничем не было оправдано, так как практика судоподъема не знает примеров подъема понтонами объектов с глубины более 50 м. Это связано с возрастающей

по мере увеличения глубины сложностью остропки понтонов, а также необходимостью применения ступенчатого подъема на глубинах, превышающих одну треть от длины поднимаемого объекта. Еще одним, весомым фактором, обуславливающим практически полный отказ от глубоководного подъема кораблей и судов при помощи понтонов, является отсутствие актуальной необходимости обязательного подъема затонувших объектов с глубин свыше 20 м, если они не препятствуют судоходству [1].

Опыт подъема большого противолодочного корабля (БПК) «Очаков» выявил существенные недостатки ССП пр. 528, остропка которых осуществлялась через вертикально расположенные клюзы (рисунки 2 и 3). Понтоны, из-за их конструкции, невозможно было установить близко к основной плоскости корабля. Их нижний край возвышался над ней на 3,5-4,0 м, что не позволяло понтонам сохранять подъемную силу при минимальной осадке поднимаемого корабля, необходимой для прохода по фарватеру вглубь озера Донузлав, также, при буксировке, в результате прекращения работы высоко расположенных ССП возник крен из-за которого возникла опасность потери остойчивости корабля (рисунок 4).

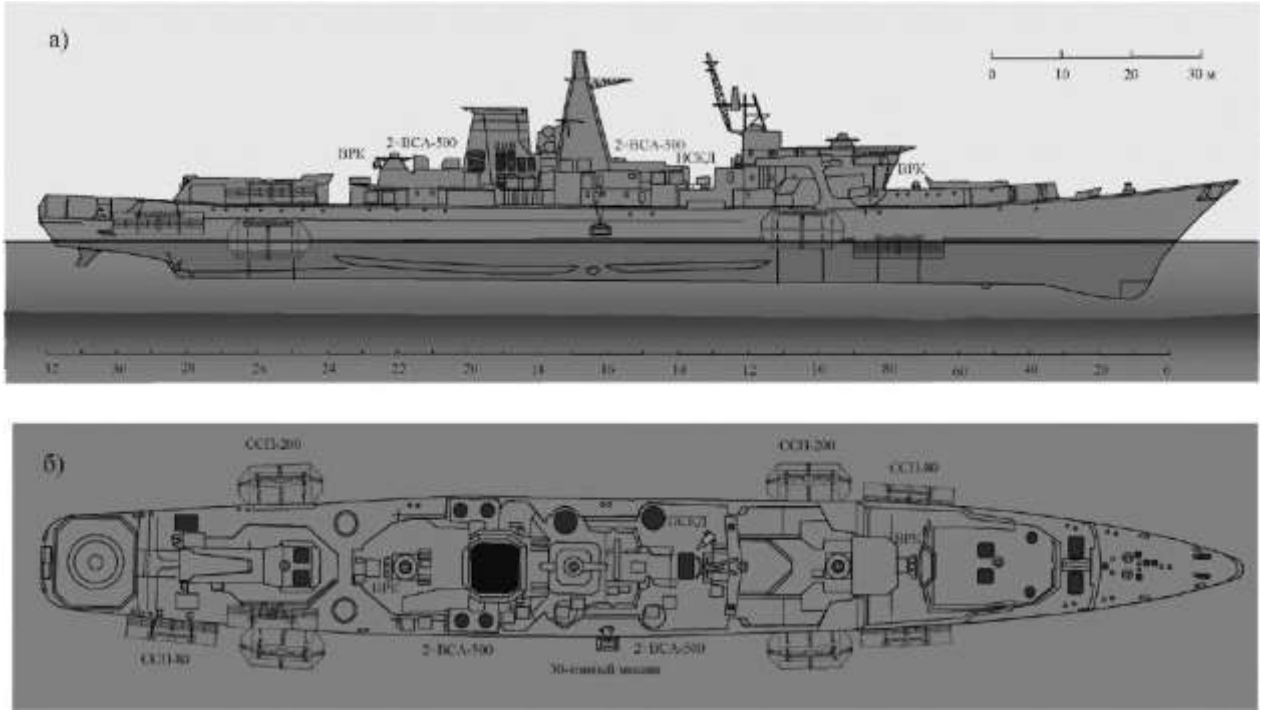


Рисунок 2 – Схема расположения ССП у борта БПК «Очаков» на заключительном этапе подъема:
а) вид со стороны правого борта; б) вид сверху

Рисунок 3 – Остропка ССП-200 проекта 528 к борту БПК «Очаков»

Рисунок 4 – Крен БПК «Очаков»

Прекращение работы понтонов привело к уменьшению остойчивости комплекса «корабль-понтоны» и появлению опасного крена. На борьбу с креном и уменьшением осадки было затрачено 10 дней. В итоге, недостаточное количество понтонов и несовершенство их конструкции привели к потере более чем половины времени выполнения работ [2].

Выявленные при подъеме БПК «Очаков» недостатки были устранены с помощью изменения технологии остропки ССП-200 при подготовке к транспортировке из Южной бухты г. Севастополь в п. Инкерман на судоразделку подводной лодки Б-380 [3] (рисунок 5).

