

## Олимпиада школьников «Шаг в будущее»

по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)»

Олимпиаду школьников «Шаг в будущее» по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)» проводил Московский государственный технический университет им.Н.Э.Баумана: научно-образовательное соревнование (19-22 марта 2012 года) и академическое соревнование (18 марта 2012 года).

### Научно-образовательное соревнование (заключительный этап)

Олимпиада проводилась в два тура:

1 тур – защита научно-исследовательских работ на научных секциях;

2 тур – решение профилированных заданий по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)»

### **ПРОГРАММА ПРОВЕДЕНИЯ**

**второго (заключительного) этапа научно-образовательного соревнования  
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»**

*Россия, Москва, 19 марта - 22 марта 2012 г.*

<b>19 марта 2012 г.</b>	<b>(понедельник)</b>	
10.00-10.30 10.30 – 18.00	Регистрация участников научного соревнования на секциях. Работа научных секций. Участники олимпиады выступают с научно-исследовательскими проектами.	<i>по расписанию работы секций</i>
13.00 – 18.00	Установка и отладка работ на Выставку-конкурс программных разработок.	<i>ауд.345 (ГУК)</i>
<b>20 марта 2012 г.</b>	<b>(вторник)</b>	
10.00-10.30 10.30 – 16.00	Регистрация участников научного соревнования на секциях. Работа научных секций. Участники олимпиады выступают с научно-исследовательскими проектами.	<i>по расписанию работы секций</i>
10.00 – 17.00	Открытие и работа Выставки-конкурса программных разработок	<i>ауд.345 (ГУК)</i>
<b>21 марта 2011 г.</b>	<b>(среда)</b>	
12.00 – 13.00	Выдача удостоверения участника второго тура Олимпиады	<i>фойе Большого Зала Дворца культуры (УЛК)</i>
13.00 – 14.00	Торжественное заседание, посвященное 15-летию научно-исследовательской конференции молодых ученых «Шаг в будущее, Москва»	<i>Большой Зал Дворца культуры (УЛК)</i>

14.00 – 15.00	Объявление результатов первого тура научно-образовательного соревнования. Вручение дипломов «за лучшую научную работу».	
<b>22 марта 2012 г.</b>	<b>(четверг)</b>	
15.00 – 19.00	Академическое соревнование (решение профилированных заданий) по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)»	<i>По расписанию</i>

#### Расписание работы секций

Название секций / подсекций	Время проведения	Место проведения
<b>Секция I. Машиностроительные технологии</b>		
<b>Подсекция 1. Металлорежущие станки (MT-1)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	лаборатория кафедры MT-1, ауд.114 (ГУК)
<b>Подсекция 2. Инструментальная техника и технологии (MT-2)</b>	<b>19 марта 14.00</b>	инструментальный кабинет кафедры MT-2 (ГУК)
<i>Подсекция 3. Технология машиностроения (MT-3)</i>	<b>20 марта 11.00</b>	кафедра MT-3, ауд. 299А (ГУК)
<b>Подсекция 4. Метрология и взаимозаменяемость (MT-4)</b>	<b>20 марта 10.00</b>	лаборатория кафедры MT-4 (корпус MT)
<i>Подсекция 5. Литейные технологии (MT-5)</i>	<b>19 марта 14.00</b>	ауд. 20 кафедры MT-5 (здание кафедры MT-5)
<b>Подсекция 6. Технологии обработки давлением, промышленный дизайн (MT-6, MT-9)</b>	<b>20 марта 12.00</b>	лаборатория кафедры MT-6 (корпус обработки давлением)
<b>Подсекция 7. Технологии сварки и диагностики (MT-7)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	зал контактно-дуговой сварки кафедры MT-7 (здание кафедры MT-7)
<b>Подсекция 8. Материаловедение (MT-8)</b>	<b>20 марта 11.00</b>	ауд. 15 кафедры MT-8 (ГУК)
<b>Подсекция 9. Оборудование и технологии прокатки (MT-10)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	конференц-зал кафедры MT-10 (ГУК)
<b>Подсекция 10. Электронные технологии (MT-11)</b>	<b>20 марта 10.00</b>	конференц-зал кафедры MT-11 (корпус MT)
<b>Подсекция 11. Лазерные технологии в машиностроении (MT-12)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	кафедра MT-12 (ГУК)
<b>Подсекция 12. Реновационные технологии в машиностроении (MT-13)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	лаборатория кафедры MT-13 (корпус MT)
<b>Секция II. Информатика и системы управления</b>		
<b>Подсекция 1. Интеллектуальные системы управления (ИУ-1)</b>	<b>19 марта 9.00</b>	ауд. 507, 413ю (ГУК)
<b>Подсекция 2. Приборы ориентации, стабилизации и навигации (ИУ-2)</b>	<b>19 марта 12.00</b>	кафедра ИУ-2 (10 этаж, ГУК)

Название секций / подсекций	Время проведения	Место проведения
Подсекция 3. Информационные системы и телекоммуникации (ИУ-3)	19 марта 11.00	кафедра ИУ-3, ауд. 511ю (5 этаж, южное крыло ГУК)
Подсекция 4. Научные технологии в проектировании и производстве электронно-вычислительных и телекоммуникационных систем (ИУ-4)	19 марта 14.00	кафедра ИУ-4, ауд. 275 (2 этаж, ГУК)
Подсекция 5. Системы обработки информации и управления (ИУ-5)	19 марта 12.00 20 марта 12.00	кафедра ИУ-5, ауд.903 (9 этаж, ГУК)
Подсекция 6. Компьютерные системы (ИУ-6)	19 марта 12.00 20 марта 12.00	кафедра ИУ-6 (8 этаж, ГУК)
Подсекция 7. Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии – Выставка-конкурс программных разработок (ИУ-7)	19 марта 13.00-18.00 Установка и отладка 20 марта 10.00 Работа Выставки	ауд. 345 (ГУК)
<b>Секция III. Системы безопасности</b>		
Подсекция 1. Информационная безопасность (ИУ-8)	19 марта 10.00 20 марта 10.00	Выставочный зал (ГУК)
Подсекция 2. Защита информации (ИУ-10)	19 марта 11.00 20 марта 11.00	кафедра ИУ-10, ауд. 404 (ГУК)
<b>Секция IV. Приборостроение</b>		
Приборостроительный факультет	19 марта 15.00	ул. Авиамоторная, д.55
<b>Секция V. Радио-опто-электроника</b>		
Подсекция 1. Оптико-электронные приборы и системы (РЛ-2, РЛ-3)	19 марта 12.00 (РЛ-2) 20 марта 12.00 (РЛ-3)	кафедра РЛ-2, ауд.263 (ГУК) кафедра РЛ-3, ауд. 244 (ГУК)
Подсекция 2. Радиоэлектроника (РЛ-1, РЛ-6)	19 марта 10.00 (РЛ-1) 20 марта 11.00 (РЛ-6)	ауд. 1146 (УЛК) кафедра РЛ-6, ауд. 277 (ГУК)
<b>Секция VI. Биомедицинская техника</b>		
Подсекция 1. Биомедицинские технические системы (БМТ-1)	19 марта 16.00	ауд. 424 (ГУК)
Подсекция 2. Медико-технические информационные технологии (БМТ-2)	19 марта 10.00 20 марта 10.00	ауд. 316 (ГУК)
<b>Секция VII. Специальное машиностроение</b>		
Подсекция 1. Машиностроение (СМ-6, СМ-9, СМ-10)	19 марта 13.30 (СМ-6) 19 марта 13.30 (СМ-9, СМ-10)	кафедра СМ-6, ауд. 408м (корпус СМ) учебный класс кафедры СМ-9 (ГУК)
Подсекция 2. Импульсные технологии в машиностроении (СМ-4)	19 марта 15.30 (СМ-4)	ауд. 203м, кафедра СМ-4 (корпус СМ)

Название секций / подсекций	Время проведения	Место проведения
<b>Секция VIII. Энергетика и экология</b>		
<b>Подсекция 1. Поршневые двигатели (Э-2)</b>	<b>19 марта 11.00</b>	ауд. 947л (УЛК)
<b>Подсекция 2. Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки (Э-3)</b>	<b>19 марта 15.30</b>	ауд. 748л (УЛК)
<b>Подсекция 3. Холодильная и криогенная техника систем кондиционирования и жизнеобеспечения (Э-4)</b>	<b>19 марта 10.00</b>	конференц-зал, каф. Э-4 (корпус Э)
<b>Подсекция 4. Вакуумная и компрессорная техника (Э-5)</b>	<b>19 марта 14.00</b>	Лаборатория каф. Э-5, к.8 (ГУК)
<b>Подсекция 5. Теплофизика (Э-6)</b>	<b>19 марта 13.30</b>	ауд. 550л (УЛК)
<b>Подсекция 6. Ядерные реакторы и установки (Э-7)</b>	<b>19 марта 14.00</b>	ауд. 621, кафедра Э-7 (корпус Э)
<b>Подсекция 7. Плазменные и энергетические установки (Э-8)</b>	<b>19 марта 15.00</b>	ауд. 649л кафедра Э-8 (УЛК)
<b>Подсекция 8. Промышленная экология (Э-9)</b>	<b>19 марта 14.00</b>	ауд. 603э, кафедра Э-9 (корпус Э)
<b>Подсекция 9. Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика (Э-10)</b>	<b>19 марта 16.00</b>	ауд. 294 кафедра Э-10 (ГУК)
<b>Секция IX. Автоматизация, робототехника и механика</b>		
	<b>19 марта 10.00 (РК-4) 20 марта 10.00 (РК-4) 19 марта 16.00 (РК-5) 20 марта 14.00 (РК-6) 19 марта 12.00 (РК-9) 19 марта 9.30 (РК-10)</b>	ауд.296а (ГУК)  кафедра РК-5, ауд.286 (ГУК) кафедра РК-6, ауд. 417 (ГУК) ауд.297-В (ГУК) УИЦ НУК РК (ГУК)
<b>Секция X. Инженерный бизнес и менеджмент</b>		
<b>Подсекция 1. Экономика и организация производства (ИБМ-2)</b>	<b>20 марта 10.00</b>	ауд. 511-ибм (корпус МТ)
<b>Подсекция 2. Промышленная логистика (ИБМ-3)</b>	<b>19 марта 9.00</b>	ауд. 404-ибм (корпус МТ)
<b>Подсекция 3. Менеджмент (ИБМ-4)</b>	<b>20 марта 12.00</b>	ауд. 401-ибм (корпус МТ)
<b>Подсекция 4. Финансы (ИБМ-5)</b>	<b>20 марта 10.00</b>	ауд. 409-ибм (корпус МТ)
<b>Подсекция 5. Предпринимательство и внешнеэкономическая деятельность (ИБМ-6)</b>	<b>20 марта 11.00</b>	ауд. 414-ибм (корпус МТ)
<b>Секция XI. Фундаментальные науки</b>		
Подсекция 1. Фундаментальная и прикладная математика (ФН-2)	<b>19 марта 10.30</b>	ауд. 1006л (УЛК)
Подсекция 2. Физика и познание мира (ФН-4)	<b>19 марта 10.00</b>	кафедра ФН-4, ауд. 400д (ГУК)
<b>Секция XII. Конструкторская</b>		
	<b>20 марта 9.30</b>	УИЦ НУК РК (ГУК)
<b>Секция XIII. Образовательно-реабилитационные технологии</b>		
	<b>19 марта 9.00</b>	конференц-зал (УЛК)

*Тур «Защита научно-исследовательских работ»*

Участники заключительного этапа олимпиады (победители и призеры первого отборочного этапа) проходили предварительный отбор по результатам рецензирования научно-исследовательских работ. Рецензирование работ проводится силами преподавателей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Бланк рецензии

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ**



**РЕЦЕНЗИЯ**

Название работы \_\_\_\_\_

Фамилия, имя, отчество автора \_\_\_\_\_

**А. Оценка работы**

Критерии	Оценочный балл	Max балл
Структура и оформление работы (качество оформления, содержание, ошибки, опечатки, выводы)		3
Логика изложения, оригинальность мышления, творческий подход		3
Используемые методы (причины использования данных методов: эффективность, точность, простота и т.п.)		3
Самостоятельность выполнения работы, собственные выводы автора		3
Предложения по практическому использованию результатов		3
<b>ИТОГО:</b>		<b>15</b>

**Б. Резюме рецензента**

Возникшие вопросы: \_\_\_\_\_

Замечания: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
Недостатки: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
*Фамилия И.О.* *ученая степень / должность рецензента*  
\_\_\_\_\_  
*подпись* *кафедра / научное подразделение*  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
*ВУЗ, организация*

Участники олимпиады защищают свои научно-исследовательские проекты перед высококвалифицированными членами экспертной комиссии в составе не менее пяти человек.

Ориентировочное время для доклада результатов работы – 10-15 минут. После доклада автор защищает свою работу, отвечая на вопросы экспертов и присутствующих. Секция может выделить дополнительное время для обсуждения доклада.

Оценка работы проводится экспертной комиссией секции в составе не менее пяти ученых и специалистов. Каждый из пяти экспертов выставляет оценку за защиту работы в Экспертную карту (max 35 баллов).