По мере старения понтонного парка, созданного в 1960-1980 гг., снижается оперативность использования ССП, так как перед их применением, практически во всех случаях, требуется восстановительный ремонт, включающий обеспечение герметичности наружного корпуса, воздушного ящика и внутренних переборок, а также комплектацию понтонов исправной арматурой. При этом все более очевидной становится польза от максимального упрощения конструкции понтонов.

Рисунок 5 – Буксировка подводной лодки Б-380

Специалисты НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» разработали технические решения, направленные на упрощение конструкции, удешевление постройки, эксплуатации и ремонта ССП пр. 528 [4]. Они касались как изменения конструкции понтонов, так и условий их хранения и эксплуатации. Было предложено:

в качестве рабочей глубины применения ССП установить глубину 60 м без поддува воздушного ящика;

исключить систему общей продувки отсеков ССП [5];

дооборудовать ССП-200 отсечным клапаном на подъемную силу 25 тс по аналогии с ССП-400 [6];

принять наклонную конструкцию клюзов [7];

исключить приводы крышек кингстонов, применить откидные крышки с задрайками [7];

предусмотреть поперечные стропоукорачивающие устройства, устанавливаемые у клюзов, для закрепления внешних стропов [8];

обеспечить остропку ССП-200 с использованием стропоукорачивающего устройства (с уменьшенным расстоянием между отверстиями в «гребенке») и клюзовых крышек без промежуточной фиксации стропов [8];

установить быстроразъемные соединения в местах подключения продувочных рукавов [9];

выполнить в эргономичном исполнении конструкцию кожухов, ограждающих продувочные вентили и клапаны быстрого затопления [9];

увеличить проходное сечение аппендиксов с целью обеспечения эффективного стравливания через них расширяющегося при всплытии ССП воздуха [9].

В соответствии с решением № 235/1/1/7892 от 19 июля 2021 г., утвержденным начальником Управления (по обеспечению государственного оборонного заказа (далее – ГОЗ) кораблей и морского вооружения) Департамента Министерства обороны Российской Федерации по обеспечению ГОЗ и генеральным директором АО «КАМПО», в августе 2021 года на базе войсковой части 64994 (г. Севастополь) прошли типовые испытания модернизированного стального судоподъемного понтона ССП пр. 528 (рисунки 6 и 7).

Рисунок 6 – Сборка ССП пр. 528

Рисунок 7 – Спуск на воду понтона ССП пр. 528

Программа испытаний ССП-200 пр. 528 предусматривала проверку систем продувки и затопления, общей герметичности, герметичности отсеков и воздушного ящика. Также была проверена работоспособность нового стропоукорачивающего устройства [10].

Типовые испытания показали высокую надежность и качество модернизированных систем. Благодаря модернизированной конструкции понтона ССП-200 пр. 528 удалось повысить эффективность понтонов за счет расширения возможностей их использования при поддержании на плаву, уменьшении осадки и подъеме затонувших объектов.

Выводы:

Находящийся на снабжении подразделений УПАСР флотов понтонный парк практически весь выслужил установленные сроки, а большая часть ССП находится в эксплуатации уже 2-3 срока и требует среднего или капитального ремонтов, при этом ССП конструктивно и физически устарели.

ССП остаются основными техническими средствами, с помощью которых обеспечивается подъем затонувших объектов ВМФ. Это обосновывает необходимость

модернизации существующего понтонного парка с учетом изменившихся требований к техническим характеристикам ССП.

Судоподъемный понтонный парк, созданный на основе модернизированных ССП способен повысить эффективность судоподъемных работ за счет расширения их возможностей.

Типовые испытания показали высокую эффективность и возможность строительства понтонов данной серии.

В соответствии с заключенным государственным контрактом планируется строительство трех модернизированных понтонов. В дальнейшем планируется обновление всего понтонного парка Военно-Морского Флота России, который включает в себя 50 понтонов ССП-200 проекта 528.

Список литературы

1. Законопроект от 26 октября 2021 г. № 1219892-7 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – URL: http://www.consultant.ru (дата обращения 15.05.2022).

2. Отчет о подъеме большого противолодочного корабля «Очаков». СПб – Ломоносов: НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2014. – 302 с.

3. Шайхутдинов Д.Г., Краморенко А.В., Асминин В.В. Экстренный подъем списанной подводной лодки Б-380 // Информационный сборник СПАСР ВМФ. – 2020. – № 32 (68) – С. 196–219.

4. Краморенко А.В. Пути модернизации стальных судоподъемных понтонов // Научно-технический сборник НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия». – 2019. – № 36 – С. 21–35.

5. Судоподъемный понтон. Патент Российской Федерации № 2675955 от 25.12.18.

6. Способ закрепления судоподъемного понтона к корпусу затонувшего судна. Патент Российской Федерации на изобретение № 2679378 от 07.02.19.

7. Судоподъемный понтон. Патент Российской Федерации на полезную модель № 179385 от 11.05.18.

8. Устройство для укорачивания подъёмных стропов судоподъемного понтона. Патент Российской Федерации на изобретение № 2706676 от 19.11.2019.

9. Судоподъемный понтон. Патент Российской Федерации на полезную модель № 2707475 от 26.11.19.

10. Программа и методики типовых испытаний судоподъемного понтона подъемной силой 200 тс проекта 528 №528.360285.002ПМ – г. Орехово-Зуево: АО «КАМПО», 2021. – 18 с.

УДК 664: 641/642

Создание мобильных средств управления инженерно-аэродромным обеспечением Военно-воздушных сил

Creation of mobilecontrols for engineering and airfield support of the AirForce

Дубков Я.В., кандидат технических наук, начальник отдела НИИ (ВСИ МТО ВС РФ);
Чешина В.В., кандидат экономических наук, старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ)

Аннотация: В статье рассмотрены перспективы создания мобильных средств управления инженерно-аэродромным обеспечением Военно-воздушных сил, обоснованы состав, функции, эксплуатационные, технологических и другие характеристики для создания опытного образца комплекса удаленного управления в системе материально-технического обеспечения.

Ключевые слова: эксплуатационное содержание аэродрома, разрушение покрытия, метеоусловия, характер повреждений, объем разрушения, восстановительные материалы, работоспособность.

Abstract: The article considers the prospects for creating mobile controls for the engineering and airfield support of the Air Force, substantiates the composition, functions, operational, technological and other characteristics for creating a prototype of a remote control complex in the logistics system.

Key words: operational maintenance of the airfield, destruction of the coating, weather conditions, nature of damage, volume of destruction, recovery materials, operability.

Анализ состояния и перспектив развития системы материально-технического обеспечения (МТО) Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ) показал важность совершенствования способов и технических средств инженерно-аэродромного обеспечения Воздушно-космических сил (ВКС) [1,2].

Научные исследования в области проблем строительства и восстановления разрушенных аэродромов или их элементов, эксплуатационного содержания и текущего ремонта аэродромов в своем большинстве проводятся по двум направлениям:

1-е направление - разработка новых материалов для скоростного восстановления;

2-е направление - разработка новых образцов технических средств для диагностики состояния аэродромных покрытий.

Например, применительно к материалам для скоростного восстановления аэродромов и его элементов проводятся исследования, направленные на поиск оптимальных решений при применении бетонов со специальными свойствами (устойчивость при комбинированном огневом и ударно-волновом воздействии) [3].

Опыт применения подразделений инженерно-аэродромной службы, полученный не только в нашей стране, но и за рубежом свидетельствует о том, что порядок и объем работ при восстановлении аэродромных покрытий, а также выбор применяемых восстановительных материалов во многом зависят от характера их разрушения. Известно, что основными причинами разрушения покрытия элементов военного аэродрома может быть бомбометание с воздуха, подрыв заглубленных фугасов и авиабомб, подрыв накладных обычных или кумулятивных зарядов, образования камуфлетных полостей под покрытием и т. д. [4].

Последствиями подрывания может быть полное разрушение капитального аэродромного или дорожного покрытия, их вспучивание либо взаимное смещение элементов покрытия по краям воронок с образованием трещин. Характер повреждения плит зависит от веса заряда и места взрыва относительно швов покрытия, а также от размеров плиты.

Изучение практики восстановительных работ на аэродромах и результаты моделирования, проведённого учеными НИИ (военно-системных исследований МТО ВС РФ) с использованием разработанной прикладной программы для ЭВМ «Программа для расчета объемов восстановительных работ на взлетно-посадочных полосах», позволили сделать имеющие как теоретическое, так и практическое значение для специалистов выводы о направлениях развития способов инженерно-аэродромного обеспечения.

Так, установлено, что в зависимости от местоположения центра взрыва (ближе к центру плиты или к точке пересечения швов между плитами), а также от размера плит и веса заряда площадь покрытия, подлежащего восстановлению, больше площади покрытия, уничтоженного при взрыве, в среднем в 1,5—3,5 раза. Практической значимостью полученных зависимостей является возможность их применения при определении потребности в восстановительных материалах, времени выполнения восстановительных работ и состава восстановительных команд из числа инженерно-аэродромных подразделений.

Указанное выше в достаточной степени коррелирует с разработкой новых образцов технических средств для диагностики состояния аэродромных покрытий. Такие технические средства широко применяются как в гражданской, так и в государственной авиации и позволяют оценить состояние поверхности взлетно-посадочной полосы (ВПП) на предмет её соответствия требованиям по обеспечению торможения самолета с учетом типа загрязнения полосы, его глубины и площади. В частности, на аэродромах гражданской авиации нашли применение системы, мгновенно регистрирующие любое изменение состояния поверхности без необходимости нахождения людей на ВПП и длительных измерений вручную. В то же время для измерения коэффициента сцепления на ВПП применяются и технические средства периодического использования, такие как аэродромные тормозные тележки АТТ-2/2М, ИКС-1, АТТ-ВПП и другие. Оценка состояния поверхности производится на протяжении всей длины ВПП по обеим сторонам от оси на расстоянии 3-10 м.