Бланк экспертной карты

**ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ**



\_\_\_\_\_

**ЭКСПЕРТНАЯ КАРТА**

*Фамилия, имя, отчество участника* \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

*Название работы* \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

*город / населенный пункт*

\_\_\_\_\_

*наименование учебного заведения*

\_\_\_\_\_

*класс* *выпускной*  
*ненужное*  
*зачеркнуть*  
*невыпускной*

**ДАННЫЕ ЭКСПЕРТИЗЫ РАБОТЫ**

**I. Проводится одним экспертом и оформляется на бланке рецензии.**

Ф.И.О. рецензента	ВУЗ/Организация/ Кафедра	Ученая степень	Должность	Рейтинг R <sub>p</sub> (max балл 15)	Подпись

**II. Проводится на заседании секций и оценивается экспертной комиссией из пяти экспертов.**

Ф.И.О. эксперта	ВУЗ/кафедра/ Организация	Ученая степень	Должность	Рейтинг R <sub>3</sub> (max балл эксперта 35)	Подпись
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
ИТОГО:				R <sub>3</sub> =	max балл 35

**ИТОГОВЫЙ РЕЙТИНГ УЧАСТНИКА:**

компоненты рейтинга

--	--

R<sub>p</sub>-рецензия (max 15)      R<sub>z</sub>-защита работы (max 35)

--

R<sub>u</sub>-итоговый рейтинг  
R<sub>u</sub>= R<sub>p</sub>+R<sub>z</sub> (max 50)

**Председатель экспертной комиссии секции**

\_\_\_\_\_

Фамилия И.О.

ученая степень / должность

\_\_\_\_\_

подпись

кафедра / научное подразделение

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

\_\_\_\_\_

ВУЗ, организация

**РЕКОМЕНДАЦИЯ для участия во втором – академическом туре научно-образовательного соревнования**

(заполняется только для участников - учащихся выпускных классов)

_____ фамилия, имя, отчество	<input style="width: 80%; height: 20px;" type="text"/>
_____ название секции	_____ индекс кафедры

**Заведующий кафедрой**

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
 Кафедра                      Фамилия И.О.                      Подпись                      Дата

Экспертная карта на каждого участника олимпиады подписывается заведующим кафедрой и председателями экспертной комиссии секции. По результатам защиты научно-исследовательского проекта участников рекомендуют для участия во втором - академическом туре (решение профилированных заданий по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)») научно-образовательного соревнования.

По суммарному баллу рецензирования работы, защиты научно-исследовательского проекта и решению профилированных заданий по комплексу предметов «Техника и технологии (предмет: физика)» научно-образовательного соревнования Олимпиады школьников «Шаг в будущее» определяются победители и призеры заключительного этапа (не более 35% от общего количества участников).

Для примера прилагаются лучшие научно-исследовательские проекты победителей и призеров Олимпиады школьников «Шаг в будущее».

ЛУЧШИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ПРОЕКТЫ  
ЛАУРЕАТОВ И ПРИЗЕРОВ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СОРЕВНОВАНИЯ  
ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»  
ПО КОМПЛЕКСУ ПРЕДМЕТОВ «ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (ФИЗИКА)»  
2011-2012 учебного года

Секция XII. Фундаментальные науки (прикладная математика и техническая физика)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СВЧ ДИОДОВ  
ГАННА

Автор: Савина Анастасия Сергеевна  
11 «В» класс ГОУ гимназии №1512  
г. Москвы

Научный руководитель: Скрипкин Алексей  
Владимирович, к.ф.-м.н., доцент кафедры ФН-4  
(«Физика») МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Оглавление**

Введение

Диоды Ганна – источники СВЧ колебаний

Общие положения

Принцип действия диодов Ганна

Шумы в электронных компонентах

Экспериментальное исследование шумовых характеристик диодов Ганна

Методика эксперимента

**Введение**

**Актуальность работы.** В последние годы получили широкое распространение различные технические устройства, использующие электромагнитное излучение микроволнового, или сверхвысокочастотного, диапазона. К ним



относятся многочисленные средства связи (мобильная и спутниковая связь, Wi-Fi, bluetooth и другие), нагревательные печи, средства сканирования объектов, радары и т.д. Этот факт связан, во-первых, с хорошей прозрачностью атмосферы в указанном диапазоне, во-вторых, относительно высокой мощностью источников СВЧ излучения, в-третьих, достаточно малым использованием данного диапазона в других (прежде всего, военных) целях.

Однако главной причиной, способствующей стремительному распространению СВЧ техники в последние два десятилетия, стало развитие соответствующей элементной базы, основанной на полупроводниковых материалах. Появились надежные, относительно дешевые, с отлаженным технологическим механизмом изготовления и эксплуатации элементы, используемые для генерации сверхвысокочастотных электрических колебаний, а также СВЧ транзисторы и диоды, излучатели и другие компоненты, которые стали широко использоваться в микроэлектронной технике.

К наиболее распространенным полупроводниковым элементам – генераторам СВЧ относят диоды Ганна, основанные на одноименном эффекте, и лавинно-пролетные диоды, действие которых обусловлено лавинным умножением носителей заряда. В настоящее время описание физических явлений, наблюдаемых при работе сверхвысокочастотных диодов, проведено достаточно полно в рамках квантовой теории твердого тела.

Однако разработанная теория диодов Ганна и лавинно-пролетных диодов основывается на предположении «идеальности» протекания процессов, происходящих при генерации СВЧ колебаний. Реальные же диоды отличаются неоднородностью своей структуры, зависимостью физических параметров от токов и температуры, не вполне совпадающих с полученными теоретически, и другими особенностями.

В связи с указанными свойствами СВЧ диодов они характеризуются наличием флуктуаций токов и удельной проводимости, что приводит к соответствующим случайным изменениям физических параметров, используемых на практике, например, выходного напряжения. Исследование данных флуктуаций является актуальным, так как может способствовать конструированию электронных схем, учитывающих такие флуктуации, а также может уточнить зна-

ния о характере протекающих в диоде процессов. Кроме того, особенности указанных флуктуаций могут служить одним из индикаторов свойств внутренней структуры СВЧ диодов.

**Цель работы** состоит в раскрытии принципа работы диода Ганна, освещении сути основных физических явлений, наблюдаемых при его работе, исследовании случайных изменений тока и получении характеристик таких изменений.

**Содержание работы.** Предлагаемая работа включает описание физических принципов работы СВЧ диодов Ганна, методику проводимых экспериментов по исследованию его токовых характеристик, соответствующий расчет и анализ результатов.

**Используемые методы.** В работе использовано экспериментальное оборудование, включающее в себя генератор СВЧ на диоде Ганна, модуль обработки экспериментальных результатов компании National Instruments и соответствующую программную среду обработки LabView. При получении результатов использованы стандартные методы статистического анализа экспериментальных данных.

**Основные результаты.** В работе показано, что диоды Ганна отличаются значительными флуктуациями токов и напряжений, характер которых при низких частотах близок по своим свойствам к фликкер-шуму (или розовому шуму), а при средних и высоких – к белому тепловому шуму. По результатам работы, подготовлена лабораторная работа для студентов, включающая в себя исследование основных свойств микроволнового излучения.

## **Диоды Ганна – источники СВЧ колебаний**

### **Общие положения**

Диод – электронный прибор, проводимость которого зависит от направления течения электрического тока в нем, а также от материала из которого он изготовлен. В предлагаемой работе, нас будет интересовать один из типов полупроводниковых диодов, получивших свое название в честь Джона Ганна.

Диод Ганна используется для генерации СВЧ-излучения. Принцип его работы сильно зависит от свойств полупроводника. Традиционно диод Ганна

изготавливают из арсенида галлия, представляющего собой соединение мышьяка и галлия. Данный материал отличается широким применением в промышленности, что связано с его уникальными свойствами. Помимо диодов Ганна, из арсенида галлия изготавливают интегральные схемы, транзисторы и другие виды диодов, например, светодиоды, лазерные диоды, туннельные диоды и др. Арсенид галлия отличается высокой подвижностью электронов, что позволяет диодам с легкостью работать в области сверхвысоких частот. Среди преимуществ GaAs можно назвать меньшее производство шума по сравнению с кремниевыми приборами, которые, к тому же, требуют большей мощности для эффективной работы. Приборы из арсенида галлия являются радиационно стойкими, что позволяет широко использовать его в производстве солнечных батарей. Арсенид галлия практичен в изготовлении гетероструктур, в которых достигается более эффективное преодоление электронами запрещенной зоны (т.е. области значений энергии электрона, которыми он не может обладать в идеальном кристалле). Среди недостатков арсенида галлия стоит упомянуть его существенную хрупкость по сравнению с кремнием.

### **Принцип действия диодов Ганна**

Диод Ганна – это однородный кристалл, изготовленный из некоторого полупроводника, чаще всего – арсенида галлия (рис. 1). На торцах кристалла нанесены металлические контакты. Диод Ганна — это полупроводниковый прибор с двумя электродами, не содержащий *p-n*-переходов, т.е. все его свойства полностью определяются собственными свойствами применяемого полупроводникового материала, а не эффектами, возникающими в местах соединения различных полупроводников.

Принцип действия диода Ганна основан на одноименном эффекте. Суть эффекта Ганна заключается в возникновении отрицательной дифференциальной проводимости в однородных полупроводниках под действием сильного поля. Возникновению отрицательной дифференциальной проводимости соответствует участок вольтамперной характеристики, где на графике при определенных значениях напряжения, сила тока падает. Чаще всего это происходит под действием сильного электрического поля. Такой скачок кривой можно объяс-

нить тем, что до определенного момента времени дрейфовая скорость электронов растет с увеличением напряженности электрического поля. Однако, достигнув некоторого значения, она начинает уменьшаться. Возникает двойной движущийся к аноду слой зарядов, который будут стремиться «догнать» электроны, находящиеся возле катода (рис. 2). Такой слой зарядов называется доменом, а значение напряжения, при котором он возникает – пороговым. Стоит отметить, что в момент возникновения домена, ток в диоде достигает максимального значения. Однако к концу формирования домена, его значение уменьшается до минимального (рис. 3). Далее домен разрушается (по мере достижения анода), и ток вновь достигает максимального значения. Это сопровождается возникновением нового домена в области, близкой к катоду и процесс циклично повторяется. Частота этого процесса обратно пропорциональна толщине слоя полупроводника.

Именно в результате описанного эффекта осуществляется преобразование тока источника напряжения в электрические колебания сверхвысокой частоты.

Итак, важнейшим условием возникновения домена является скачок напряженности, повлекший за собой возникновение дипольного слоя, частично лишенного свободных носителей. Зарождающееся внутри домена поле может обладать значительно большим значением, чем поле в кристалле.

Домен всегда перемещается как единое целое от катода к аноду с постоянной (условно) скоростью  $V$ . Для арсенида галлия – это приблизительно 100 километров в секунду. При этом частота процесса распада и формирования домена определяется по формуле:

$$v = \frac{V}{d}, \quad (1)$$

где  $d$  – длина кристалла. По мере формирования домена ток в цепи уменьшается и достигает своего минимального значения в тот момент времени, когда процесс формирования завершен.

## Шумы в электронных приборах

Одним из наиболее существенных недостатков диодов Ганна являются неоднородности кристалла, которые могут стать причиной возникновения шумов.

Шумы – отличающиеся сложной структурой колебания, возникающие по различным причинам. Любой шум может быть в принципе представлен в виде набора гармонических функций (например, синусоид). По аналогии с различными спектрами видимого света, шумы можно поделить на «цвета» в зависимости от преобладания синусоид определенных частот.

Самой простой моделью шума является так называемый **белый шум**, который хотя и не встречается в природе в чистом виде, однако хорошо описывает многочисленные реальные шумы, имеющие место в физических и технических системах. Белыми шумами называют любые шумы, спектральная плотность которых не зависит от частоты, или, другими словами, такие шумы – это набор бесконечно большого числа синусоид всех частот и одинаковых амплитуд, имеющих случайную фазу. Сигнал в виде белого шума имеет одинаковую мощность в любой полосе частот. Белый шум является стационарным случайным процессом, т.е. его свойства не зависят от времени. Белый шум является типичным представителем марковского процесса. Марковским называют случайный процесс, характеристики которого в «будущем» не зависят от «прошлого» протекания процесса, а зависят только от состояния в текущий момент времени.

Белый шум встречается во всех электронных компонентах и является следствием тепловых колебаний электронов проводимости (или дырок).

**Фликкер-шум ( $1/f$  шум, или розовый шум)** – шум, имеющий чрезвычайно широкое распространение и сопровождающий почти любой необратимый процесс. Фликкер-шум имеет место практически в любых электронных устройствах. Чаще всего его источником являются неоднородности проводящей среды. Фликкерный шум часто называют розовым шумом, так как в его спектре преобладают низкие частоты (в оптике это соответствует «покраснению» спектра). Однако следует различать розовый шум как математическую модель сигнала определённого вида и фликкер-шум как вполне определённое

явление в электрических цепях. Из свойства преобладания низких частот в  $1/f$  шуме следует, что он проявляется обычно при низких частотах, а при высоких – затмевается белым шумом.

Наглядный пример розового шума – звук пролетающего вертолёта. Розовый шум обнаруживается, например, в сердечных ритмах, в графиках электрической активности мозга, в электромагнитном излучении космических тел, а также во многих глобальных процессах – динамики численности населения, средней температуры Земли, рынка акций и т.п.

На рис. 4 представлены спектры белого (а) и фликкер-шумов (б). Хорошо видно, что фликкер-шум имеет более низкочастотные флуктуации.

### **Экспериментальное исследование шумовых характеристик диодов Ганна**

#### **Методика эксперимента и обработки результатов**

Для получения характеристик генерируемых диодом Ганна колебаний была использована магистрально-модульная платформа для систем измерения, управления и автоматизации PXI от компании National Instruments (рис. 5). Программный интерфейс инструмента представлен на рис. 6. Некоторые реализации снимаемого с диода напряжения представлены на рис. 7 и 8.

Полученные экспериментальные результаты подвергались усреднению по десяти соседним значениям напряжения для того, чтобы исключить имеющие место высокочастотные колебания, генерируемые диодом. После этого проводился расчет спектральной плотности  $G_U(\omega)$  мощности флуктуаций напряжения на диоде Ганна с помощью формул

$$g_1(\omega) = \frac{\Delta t}{N} \sum_{k=1}^N U_k \cos \frac{2\pi\omega k}{N}, \quad (2)$$

$$g_2(\omega) = \frac{\Delta t}{N} \sum_{k=1}^N U_k \sin \frac{2\pi\omega k}{N}, \quad (3)$$

$$G_U(\omega) = g_1^2(\omega) + g_2^2(\omega), \quad (4)$$

где  $N$  – количество снятых значений напряжения (100000),  $\Delta t$  – время между соседними значениями напряжения (1 мс),  $U_k$  –  $k$ -ое значение напряжения,  $\omega = 2\pi\nu$  – циклическая частота.

## Результаты эксперимента

Расчеты спектральной плотности флуктуаций напряжения на диоде Ганна представлены на рис. 8. Из графика видно, что в области низких частот спектральная плотность хорошо описывается степенной функцией

$$G_U(\omega) = 94\omega^{-0.95}, \quad (5)$$

что соответствует фликкер-шуму (рис. 7)

В области средних и больших частот спектральная плотность перестает зависеть от частоты (белый шум) (рис. 8)

## Выводы

В изложенной работе были изучены принципы работы диодов Ганна, рассмотрены шумы, включая распространенные в электронных компонентах белый и розовый шумы, изучены полупроводниковые генераторы СВЧ излучения. С использованием экспериментальной установки National Instruments были получены реализации напряжения на диоде Ганна, анализ которых позволил установить, что в диапазоне низких частот имеют место шумы «розового» спектра, а в среднем и высоком – «белого».

На основе проведенных исследований была подготовлена лабораторная работа «Изучение свойств электромагнитных волн сантиметрового диапазона» по курсу общей физики для студентов МГТУ им. Н.Э.Баумана.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

[1] Епифанов Г.И., Мома Ю.А. «Твердотельная электроника» - Учеб. Для студентов вузов. – М.: Высш. Шк., 1986

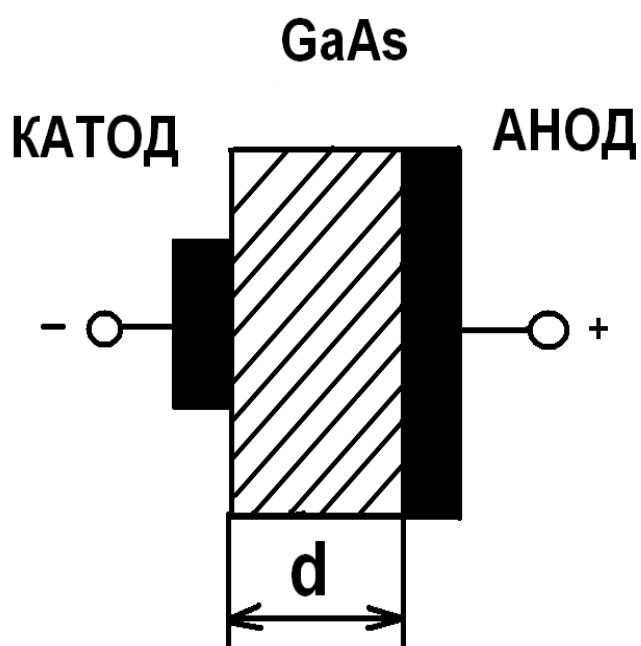
[2] Г.С.Ландсберг «Элементарный учебник физики» Т.2 Электричество. Магнетизм. – Учеб. Пособие в 3 Т. – М ФИЗМАТЛИТ, 2009

[3] Л.С.Жданов, В.А.Маранджян «Курс физики для средних специальных заведений». Часть вторая. – М., Изд. «Наука», 1970

[4] Н. А. Агеев, Г. Г. Шишкин. Электронные приборы. Издательство МАИ, 1996.

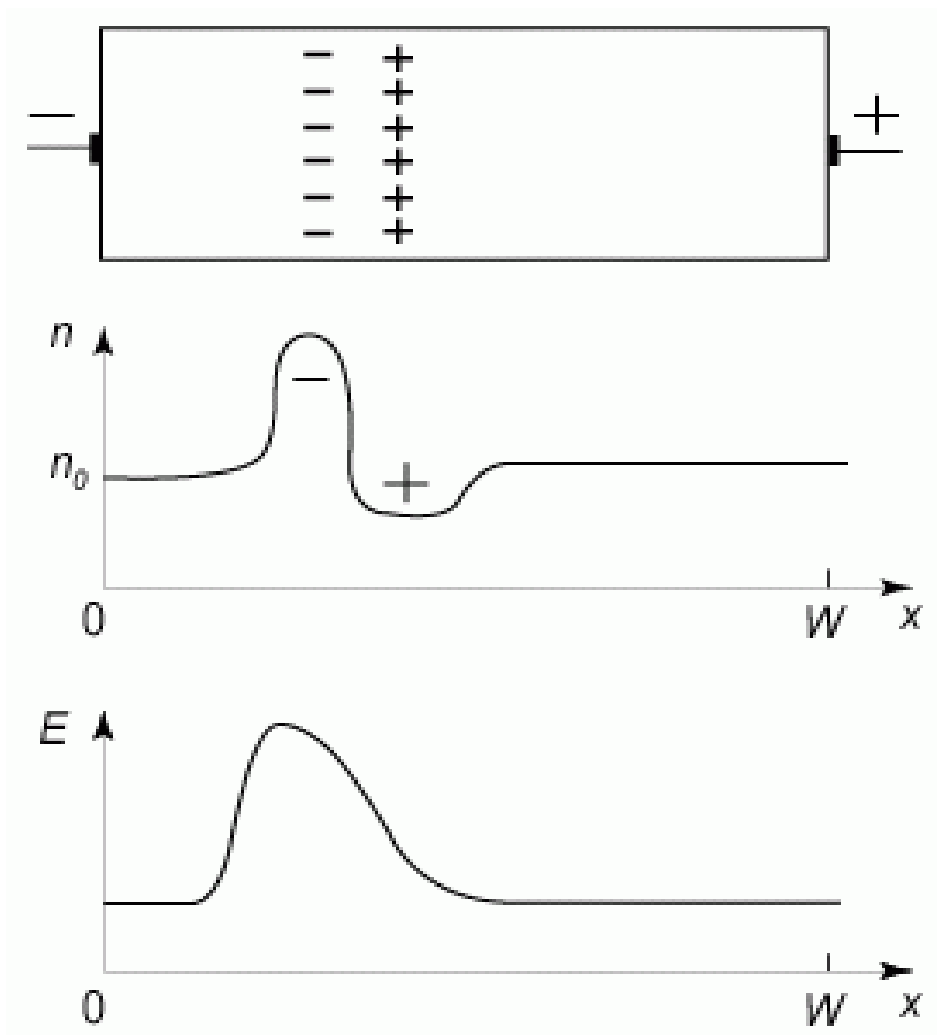
[5] С. М. Зи. Физика полупроводниковых приборов (в 2 книгах). М., Мир, 1984, т.2.

[6] А. И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М., Физматлит, 2008.



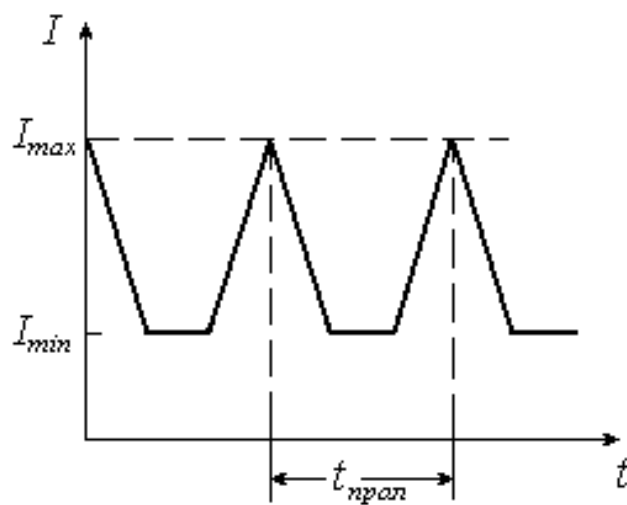
**Рис.1**  
Строение диода Ганна  
( $d$  – толщина полупроводника)

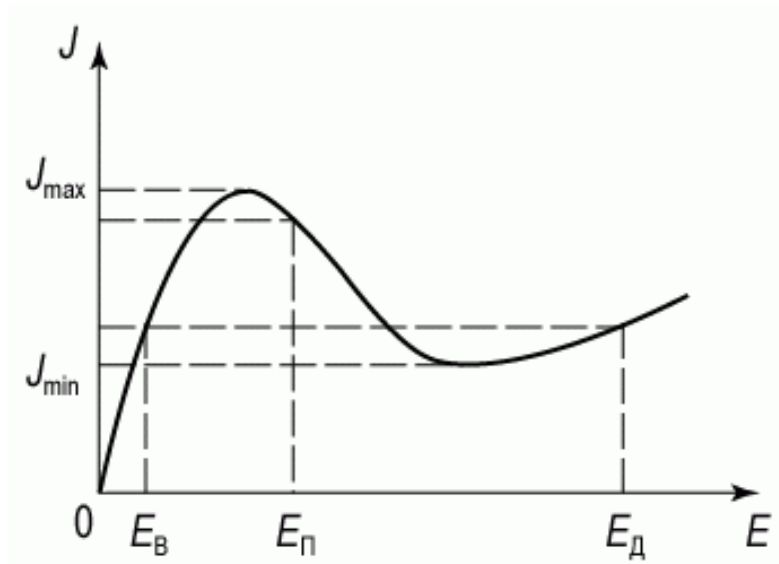




**Рис.2**

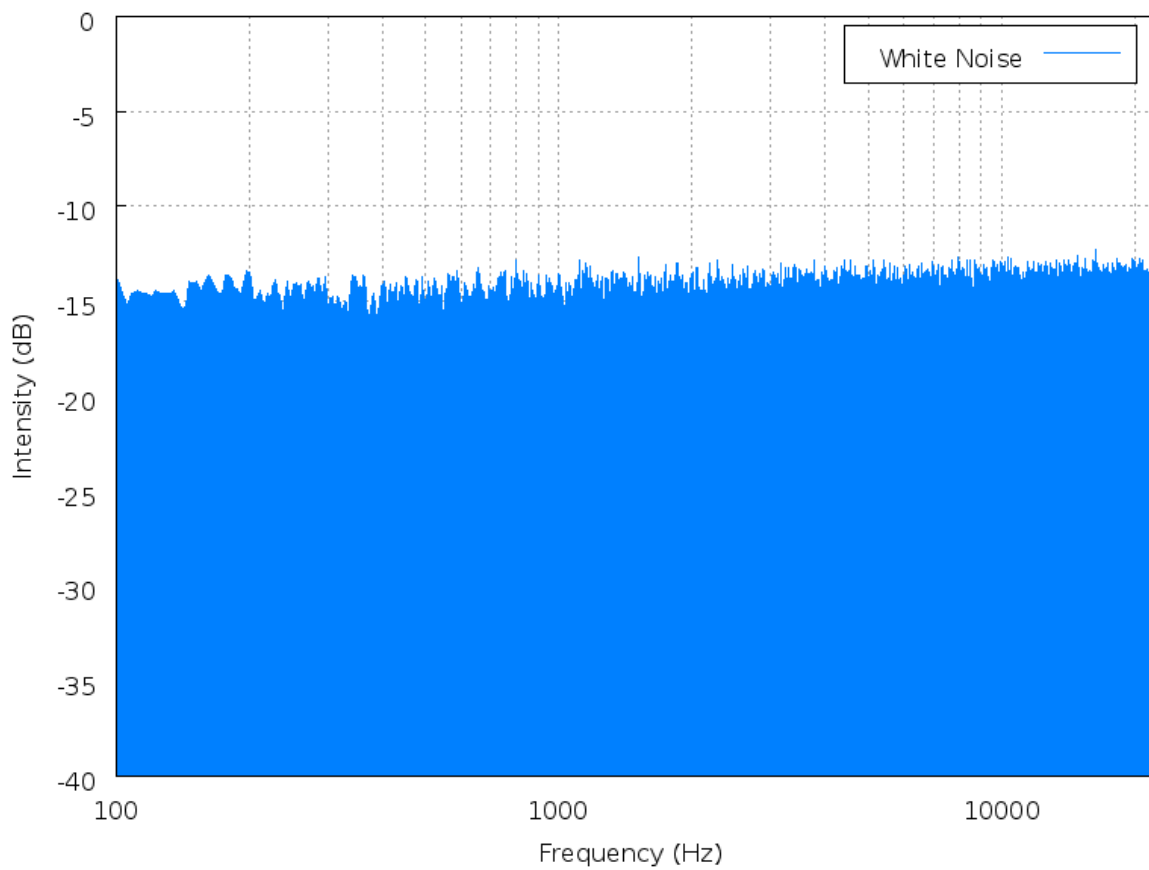
Возникновение домена в полупроводнике.