Установленная тенденция к снижению степени участия людей при решении задач инженерно-аэродромного обеспечения в общем случае, и оценки состояния ВПП в частности, послужила основой для научного поиска в решении этого вопроса в Военно-воздушных силах ВКС России.

Проведенное авторами исследование позволило установить, что в настоящее время не существует технических средств специального назначения, которые могут использоваться в Военно-воздушных силах ВКС для дистанционного обследования состояния ВПП или других элементов летного поля аэродрома после воздействия по ним противника. Поэтому возникла идея разработки мобильного комплекса удаленного управления инженерно-аэродромным обеспечением Военно-воздушных сил.

Изучение различных источников научной информации позволило определить, что под мобильным комплексом мониторинга наземной поверхности и воздушного пространства понимается совокупность совместно функционирующих технических изделий, устройств, датчиков, средств связи, вычислительных и программных средств, средств управления и индикации, предназначенных для получения информации об объектах, объединения поступающей информации от датчиков и отображения результирующей информации. Также установлено, что для разработки и производства мобильных комплексов мониторинга наземной поверхности и воздушного пространства, как и любой другой специальной техники, необходимо наличие общих требований к данному техническому изделию [5-11].

Мобильный комплекс мониторинга воздушного пространства и наземной поверхности может применяется в качестве быстро разворачиваемого вспомогательного средства наблюдения, который позволяет вести мониторинг и контроль за большими открытыми пространствами, объектами, находящимися на значительном удалении, а также контролировать обстановку в дневное и ночное время, в условиях отсутствия освещения и в широком диапазоне погодных условий [12].

Таким образом, при тесном взаимодействии с научным центром (филиалом) Российской академии ракетных и артиллерийских наук (РАРАН) «Инновации в материально-

техническом обеспечении войск (сил)» и с научно-производственным предприятием оборонно-промышленного комплекса (ОПК) – ассоциированным членом РАРАН АО «Опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» было принято решение о создании «Мобильного комплекса удаленного управления инженерно-аэродромным обеспечением» (далее - МКУУ ИАэО) для применения на аэродромах ВКС, государственной, гражданской и экспериментальной авиации, в целях повышения эффективности функционирования системы авиационной безопасности при подготовке и входе обеспечения полетов [12].

МКУУ ИАэО предназначен для мониторинга окружающего пространства (наземного, воздушного) аэродромов, других участков местности, автомобильных дорог, с выполнением в режиме реального времени фото-видео фиксации, а также проведением необходимых вычислений при выполнении задач ИАэО при подготовке и входе полетов. Также он может применяться в составе беспилотных авиационных военно-транспортных комплексов при доставке материальных средств для скоростного восстановления ВВП, аэродромных участков дорог (АУД) и аэродромной инфраструктуры [12].

МКУУ ИАэО должен быть исполнен в мобильном варианте и в своем составе иметь [12]:

- мобильную **портативную станцию контроля и управления (МПСКУ)**;
- беспилотный летательный аппарат (квадрокоптер);
- «Умный шлем» – до 20 к-тов.

МПСКУ должна представлять из себя защищенный компьютер с мониторами в транспортном кейсе, защищенной клавиатурой, оснащенной джойстиками для управления квадрокоптером или (иным управлением), с интегрированным программным обеспечением, штатной внутренней аккумуляторной батареей, зарядным устройством для подключения к внешним источникам питания.

Эскиз МКУУ ИАэО представлен на рисунке 1 [12].

Рисунок 1 – Эскиз МКУУ ИАэО

МПСКУ предназначена для проведения:

- предполетной подготовки квадрокоптера;
- подготовки программ полета квадрокоптера;
- управления и контроля за квадрокоптером при выполнении полета;
- сбора (регистрации, измерения), воспроизведения, обработки, анализа, хранения, накопления информации.

Функции МПСКУ приведены в таблице 1 [12].

Таблица 1 – Функции МПСКУ

№ п/п	Наименование функции	Описание функции
1	Обмен информацией	Обеспечение обмена телеметрической информацией в реальном времени между квадрокоптером и системой «Умный шлем»
2	Управление полезной нагрузкой	Информирование оператора о полезной нагрузке с отображением ее вида

3	Работа с массивом информации	Прием, отображение, запись, хранение и воспроизведение информации от полезной нагрузки на экранах мониторов в реальном времени
4	Управление режимами полета	Выбор режима полета с возможностью установить очередность смены режимов
5	Контроль состояния системы	Контроль технического состояния квадрокоптера и системы «Умный шлем»
6	Управление выполнением полетной задачи	Формирование полетной задачи с отображением информации о ее выполнении

Квадрокоптер **должен** представлять из себя беспилотный летательный аппарат вертолетного типа в исполнении хищной птицы. Иметь жесткую раму, микропроцессорный контроллер (полетный контроллер), двигатели, 4 несущих винта двигателей на одной платформе, регуляторы скорости, приемника и передатчика радиосигнала. Иметь целевую нагрузку, предназначенную для решения определённых задач ИАэО полетов, а также транспортного кейса для переноски. Вариант представлен на рисунке 2 [12].