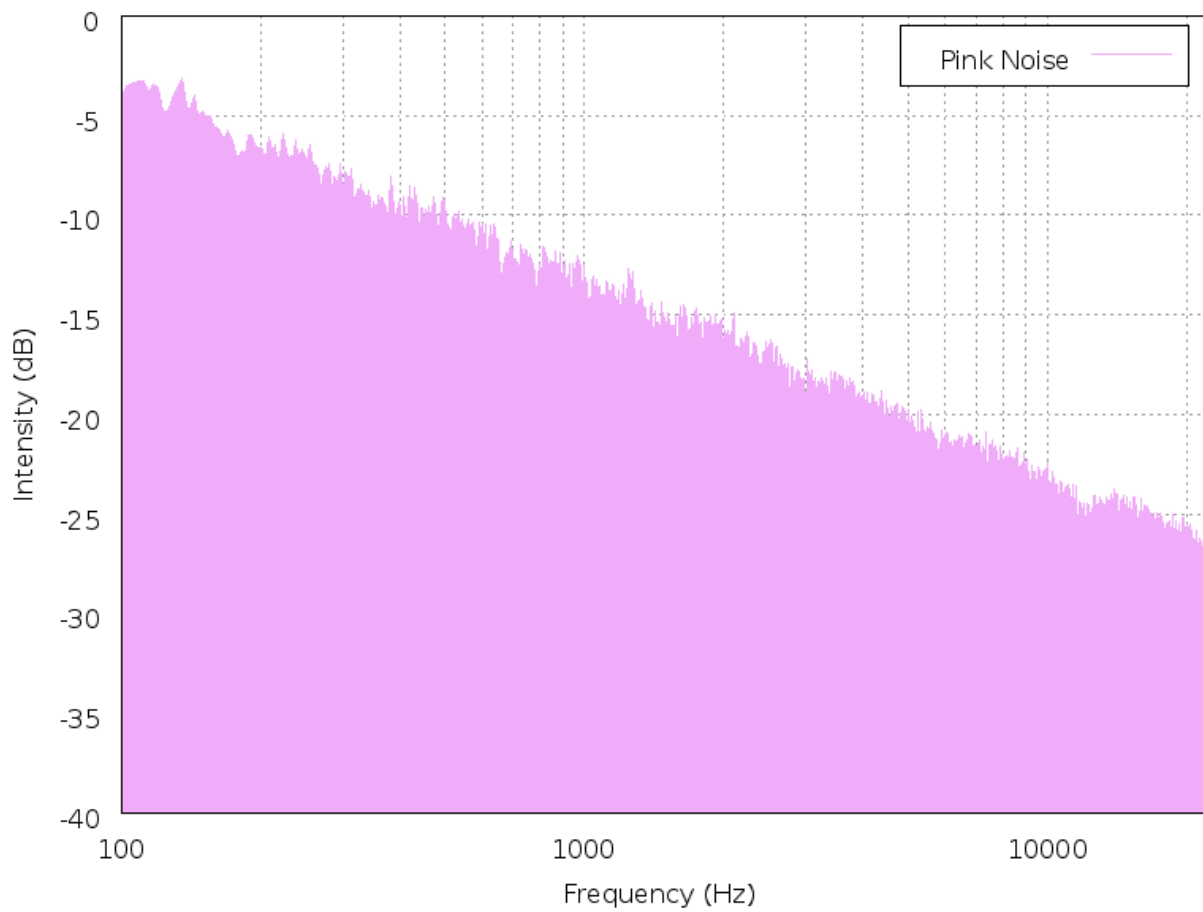


**Рис.3.**

Колебания тока и вольтамперная характеристика диода



**Рис. 4 (а)** Спектр белого шума

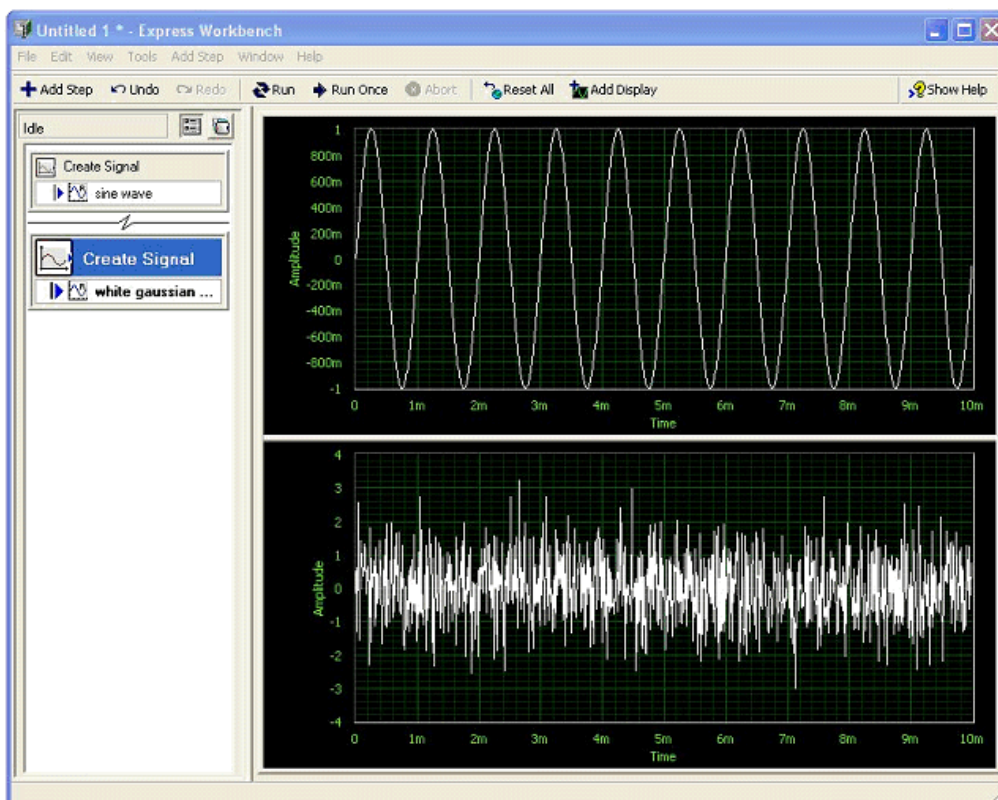


**Рис.4 б)** Спектр розового шума.



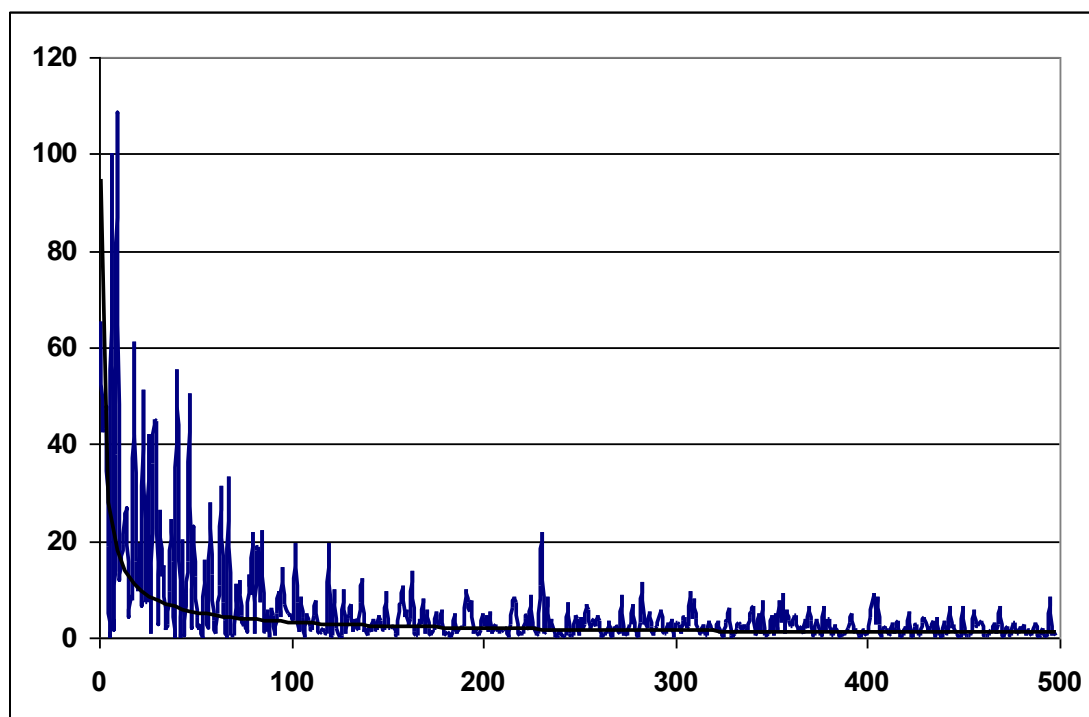
**Рис. 5**

Магистрально-модульная платформа для систем измерения, управления и автоматизации PXI от компании National Instruments



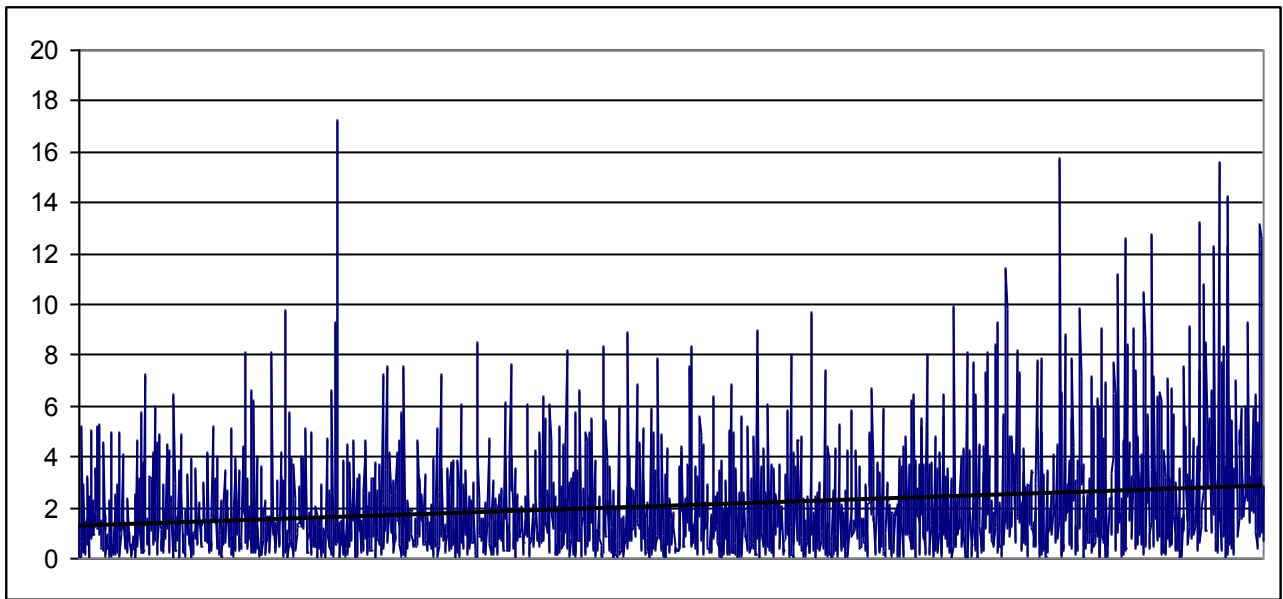
**Рис.6**

Программный интерфейс National Instruments



**Рис.7**

Спектр снятого с диода напряжения (фликкер-шум)



**Рис. 8**

Спектр снятого с диода напряжения (белый шум)

## ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И РАСЧЁТ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛА В МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУРАХ

Автор: Кузьмин Иван Сергеевич,  
11 класс, ГОУ лицей №1580

Научный руководитель: Хвесьюк Владимир Иванович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
Э6 МГТУ им. Н.Э. Баумана

### **Содержание:**

План исследования данной проблемы

Введение

Расчет (для массивных параллельно расположенных пластин)

Таблица 1. Зависимость распространения тепла в стенке из чередующихся массивных пластин

Расчет (для массивных пластин, расположенных в виде цилиндров, равноудаленных друг от друга)

Таблица 2. Зависимость распространения тепла в стенке цилиндра из чередующихся массивных пластин

Расчет (для параллельно расположенных нанотонких пластин)

Таблица 3. Зависимость распространения тепла в наностенке из чередующихся массивных пластин

Вывод

### **План исследования данной проблемы:**

1. Расчет переноса тепла в массивных телах, используя закон Фурье
2. Расчет переноса тепла в наноструктурах, используя проводимость Капицы
3. Нахождение эффективного коэффициента теплопроводности для многослойных наноструктур

#### 4. Сравнение коэффициентов теплопроводности массивных тел и многослойных наноструктур

##### **Введение:**

Классическая теория переноса тепла основана на законе Фурье в массивных материалах, основой для расчёта температурных полей в таких материалах служит закон Фурье. При переходе к наноструктурам типа многослойных бинарных систем характер переноса тепла существенно меняется. Это требует разработки новых подходов к расчету новых подходов к решению задачи о переносе тепла вот такого рода в наноструктурах. В данной работе сопоставляется характер переноса тепла в массивных телах и в многослойных наноструктурах, в которых материал слоев чередуется. Обсуждаются основные особенности характера теплопереноса в таких наноструктурах по сравнению с массивными телами. Показано, что в наноструктурах тепловое сопротивление существенно выше, чем в массивных телах, что хорошо видно при расчете переноса тепла с помощью проводимости Капицы.

Хорошо изучен перенос тепла в массивных материалах, основой для расчёта температурных полей в таких материалах служит закон Фурье.

При переходе к наноструктурам типа многослойных бинарных систем характер переноса тепла существенно меняется.

В данной работе сопоставляется характер переноса тепла в массивных телах и в многослойных наноструктурах в которых материал слоев чередуется. Обсуждаются основные особенности характера теплопереноса в таких наноструктурах по сравнению с массивными телами. Показано, что в наноструктурах тепловое сопротивление существенно выше, чем в массивных телах.

Введено понятие эффективной теплопроводности многослойных наноструктур. Численные оценки показали, что эффективная теплопроводность наноструктур существенно меньше теплопроводности массивных тел.

Подобные расчёты необходимо выполнять при разработке термоэлектрических устройств и теплозащитных экранов, использующих многослойные наноструктуры. Ниже излагается классический подход к решению задачи теплопроводности

сти твердых тел. Затем рассматриваются вопросы связанные с расчетом переноса тепла в наноструктурах. В данном случае изучаются особенности переноса тепла поперек многослойных наноструктур. Эти структуры могут применяться в различных устройствах, где требуется обеспечить высокое термическое сопротивление и в др.

**Теплопроводность** — это перенос теплоты структурными частицами вещества (молекулами, атомами, электронами) в процессе их теплового движения. Такой теплообмен может происходить в любых телах с неоднородным распределением температур, но механизм переноса теплоты будет зависеть от агрегатного состояния вещества. Явление теплопроводности заключается

в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передаётся другому телу при их взаимодействии или передаётся из более нагретых областей тела к менее нагретым областям. Иногда теплопроводностью называется также количественная оценка способности конкретного вещества проводить тепло.

**Расчет (для массивных параллельно расположенных пластин):**

Вектор потока тепла — количество энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади, перпендикулярной каждой оси, — коэффициент теплопроводности (иногда называемый просто теплопроводностью). Это выражение известно как *закон теплопроводности Фурье*.

$Q = \lambda(\Delta T/\Delta x)$ , где  $Q$  — вектор потока тепла (тепловой поток),  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности,  $\Delta T$  — изменение температуры между слоями,  $\Delta x$  — толщина пластины

Материалы пластин чередуются: титан, алюминий.

Используя закон Фурье я рассчитываю температуру на конце каждой из десяти массивных пластин по формуле:

$$T = T_n - (Q * \Delta x) / \lambda$$

$T$  — температура на конце пластины (К)

$T_n$  — начальная температура пластины (К)

$Q$  — постоянный тепловой поток (Вт/м<sup>2</sup>)



$\Delta x$  – ширина пластины (м)

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности (Вт/(м\*К))

В данном случае я задаю тепловой поток  $10^4$  Вт/м<sup>2</sup> и начальную температуру 800 К.

Толщина пластин – 3 см

Коэффициенты теплопроводности – 237 Вт/(м\*К) (Al)

22 Вт/(м\*К) (Ti)

Таким образом я вычисляю изменение температуры между этими пластинами.

Как показывает график, наблюдается некий скачок температур.

$$T_0 = 800 \text{ К}$$

$$Q_0 = 10^4 \text{ Вт/м}^2$$

$$\Delta x = 0,03 \text{ м}$$

$$\lambda_{Ti} = 22 \text{ Вт/(м*К)}$$

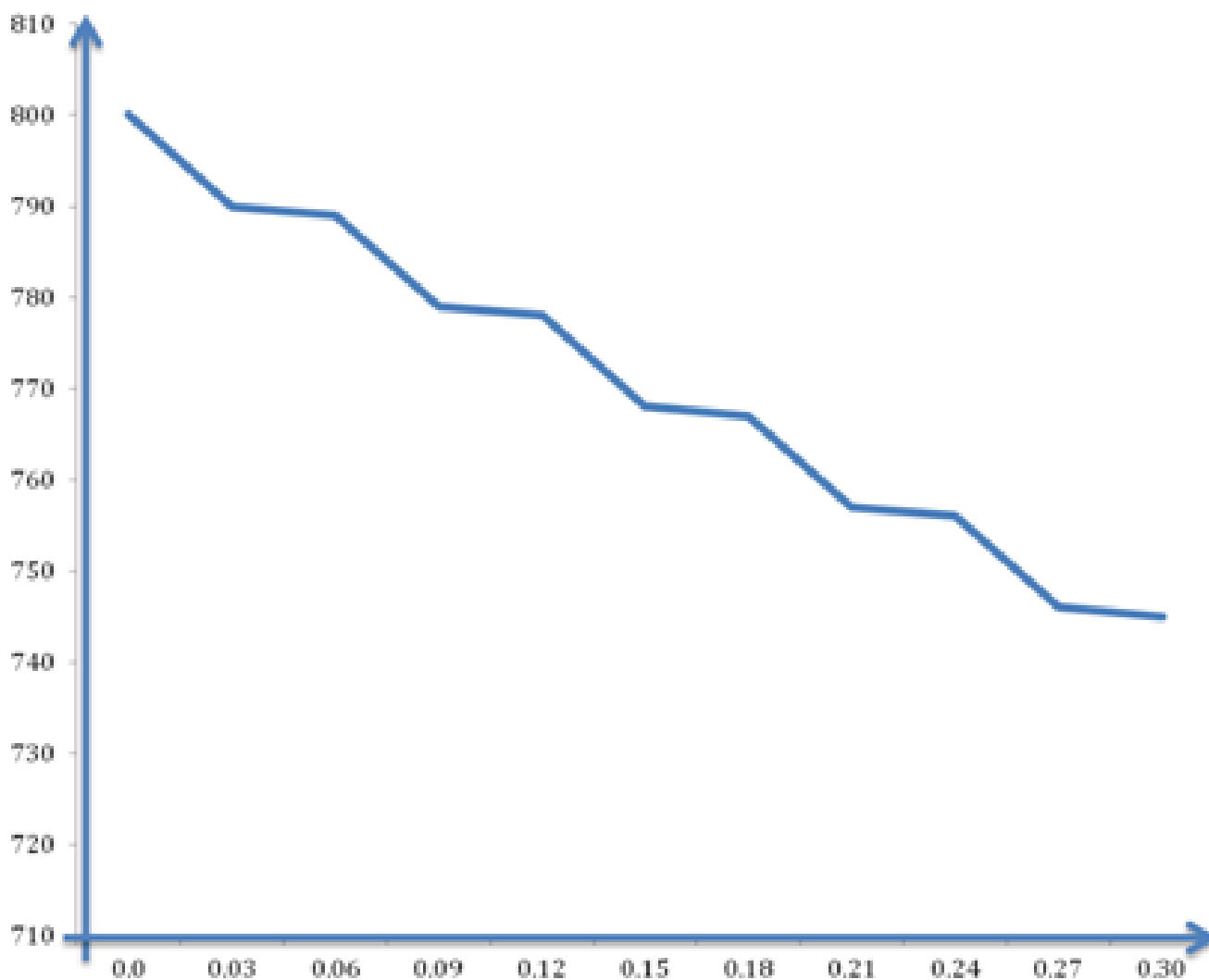
$$\lambda_{Al} = 237 \text{ Вт/(м*К)}$$

$$Q = \lambda * (\Delta T / \Delta x)$$

$$T_k = T_n - Q * (\Delta x / \lambda)$$

Таблица 1. Зависимость распространения тепла в стенке из чередующихся массовых пластин Al и Ti.

x (м)	T (К)
0.0	800
0.03	790
0.06	789
0.09	779
0.12	778
0.15	768
0.18	767
0.21	757
0.24	756
0.27	746
0.3	745



**Расчет (для массивных пластин, расположенных в виде цилиндров, равноудаленных друг от друга):**

Материалы пластин также чередуются, как с параллельно расположенными пластинами: титан, алюминий. И также, используя закон Фурье, я рассчитываю температуру на конце каждой из десяти пластин.

Тепловой поток –  $10^4$  Вт/м<sup>2</sup>;  $T_H$  – 800 К

Толщина стенок цилиндра – 3 см

Радиус трубки – 5 см

Коэффициенты теплопроводности – 237 Вт/(м\*К) (Al)

22 Вт/(м\*К) (Ti)

$$T = T_H - (Q \cdot \Delta x) / \lambda$$

T – температура на конце пластины (К)

$T_H$  – начальная температура пластины (К)

$Q$  – постоянный тепловой поток ( $Вт/м^2$ )

$\Delta x$  – ширина пластины (м)

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности ( $Вт/(м*К)$ )

$T_0 = 800$  К

$Q_0 = 10^4$   $Вт/м^2$

$R_0 = 0,05$  м

$\Delta x = 0,03$  м

$\lambda_{Ti} = 22$   $Вт/(м*К)$

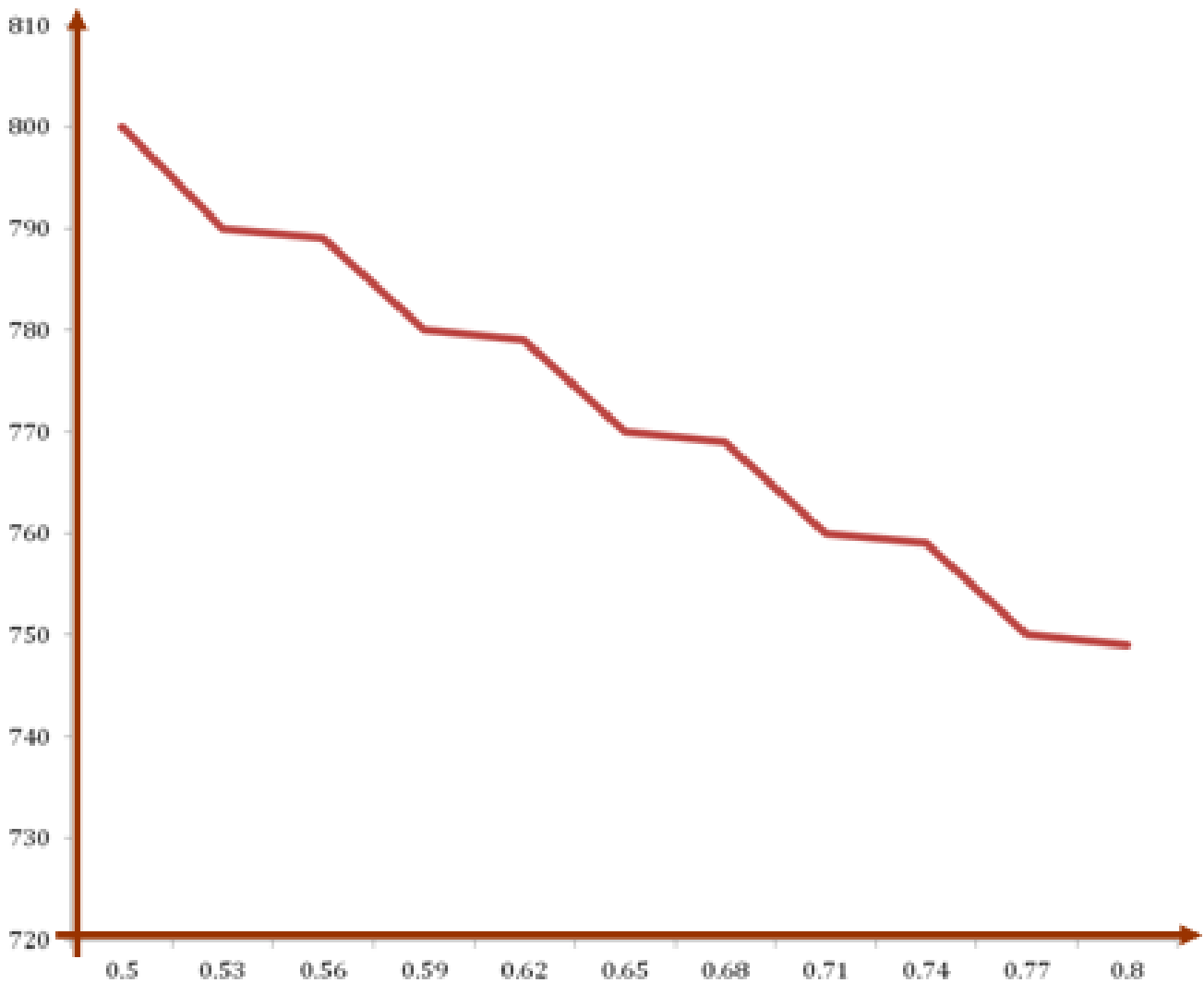
$\lambda_{Al} = 237$   $Вт/(м*К)$

$Q = \lambda * (\Delta T / \Delta x)$

$T_K = T_H - Q * (\Delta x / \lambda)$

Таблица 2. Зависимость распространения тепла в стенке цилиндра из чередующихся массивных пластин Al и Ti.