Рисунок 2 – Эскиз транспортного кейса и квадрокоптера в форме птицы

Квадрокоптер **должен иметь** функции, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Функции квадрокоптера

№ п/п	Наименование функции	Описание функции
1	Автовзлет	Набор высоты до необходимого значения осуществляется самостоятельно
2	Автопосадка (возврат домой)	Квадрокоптер приземляется на месте старта даже если потеряна связь с **МПСКУ,** в том числе по причине разряда аккумулятора
3	Удержание	Квадрокоптер способен зависать в одной точке на определенной оператором высоте для получения качественной фото-видео фиксаций объектов
4	Траектория	Полет по заданным координатам (по маршруту)
5	Круг	Квадрокоптер облетает объект по кругу заданного диаметра в заданном направлении и возвращается на место старта
6	Ракета	Квадрокоптер стремительно поднимается вертикально с направленной вниз камерой
7	Спираль	Квадрокоптер поднимется над объектом и движется будет вокруг него по спирали
8	Следуй за мной	Квадрокоптер отслеживает координаты **МПСКУ** или держит в фокусе своей камеры движущийся объект и летит вслед за ним. В этом режиме он держится на определенном расстоянии от объекта съемки, и может

		вести его запись
9	План	Квадрокоптер обеспечивает режим плавной съемки без рывков
10	Контакт	Квадрокоптер самостоятельно определяет маршрут полета, облетая на пути все препятствия
11	Рамка	Фото-видеокамера квадрокоптера удерживает в кадре объект, обведенный оператором в рамку.

В результате реализации указанных выше функций квадрокоптер должен обеспечивать [12]:

- фото-видео фиксацию состояния элементов летного поля (маркировку, целостность покрытия ИВПП, ГВПП, МРД, РД, мест стоянок ВС, светосигнального оборудования, внутриаэродромных дорог, а также обнаружение и распознавание посторонних предметов);
- контроль хода проведения восстановительных работ, количества работающих специалистов, спецавтотехники по скоростному восстановлению элементов летного поля, а также мест их сосредоточения;
- слежку, сопровождение и фиксацию объектов несанкционированного проникновения (человек, животное, транспорт) на контролируемую территорию;
- контроль состояния инженерных заграждений по периметру аэродромной инфраструктуры;
- звуковое отпугивание одиночных и стай птиц в воздухе и на поверхности летного поля аэродрома;
- проведение фотофиксации объектов, подвергшихся разрушению с определением их параметров и размеров для определения на **МПСКУ** расчетов потребности необходимых материалов для скоростного восстановления аэродромной инфраструктуры и др.

Комплект «Умный шлем» **должен** представлять из себя боевую экипировку в качестве средства защиты военнослужащего, систему связи, обработки и отображения информации. Вариант представлен на рисунке 3 [12].

В комплекте «Умный шлем» предлагается иметь: транспортный кейс – 1 шт.; шлем защитный (типа 6Б47) – 1 шт.; гарнитура связи – 1 шт.; тактические очки-маска дополненной реальности – 1 шт.

Рисунок 3 – Эскиз комплекта «Умный шлем»

Комплект «Умный шлем» должен обеспечивать не только защитные функции военнослужащего, но и связь, визуализацию процессов, связанных с управлением и обменом фото-видео информацией в реальном времени между оператором МПСКУ и квадрокоптером.

Схема взаимодействия элементов МКУУ ИАэО при подготовке и входе обеспечения полетов авиации представлена на рисунке 4 [12].