<b>x (м)</b>	<b>T (К)</b>
0.5	800
0.53	790
0.56	789
0.59	780
0.62	779
0.65	770
0.68	769
0.71	760
0.74	759
0.77	750
0.8	749



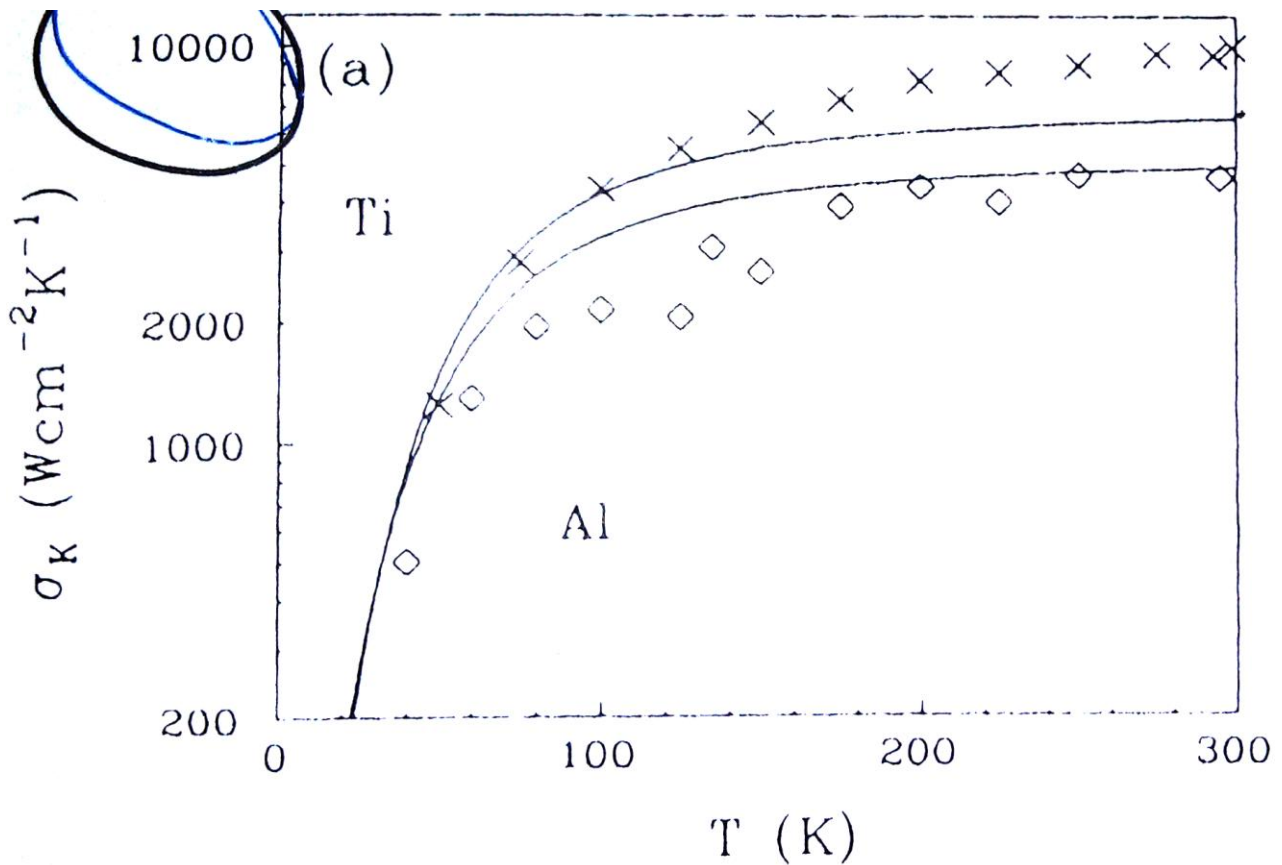
**Расчет (для параллельно расположенных нанотонких пластин):**

При расчете переноса тепла в наноструктурах используется величина, называемая проводимостью Капицы  $\sigma$ . Пользуясь этой самой проводимостью  $\sigma$ , я нахожу  $\Delta T$  – скачок температур.

Проводимость Капицы для заданных материалов (титана и алюминия) я нахожу по графику.

Рисунок 1. Зависимость проводимости Капицы от температуры материала.

Зависимость показана для Al и Ti.



Начальная температура  $T_n = 300$  К, поэтому  $\sigma$  титана – 7000, а алюминия – 6000.

По формуле  $Q = \sigma \cdot \Delta T$  я нахожу изменение температуры. Далее, воспользовавшись изменением температуры, я нахожу эффективный коэффициент теплопроводности по закону Фурье. Исходя из этого, я нахожу то, что коэффициент теплопроводности стал приблизительно в тысячу раз меньше.

$$Q = 10^4 \text{ Вт/м}^2$$

$$Q = \sigma \cdot \Delta T$$

$$(\text{Ti}) \Delta T_1 = Q/\sigma = 10^4/7000 = 1,42 \text{ К}$$

$$(\text{Al}) \Delta T_2 = Q/\sigma = 10^4/6000 = 1,6 \text{ К}$$

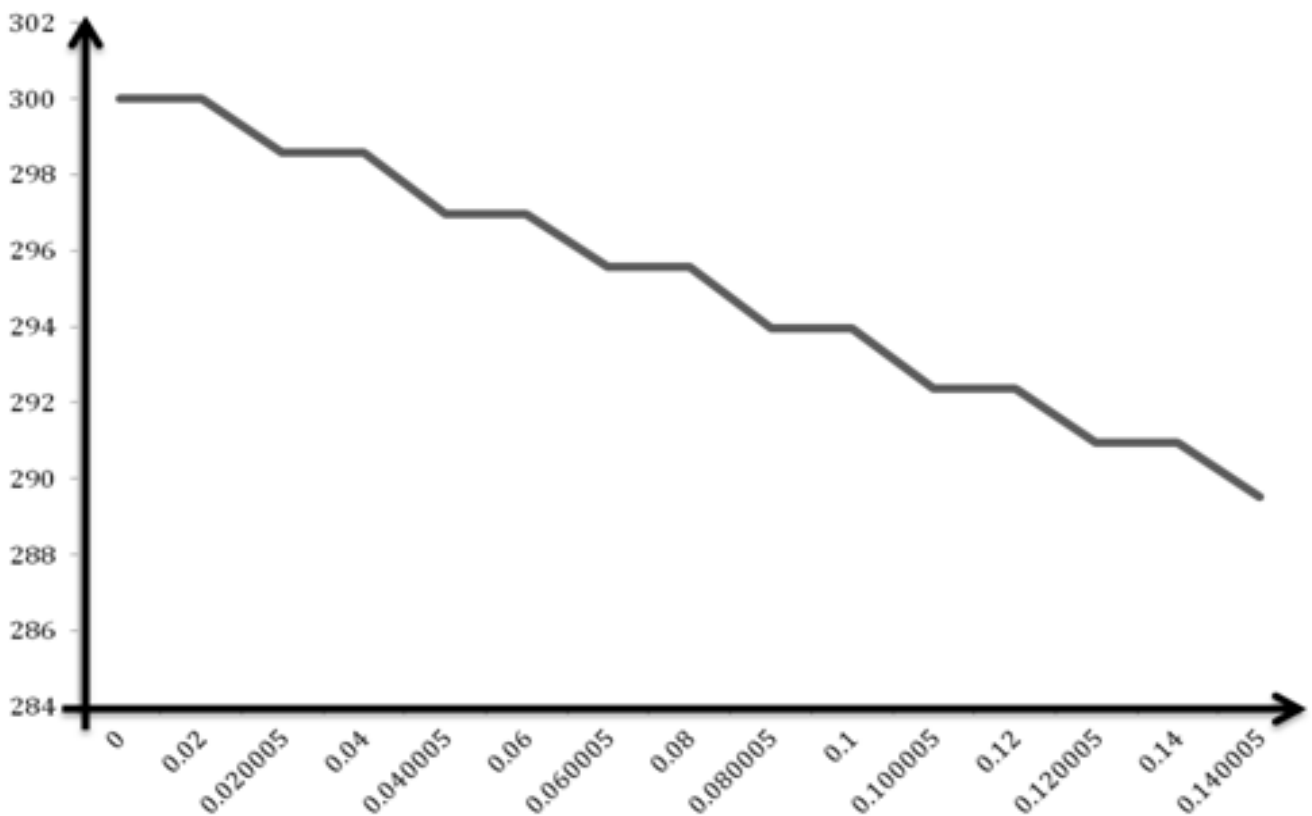
$$\Delta T_{\text{общ.}} = \Delta T_1 + \Delta T_2 = 1,42 + 1,6 = 3,02 \text{ К}$$

$$Q = \lambda \cdot (\Delta T / \Delta x)$$

$$\lambda = (Q \cdot \Delta x) / \Delta T = (10^4 \cdot 40 \cdot 10^{-6}) / 3,02 = 0,13245 \text{ Вт/м}^2$$

Таблица 3. Зависимость распространения тепла в наностенке из чередующихся массивных пластин Al и Ti.

x (Нм)	T (К)
0	300
$0,02 \cdot 10^{-4}$	300
$0,020005 \cdot 10^{-4}$	298,58
$0,04 \cdot 10^{-4}$	298,58
$0,040005 \cdot 10^{-4}$	296,98
$0,06 \cdot 10^{-4}$	296,98
$0,060005 \cdot 10^{-4}$	295,56
$0,08 \cdot 10^{-4}$	295,56
$0,080005 \cdot 10^{-4}$	293,96
$0,1 \cdot 10^{-4}$	293,96
$0,100005 \cdot 10^{-4}$	292,36
$0,12 \cdot 10^{-4}$	292,36
$0,120005 \cdot 10^{-4}$	290,94
$0,14 \cdot 10^{-4}$	290,94
$0,140005 \cdot 10^{-4}$	289,52
$0,16 \cdot 10^{-4}$	289,52
$0,160005 \cdot 10^{-4}$	287,92
$0,18 \cdot 10^{-4}$	287,92
$0,180005 \cdot 10^{-4}$	286,5
$0,2 \cdot 10^{-4}$	284,9
$0,200005 \cdot 10^{-4}$	284,9



**Вывод:**

В многослойных наноструктурах в сравнении с массивными материалами качественно изменяется характер переноса тепла. В результате эффективный коэффициент теплопроводности многослойных структур оказывается значительно меньше, чем теплопроводность любого из массивных материалов, которые используются в качестве слоев, рассматриваемых наноструктур. В данном случае коэффициент теплопроводности уменьшается приблизительно в тысячу раз.

## ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ ТРАВМАТИЧЕСКОЙ ПУЛИ ТИПА «ОСА»

Автор: Белоусов Константин Андреевич,  
МОУ СОШ №3 г. Королев Московской области,  
класс 11

Научный руководитель: Левин Денис Петрович,  
к.т.н., доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана

### Оглавление:

Введение

Устройство и тактико-технические характеристики бесствольного пистолета

Анализ функционирования пули

Параметры действия пули

Расчет внешней баллистики пули

Пороговые значения параметров действия пули

Расчет вероятности летального исхода

Вязкостный критерий

Оценка вероятности повреждений

Рекомендации по модернизации пули к комплексу «оса»

Выводы

### **ВВЕДЕНИЕ**

Оружие нелетального действия (ОНД) – оружие, предназначенное для лишения противника боеспособности с минимальной вероятностью ущерба его жизни и здоровью. Видов такого оружия (специальных средств) на вооружении полиции Российской Федерации достаточно много – палки специальные, электрошоковые устройства, специальные газовые средства, светошоковые устройства, травматические средства кинетического действия и т.д.