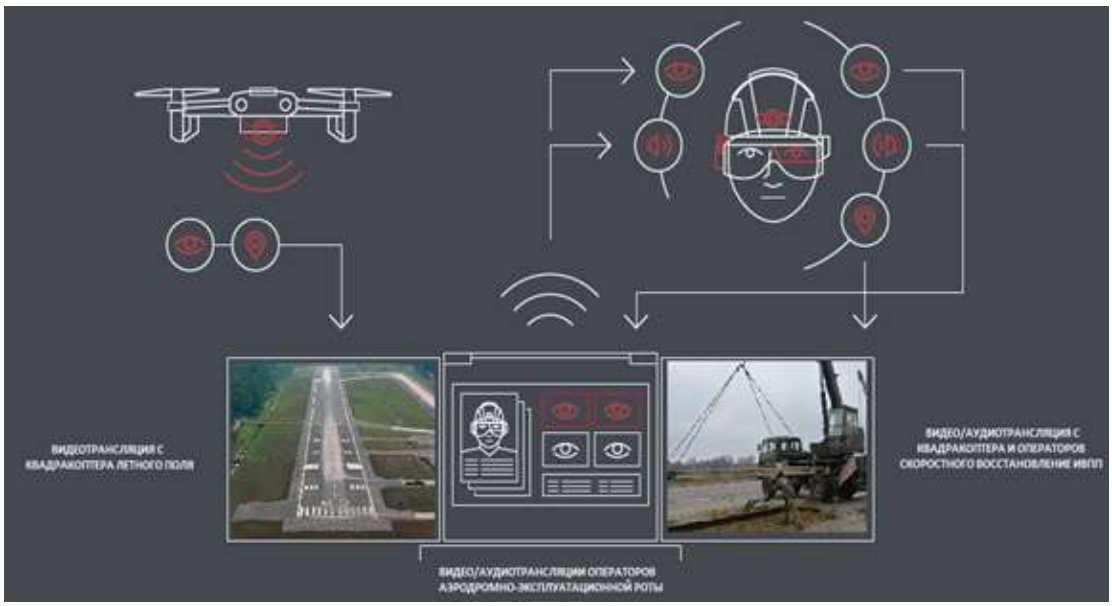


Рисунок 4 – Эскиз схемы взаимодействия элементов МКУУ ИАэО

В связи с этим при проектировании необходимо предъявлять особые требования к определению тактических показателей и параметров исполнения МКУУ ИАэО (таблица 3) [12].

Таблица 3 – Тактические показатели и параметры исполнения МКУУ ИАэО

№ п/п	Показатели к изделию	Параметр исполнения
1	2	3
1	Климатическое исполнение	УХЛ 1
2	Интервал температур	-35°С +50°С
3	Относительная влажность	0%…95%
4	Скрытность и маскировка	окраска, маскирующая для климатического региона применения
5	Время приведения изделия из походного положения в рабочее	не более 30 мин.
6	Время приведения изделия из рабочего положения в походное	не более 30 мин.
7	Группа условий хранения	Л
8	Группа условий транспортирования	Ж
9	Обслуживающий расчет	2 чел.

Таким образом, рассмотренные в статье тактические требования, предъявляемые к инновационному техническому средству МКУУ ИАэО при эксплуатации должны обеспечить:

- выполнение рабочих операций во всех климатических регионах (при заданных параметрах температуры);
- выполнение задач с вероятностью не менее 0,9 за установленное время применения по назначению;
- совместимость элементов с устройствами взаимодействующих с МКУУ ИАэО;
- сохранение работоспособности в процессе и после воздействия внешних факторов окружающей среды.

Выполненная в ходе научно-исследовательской работы и специальных учений оценка эффективности применения экспериментального образца МКУУ ИАэО производства АО «ОКБ «Электроавтоматика» показала возможность повышения военно-экономической эффективности инженерно-аэродромного обеспечения на 17 - 34% [12].

Список литературы

1. Булгаков Д.В. Современное состояние и перспективы развития системы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации // Материально-техническое обеспечение Вооруженных Сил Российской Федерации. 2020. № 1. С. 4-12.

2. Топоров А.В., Бабенков В.И. Обоснование способов формирования перспективной системы материально-технического обеспечения войск (сил). Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2019. № 1 (17). С. 7-10

3. Леденев А.А., Перов Н.С. и др. «Применение материалов со специальными свойствами, для строительства, реконструкции, и восстановления объектов инфраструктуры военных аэродромов», Журнал «Воздушно-космические силы. Теория и практика. №13, 2020 г. С. 107.

4. Электронный ресурс. URL: http://ctcmetar.ru/vosstanovlenie/140-vosstanovlenie-asfaltobetonnyh-betonnyh-i-zhelezobetonnyh-sbornyh-i-monolitnyh-kapitalnyh-pokrytiy-postoyannyh-aerodromov-dorog-i-ploschadok.html.

5. ГОСТ В 20.39.308-76 Комплексная система общих технических требований. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Общие технические требования, методы контроля и испытаний. Конструктивно-технические требования.

6. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения.

7. ГОСТ 27.410-1987 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности.

8. ГОСТ 9.014-1978 Единая система защиты от коррозии и старения. Общие требования.

9. ГОСТ В 25674-83 Аппаратура радиоэлектронная и техника связи военные. Общие требования к временной противокоррозионной защите и хранению.

10. ГОСТ В 9.001-72 Единая система защиты от коррозии и старения. Военная техника. Упаковка для транспортирования и хранения. Общие требования.

11. Федеральные авиационные правила «Нормы годности к эксплуатации аэродромов государственной авиации» (НГЭАГосА-2006): приказ Министра обороны РФ № 455 дсп. – Москва, 2006 г.

12. Научно-исследовательская работа «ОСА». – М.: РАРАН, 2021.

УДК 664: 641/642

Научное обоснование характеристик перспективных технических средств продовольственной службы для жизнеобеспечения воинских подразделений в полевых условиях

Scientific substantiation of the characteristics of promising technical means of food service for life support of military units in the fieldx

Чешина В.В., кандидат экономических наук, старший научный сотрудник НИИ (ВСИ МТО ВС РФ)

Аннотация: В статье рассмотрены основные направления повышения тактико-технических характеристик перспективных технических средств продовольственной службы для жизнеобеспечения воинских подразделений в сложных природно-климатических условиях. Предложены направления модернизации теплового оборудования для повышения качества приготовления пищи и эффективности организации питания военнослужащих в полевых условиях.