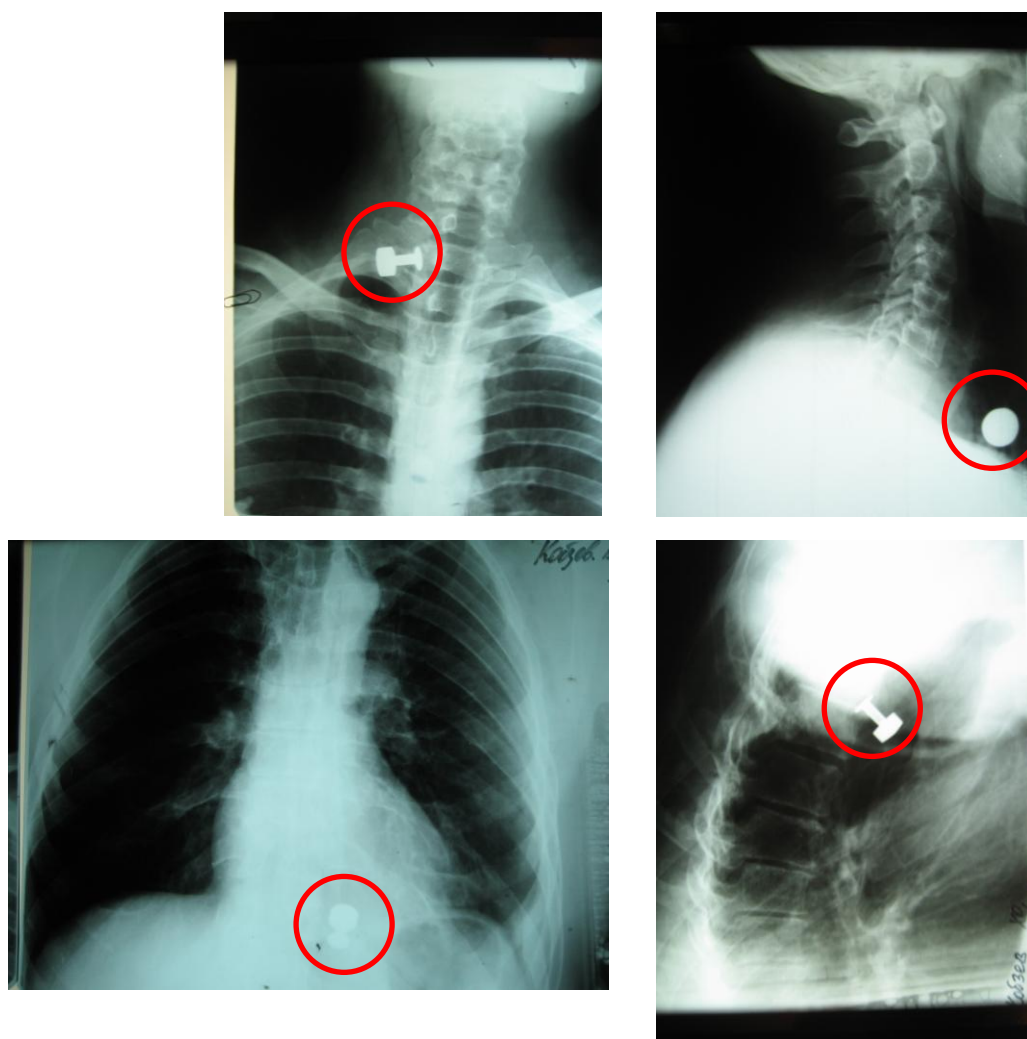
Широкий спектр видов ОНД необходим для решения широкого спектра задач, которые ставятся перед сотрудником правоохранительных органов. Сотрудники имеют право применять специальные средства в ряде ситуаций – при отражении нападения на гражданина или сотрудника полиции, освобождения насильственно удерживаемых лиц, пресечении сопротивления, задержании преступника и т.д. [1]

Выбор конкретного типа ОНД в той или иной ситуации определяется как оперативно-тактическими особенностями этой ситуации (тип цели, место проведения операции, погодные условия и т.д.), так и уровнем опасности для сторонних гражданских лиц и сотрудников правоохранительных органов со стороны нарушителей. В ряде ситуаций эффективным решением является применение огнестрельного оружия травматического действия. Наиболее распространенным средством такого рода является пистолет комплекса ОСА – ПБ-4СП (далее – ОСА). Однако есть ряд проблем, связанных с этим оружием.

Во-первых, в Федеральном законе «О полиции» в перечне типов специальных средств не упоминаются травматические средства кинетического действия, что усложняет их легитимное применение.

Во-вторых, используемые сегодня в РФ критерии оценки травматических элементов не дают полноценного представления об их действии, что увеличивает вероятность возникновения травм или даже летального исхода при их применении. В настоящий момент Минздравсоцразвития определяет только минимальную разрешенную дальность стрельбы из этого оружия, на которых «невозможно причинение тяжкого вреда здоровью» - более 1 м (приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 22 октября 2008 г. N 584н), а при сертификации в Федеральном Медикобиологическом Агентстве используется всего два пороговых параметра: дульная энергия не выше 85 Дж и плотность кинетической энергии у цели не более 50 Дж/см<sup>2</sup>. Кроме того, не определена зависимость эффекта, производимого оружием, от «дозы», понятия, которое включало бы такие параметры, как кинетическая энергия резинового ударника, импульс, плотность кинетической энергии, площадь воздействия.

Недостаточно полное исследование действия пули пистолета «ОСА» приводит к возникновению нежелательных последствий его применения (рис. 1).



**Рис. 1** Рентгенограммы случаев проникающих ранений из пистолета типа «ОСА»

Все вышесказанное определило необходимость проведения настоящего исследования, целью которого явилась оценка безопасности и эффективности действия травматической пули типа ОСА и определение технических рекомендаций для модернизации травматического элемента.

**Задачи следования:**

- 1) описать феноменологию (физику) взаимодействия травматического элемента с целью;
- 2) определить критериальные параметры взаимодействия, определяющие безопасность и эффективность воздействия;

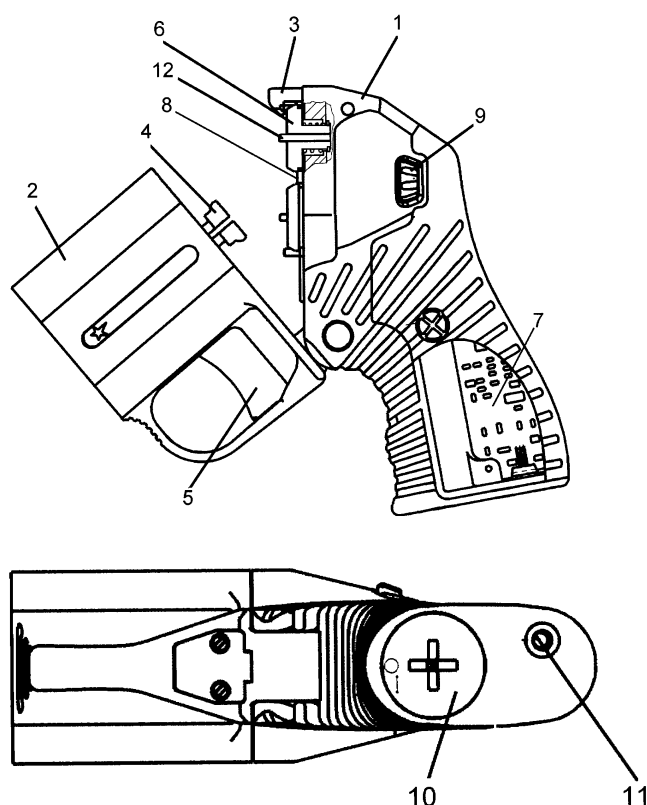
- 3) рассчитать внешнюю баллистику травматического элемента типа ОСА;
- 4) проанализировать пороговые величины критериальных параметров и построить кривые «доза-эффект» для выбранных критериев;
- 5) определить безопасные уровни (и расстояния) воздействия;
- 6) сформулировать технические рекомендации для модернизации травматического элемента (пули) типа ОСА.

## **УСТРОЙСТВО И ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕССТВОЛЬНОГО ПИСТОЛЕТА**

Травматический пистолет ОСА представляет собой ручное портативное огнестрельное оружие, предназначенное для использования силами правоохранительных органов в целях нейтрализации правонарушителя за счет болевого воздействия при выстреле травматическим ударником, вызывающего шоковое состояние. Оружие содержит корпус, держатель патронов с гнездами, стволы, выполненные в виде гильз патронов с электровоспламенителем, и механизм приведения в действие, содержащий импульсный магнитоэлектрический и/или электрохимический источник тока, электрически соединенный с распределительным устройством, содержащим блок контактных узлов (рис.2, 3). Контактные узлы блока выполнены плавающими, в корпус оружия встроен лазерный целеуказатель, а в держателе патронов с гнездами выполнено сквозное отверстие, расположенное в его средней части между гнездами держателя патронов. В состав боекомплекта пистолета входят следующие выстрелы: травматический, светозвуковой, сигнальный.



**Рис. 2** Фото пистолета ПБ4-СП и патронов для него, слева направо: сигнальный, светозвуковой, травматический.



**Рис.3** Пистолет ПБ4-СП, схема:

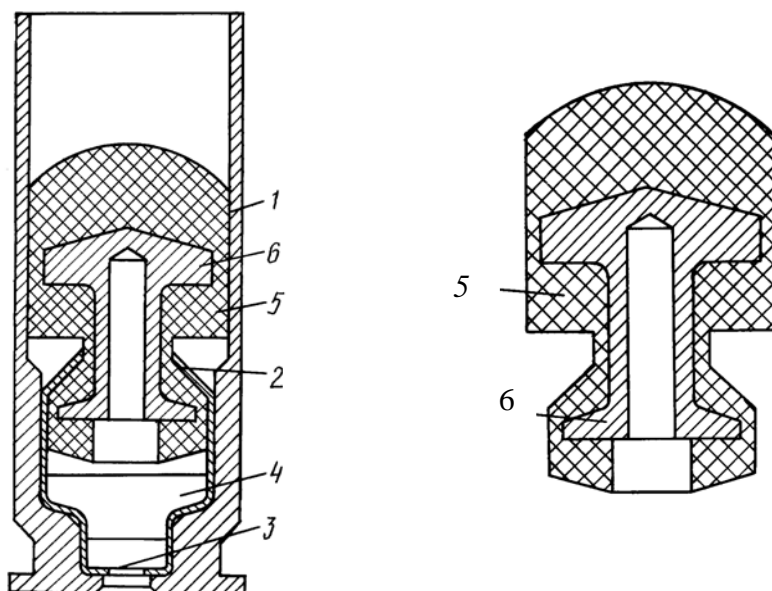
- 1 – корпус,
- 2 - держатель патронов с гнездами (кассета),
- 3 - защелка держателя патронов,
- 4 - фиксатор патронов,
- 5 - спусковая клавиша,
- 6 – контакты,
- 7 - электронное коммутирующее устройство (ЭКУ),
- 8 - лазерный целеуказатель (ЛЦ),
- 9 - включатель ЛЦ,
- 10 - источник питания,
- 11 - индикатор разряда источника питания,
- 12 - контактный узел

Травматический патрон содержит гильзу (1), пороховой заряд (пироксилиновый порох) (4), воспламенительный элемент и травматический элемент (5). Воспламенительный элемент представляет собой электрический капсуль-воспламенитель (3) и газогенератор (2), запрессованный в гильзу (Рис. 4). Гиль-

за играет роль ствола и должна выдерживать давление в четыре раза большее, чем давление пороховых газов, поэтому выполняется она из высокопрочного алюминиевого сплава или армированной пластмассы.

Травматический элемент выполнен в виде резиновой пули (1) с металлическим сердечником (2). Состоит из двух частей, головной и хвостовой, соединенных перемычкой (шейкой). Хвостовая часть пули выполнена с меньшим диаметром, чем головная, при этом центр массы находится в геометрическом центре пули, что обеспечивает возможность ее закатки в корпус газогенератора.

По информации, представленной на официальном сайте производителя [2] травматический патрон (18.5x55T) оказывает останавливающее действие за счет болевого эффекта, возникающего при ударе резиновой пули в объект воздействия, не причиняя ему тяжких телесных повреждений на расстоянии 1 м и более от открытого торца гильзы до объекта воздействия. Энергия пули, на расстоянии 1 м от открытого торца гильзы от 60 до 85 Дж, средний поперечник рассеивания в пяти группах выстрелов по 4 пули в каждой группе на расстоянии 25 м от открытого торца гильзы - 20 см.



**Рис.4** Схема патрона: 1 – гильза, 2 – газогенератор, 3 – электрический капсюль-воспламенитель, 4 – пороховой заряд, 5 – травматический элемент, 6 – металлический сердечник.

Тактико-технические характеристики (ТТХ) выстрела с травматической пулей 18.5x55Т и пистолета ПБ-4СП (служебного пользования) представлены в таблицах 1, 2.

**Таблица 1**

**ТТХ пистолета ПБ4-СП**

Габаритные размеры, мм (длина/ширина/высота)	134x39x120
Масса незаряженного пистолета, кг	0,37
Емкость кассеты пистолета, патронов	4
Тип применяемого источника энергии для инициирования патронов при стрельбе	генератор импульсный МИГ-1К1
Тип применяемого источника энергии для питания лазерного целеуказателя	батарея литиевая типа 123
Прицельное приспособление	лазерный целеуказатель, открытый прицел
Температурный диапазон эксплуатации, оС	от -30 до +50

**Таблица 2**

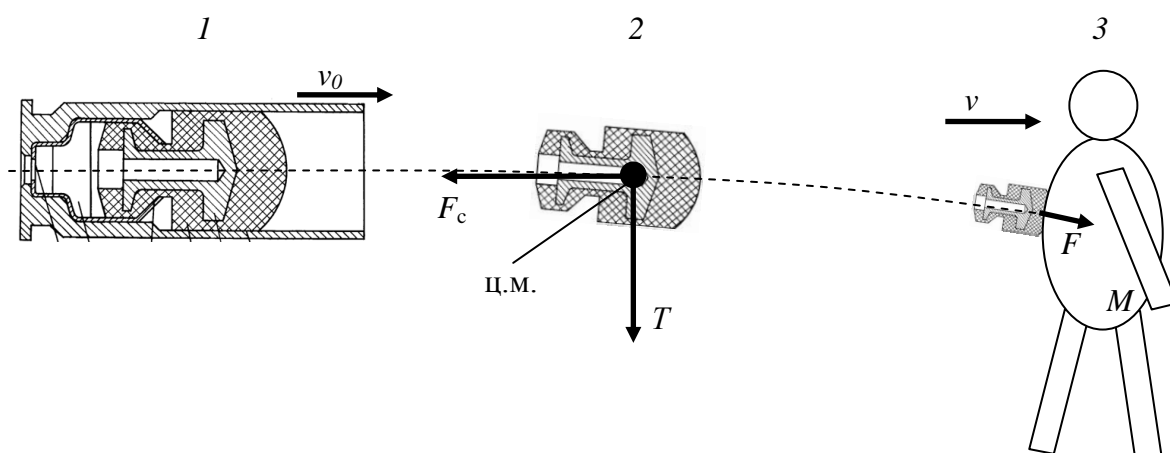
**ТТХ выстрела с травматической пулей 18.5x55Т**

Калибр	18.5x55
Масса патрона с резиновой пулей, г	29
Диаметр резиновой пули, мм	15,6
Масса пули, г	13,3
Начальная скорость полета пули, м/с	120
Эффективная дальность стрельбы	1-25 м
Начальная кинетическая энергия пули, Дж	85 Дж

## АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУЛИ

Функционирование травматического элемента можно разделить на три этапа (рис.5):

1. До вылета из канала ствола (гильзы);
2. С момента вылета из канала ствола до взаимодействия с целью (движение по траектории);
3. Взаимодействие с целью.