Ключевые слова: технические средства, воинские подразделения, продовольственная служба, организации питания, жизнеобеспечение войск, полевые природно-климатические условия.

Abstract: The article deals with the main directions of increasing the tactical and technical characteristics of promising technical means of food service for the life support of military units in difficult natural and climatic conditions. field conditions.

Key words: technical means, military units, food service, catering, life support of troops, field natural and climaticconditions.

Суровые природно-климатические условия существенно затрудняют организацию питания военнослужащих, особенно в зимнее время, что вызывает необходимость проведения специальных исследований направлении повышения тактико-технических характеристик и создания перспективных образцов технических средств служб материально-технического обеспечения (МТО) для жизнеобеспечения воинских подразделений в полевых условиях На примере технических средств продовольственной службы (ТСПС) рассмотрим основные направления совершенствования их тактико-технических характеристик (ТТХ) для адаптации к сложным природно-климатическим условиям [1-5].

Известно, что технологии обработки продуктов требуют применения универсальных аппаратов, позволяющих осуществлять полную гамму технологических операций по приготовлению пищи в условиях низких температур: варку, жарку, припускание, пассерование, тушение, запекание, выпечку и другие [6].

Наиболее универсальным, доступным и сравнительно экономичным в сложных природно-климатических условиях видом энергоносителя для технических средств и технологического оборудования приготовления пищи является дизельное топливо (ДТ). Применение его для огневого обогрева в аппаратах вместо электрической энергии позволяет не только дать многократную экономию энергоресурсов, но и значительно повысить надежность работы технических средств приготовления и транспортирования пищи в полевых условиях [2,7].

В тоже время, ТСПС для тепловой кулинарной обработки пищевых продуктов, использующие жидкое топливо, при своей простоте конструкции и относительной дешевизне, имеют слишком низкий коэффициент полезного действия.

Химическая реакция горения на морозе из-за недостаточно качественного испарения дизельного топлива идет медленно и форсунки дымят, демаскируя объект на открытой

местности, особенно во время розжига. Из-за неполного сгорания топлива на пищеварочных котлах происходит отложение сажи, препятствующее быстрому закипанию воды и увеличивающему нормативные сроки приготовления пищи. Этот недостаток традиционных топок усиливается непригодной в условиях сильных ветров воздушной теплоизоляцией некоторых тепловых блоков полевых кухонь.

До сих пор эффективность тепловых аппаратов повышалась за счет применения форсунок с явно увеличенным расходом жидкого топлива при сверхнормативном коэффициенте избытка воздуха (чтобы не дымила), что заведомо увеличивало и объем сильно охлажденных отходящих токсичных газов. Поэтому расход дизельного топлива для приготовления пищи, независимо от конструкции технических средств, устанавливается в размере 39 кг на каждые 100 питающихся человек в течение суток, т.е. с существенным запасом [8].

Потребителями ДТ являются ТСПС (таблица 1), тепловые блоки которых требуют совершенствования для эксплуатации в сложных природно-климатических условиях, в части устройств для сжигания жидкого топлива, изменения качества теплоизоляции газоходов и перераспределения горячих дымовых газов под пищеварочными котлами [2,3,4].

В ряде исследований обращено особое внимание на совершенствование форсунок, от качества которых зависит расход топлива и продолжительность приготовления пищи, трудозатраты на обслуживание технических средств, их надежность и мобильность [3,9].

Потребность в технических средствах хлебопечения составляет: ПМХ - из расчета на каждые 4000 чел., ПХБ-1 из расчета на 1000 чел. (при отсутствии ПМХ), ПХБ-0,4 -1 на батальон (при отсутствии ПМХ) (таблица 1).

Таблица 1 – Потребность воинских подразделений в технических средствах продовольственной службы [3]

Наименование	Подразделения численностью до:						*мсб*
	10	*20*	*30*	*50*	*100*	*200*	
ПАК-200м с ОАР						1	1 на роту
КП-130-11						1	1на батальон
КО-75м				1			
ПП-40							1на батальон
КП-20 (МК-30)		1	1	1	1	3	3 на батальон
КН-10	1			1	1	3	
ОМ-12					1	1	1 на роту

Таким образом, исследуя состояние, возможности, способы использования и штатное предназначение ТСПС, можно сделать вывод, что сократить потребность в ДТ можно лишь используя модернизированные тепловые блоки с форсунками повышенной эффективности [6,7,10,11].

При этом их применение позволит повысить основные ТТХ технических средств, применяемых в сложных природно-климатических условиях, которые включают [6-8]:

- высокую мобильность и возможность размещения на однотипных шасси высокой проходимости;
- максимальную автономность;
- многофункциональность и комплектность;
- модульность, что даёт возможность комплектования требуемого комплекса для любого звена;

- достаточную защищенность от климатических условий и средств разведки;

- производственную технологичность и компактность базы.

В результате проведенного анализа установлено, что при создании арктических ТСПС в техническое задание должны быть включены тактико-технические требования к тепловым блокам по следующим параметрам:

- защищенность от атмосферных воздействий, от воздействия факторов ОМП, обеспечение скрытности и маскировки;

- обеспечение удобства работы личного состава, высокой производительности труда, максимальной безопасности работы, оптимальных санитарных требований и эргономических свойств;

- конструктивная надёжность и долговечность в эксплуатации;

- обеспечение длительного хранения;

- высокие теплотехнические характеристики теплового оборудования;

- ремонтопригодность и восстанавливаемость после эксплуатационных и боевых повреждений;

- универсальность с возможностью придания как подразделениям, частям, соединениям и объединениям Вооружённых Сил, так и любым специальным подразделениям и группам, решающим специальные и автономные задачи в сложных природно-климатических условиях;

- конструктивные решения теплового, механического и технологического оборудования, применяемые материалы и комплектующие должны соответствовать современному техническому уровню и на перспективу не менее 15 – 20 лет;

Поэтому требуется дальнейшее совершенствование жидко-топливного оборудования для ТСПС, предназначенных для жизнеобеспечения воинских подразделений в сложных природно-климатических условиях в направлении повышения эксплуатационных характеристик (энергетических, маскировочных и надежностных).

Кроме того, гидродинамическое несовершенство формы и поверхности пищеварочных котлов также ведет к увеличению времени закипания и приготовления пищи, что является существенным недостатком технических средств приготовления и транспортирования пищи в полевых условиях. Высокая температура в топке и недопустимо низкая температура дымовых газов в конце обратного газохода ведет к неоправданным энергетическим потерям.

В качестве перспективного технического решения для устранения указанных недостатков авторами предложено использование жидкотопливного нагрева и конструирования топочных камер с форсунками голубого пламени, а также пищеварочных котлов с жаропрочным керамическим покрытием в районе днища [9,11-13].

Таким образом, разработка перспективных тепловых блоков и горелочных устройств, а также специальных методик, позволяющих определять оптимальные параметры технологического оборудования ТСПС, позволит существенно повысить качество организации питания и эффективность жизнеобеспечения военнослужащих в полевых условиях.

Список литературы

1. Афанасьев М.В., Бабенков В.И., Вологдин Р.О. Анализ факторов развития системы материально-технического обеспечения МЧС России в Арктической зоне. Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2017. № 3 (11). С. 9-22.

2. Бабенков В.И., Платонов В.Е. Проблемные вопросы военной логистики при завозе материально-технических средств подразделениям пограничных органов, дислоцируемым в районах Крайнего севера. Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2018. № 4 (48). С. 184-188.

3. Бабенков В.И., Романчиков С.А. Направления повышения эксплуатационно-технических характеристик технических средств материально- технического обеспечения

воинских подразделений в Арктической зоне. - Вольск.: ВВИМО, Научный вестник ВВИМО, №3(51), 2019. С.16-20.

4. Топоров А.В., Бабенков В.И., Баранов А.В. Анализ факторов и задач материального обеспечения группировки войск (сил) в специальной операции. Научный вестник Вольского военного института материального обеспечения: военно-научный журнал. 2019. № 1 (49). С. 5-11.

5. Топоров А.В., Бабенков В.И., Богданов Д.Ю. Оценка влияния эффективности материально-технического обеспечения на боеспособность войск (сил): методологический подход. Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В.Хрулева. 2018. № 3 (15). С. 7-16.

6. Скороход Е.К., Камбаров А.О., Гурьев В.А., Щербина А.А. Горелочное устройство. А.С. 4833513/06 - Бюл. изобр. 1992, № 25.

7. Осколков С.К., Разработка автономных жидкотопливных горелочных устройств для теплового оборудования специализированных мясных цехов. - М., ВНИИМП -2007.-№5.-С.37 – 38.

8. Антуфьев В.Т., Амосова М.А., Громцев С.А. Методы вепольного повышения эффективности тепловых аппаратов пищевой промышленности // Вестник Международной академии холода 2010, №4.

9. Антуфьев В.Т., Романчиков С.А., Заньков П.Н. Способ повышения КПД теплового блока полевой кухни. Патент на полезную модель 2636832 RU 0№ 2016106523/20 от 28.11.2017.

10. Зеленковский В.В., Каптюх А.Н., Бабенков В.И. Критериальный подход к оценке эффективности технологических процессов и операций производства модулей жизнеобеспечения лётно-технического состава Военно-воздушных сил. Научные проблемы материально-технического обеспечения Вооруженных Сил Российской Федерации. 2018. № 1 (7). С. 15-21.

11. Романчиков С.А. Методика оценки возможностей полевых технических средств и технологического оборудования продовольственной службы. Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 5-3 (59). С. 103-107.

12. Назметдинов И.М., Квашнин Б.С., Романчиков С.А., Бабенков В.И., Бакеев М.М. Консоль-пантограф для заправки техники в Арктической зоне. Патент на полезную модель RUS 158097 от 08.06.2015.

13. Романчиков С.А., Безруков А.Е., Николюк О.И., Фадеев М.В., Востряков И.В., Бабенков В.И. Устройство для нагрева воды. Патент на полезную модель RUS 175322 27 от 12.2016.