**Рис. 5** Этапы функционирования травматического элемента: 1 - до вылета из канала ствола (гильзы), 2 – с момента вылета из канала ствола до взаимодействия с целью, 3 - взаимодействие с целью.

В момент выстрела электрический ток подходит к контакту, который соприкасается с электрическим воспламенителем. Электрический воспламенитель нагревает порох до температуры горения, в результате чего выделяется рабочее тело (продукты горения пороха), которое выталкивает травматический элемент из гильзы, служащей стволом, с начальной скоростью  $v_0$  [м/с]. В этот момент ударник обладает кинетической энергией  $E_{к0}$  [Дж], рассчитываемой по формуле

$$E_{к0} = \frac{mv_0^2}{2},$$

где  $m$  [кг] – масса ударника. В процессе полета на ударник будут действовать сила сопротивления воздуха  $F_c$  [Н] и сила тяжести  $T$  [Н], в результате чего траектория будет являться баллистической кривой.

В течение полета кинетическая энергия  $E_k$  будет расходоваться на сопротивление силам, действующим на ударник во время полета, и в момент перед ударом станет равной

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где  $v$  [м/с] – скорость перед моментом удара. В момент удара кинетическая энергия  $E_k$  расходуется на деформацию цели, самого ударника и на выделение тепла, в результате чего станет равной нулю.

## ПАРАМЕТРЫ ДЕЙСТВИЯ ПУЛИ

Для оценки действия кинетического ударника необходимо рассчитать параметры, математически описывающие процессы, происходящие с пулей во время полета и удара. К таким параметрам относятся:

Кинетическая энергия – мера механического движения ударника, зависящая от его скорости [ $E_k$ , Дж]. Рассчитывается по формуле:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Плотность энергии – отношение кинетической энергии к площади воздействия [ $e$ , Дж/см<sup>2</sup>]

$$e = \frac{E_k}{A} = \frac{2mv^2}{\pi d^2},$$

где  $A$  - площадь воздействия снаряда на цель [ $A$ , см<sup>2</sup>], рассчитывается по формуле:

$$A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

Критерий травмы [BC] – эмпирически полученный параметр [3], предназначенный для оценки воздействия на грудную клетку, связующий массу снаряда  $m$  [кг], массу цели  $M$  [кг], кинетическую энергию снаряда  $E_k$  [Дж], его скорость  $v$  [м/с], толщину стенки тела  $T$  [см] и диаметр ударника  $d$  [см]:

$$BC = \ln \left[ \frac{\frac{1}{2}mv^2}{M^{\frac{1}{2}}Td} \right]$$



Этот критерий, полученный по экспериментальным данным с использованием животных, был экстраполирован на массы цели, характерные для взрослого человека (до 70 кг).

В дальнейших расчетах величина  $T$  принималась равной 6 и 3 см.

Величину  $T$  (толщина стенки тела - кожного покрова) для брюшной области достаточно сложно точно определить, поскольку она зависит от многих параметров (возраста, пола человека и т.д.) и варьируется в широких пределах. Чтобы избежать определения этой величины можно использовать модифицированную формулу для ВС:

$$BC = \ln \left( \frac{0,5mv^2}{M^{2/3}kd} \right),$$

где  $k$  – эмпирический параметр, принимаемый равным 0,711 для мужчин и 0,593 для женщин [4].

## РАСЧЕТ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ ПУЛИ

Движение кинетического ударника в воздухе будет рассматриваться при следующих допущениях:

- плотность воздуха на траектории полета постоянна;
- влияние силы тяжести пренебрежимо мало;
- элемент движется с углом атаки равным нулю на всей траектории полета;
- коэффициент лобового сопротивления не зависит от скорости элемента (для кинетического ударника характерны дозвуковые малые скорости (~120 м/с), что позволяет без внесения большой погрешности допустить, что коэффициент лобового сопротивления не зависит от скорости движения элемента).

Уравнение движения элемента будет иметь вид:

$$m \frac{dv}{dt} = - \frac{\rho_{\text{в}} v^2}{2} S c_x$$

где  $v$  [м/с] – скорость кинетического элемента в момент времени  $t$  [с],  $m$  [кг] – масса кинетического элемента,  $\rho_{\text{в}}$  [кг/м<sup>3</sup>] – плотность воздуха,  $S$  [м<sup>2</sup>] –

площадь миделя (наибольшее по площади поперечное сечение тела) элемента,  $c_x$  – безразмерный коэффициент лобового сопротивления.

Для определения скорости и, следовательно, характеристик воздействия на цель элемента необходимо получить закон падения скорости элемента в зависимости от пройденного пути. Используя замену  $\frac{dv}{dt} = v \frac{dv}{dx}$ , представим уравнение движения в виде. Принимая начальные условия в виде  $v(0)=v_0$ , получаем:

$$v = v_0 \exp\left\{-\frac{\rho_{\text{В}} S c_x}{2m} x\right\}$$

Коэффициент лобового сопротивления для кинетического ударника, применяемого в пистолетах ОСА, равен значению коэффициента лобового сопротивления короткого цилиндра  $c_x=1,15$ , так как кинетический ударник по форме наиболее близок по форме к цилиндру, а его длина менее, чем в два раза больше диаметра поперечного сечения.

Отсюда можно вывести законы движения кинетического ударника, введя

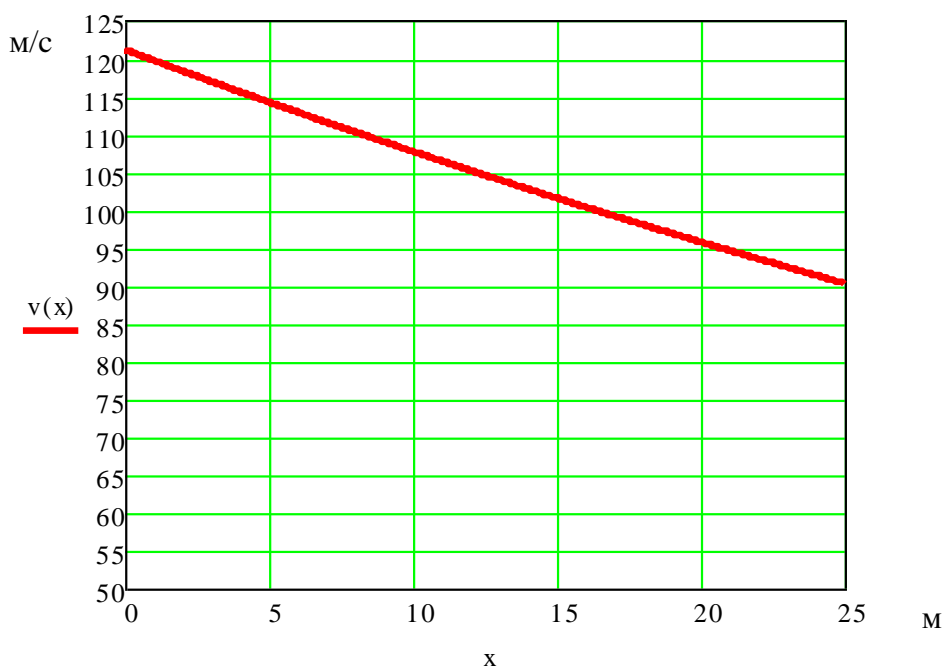
константу  $A = \frac{\rho_{\text{В}} S c_x}{2m}$ .

Законы движения ударника будут иметь следующий вид:

$$v = \frac{v_0}{1 + Av_0 t}$$

$$x = \frac{1}{A} \ln(1 + Av_0 t)$$

Расчетная зависимость скорости пули от пройденного расстояния представлена на рис. 6



**Рис. 6** Зависимость скорости пули от пройденного расстояния

## ПОРОГОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДЕЙСТВИЯ ПУЛИ

Данные о зависимости возникновения того или иного воздействия (травматического или болевого) от значения некоторых критериев поражения, приведены в [4]. Данные из этой статьи представлены в таблицах 3, 4.

Сопоставляя данные, приведенные в таблицах 3 и 4 с данными о зависимости параметров ударника от расстояния, рассчитанные нами, можно сделать вывод о возникновении или не возникновении определенного рода воздействий на различных расстояниях.

Описание морфологии повреждений, приведенные в [4] позволяют классифицировать эти повреждения в соответствии с принятой в РФ классификацией заброневого контузионной травмы по степени тяжести, приведенной в [5], что позволит определить характеристики потери боеспособности (длительность утраты боеспособности и длительность ограничения боеспособности). Классификация заброневого контузионной травмы по степени тяжести приведена в таблице 5.

Принятая в настоящее время классификация травм включает 4 степени тяжести по таким морфологическим признакам как повреждения кожных покровов, легких, сердца, органов брюшной полости. Существенным недостатком описанной классификации при её применении в клинической практике является высокая вероятность неоднозначной и субъективной трактовки классифицируемых групп и зависимость точности оценки от квалификации и компетенции врача.

Таблица 3

**Значения параметров удара, при которых  
возникают те или иные повреждения**

<b>Результат попадания</b>	<b>Параметр</b>	<b>Значение параметра</b>
Разрушение глазного яблока	$E_k$	$>3,9$ Дж
Повреждение черепа	$E_k$	$>80$ Дж
Повреждение ребер	$e$	$>24$ Дж/см <sup>2</sup>
Травма грудной клетки 2-3 степени (вероятность 50%)	BC	$>0,37$
Травма брюшной полости 2-3 степени (вероятность 50%)	BC	$>0,65$
Проникание сквозь кожные покровы (50% вероятность)	$e$	$23,9$ Дж/см <sup>2</sup>

Таблица 4

**Значения параметров удара, при которых возникают болевые ощущения  
определенной интенсивности**

<b>Результат попадания</b>	<b>Параметр</b>	<b>Значение параметра</b>
Слабая боль	$e$	$>2,15$ Дж/см <sup>2</sup>
Сильная боль	$e$	$>3,6$ Дж/см <sup>2</sup>
Очень сильная боль	$e$	$>6$ Дж/см <sup>2</sup>

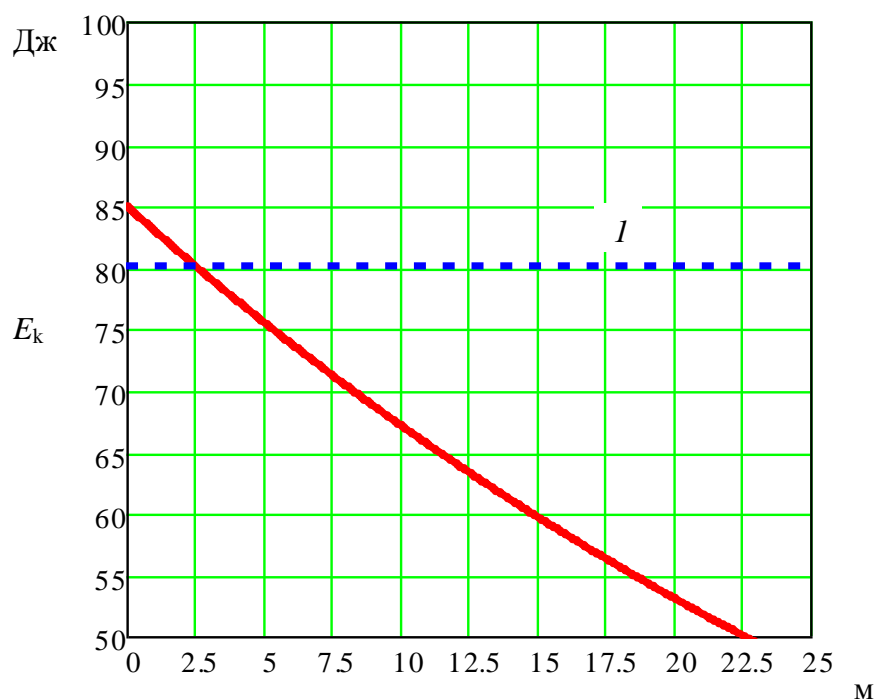
Таблица 5

**Классификация заброневого контузионной травмы по степени тяжести**

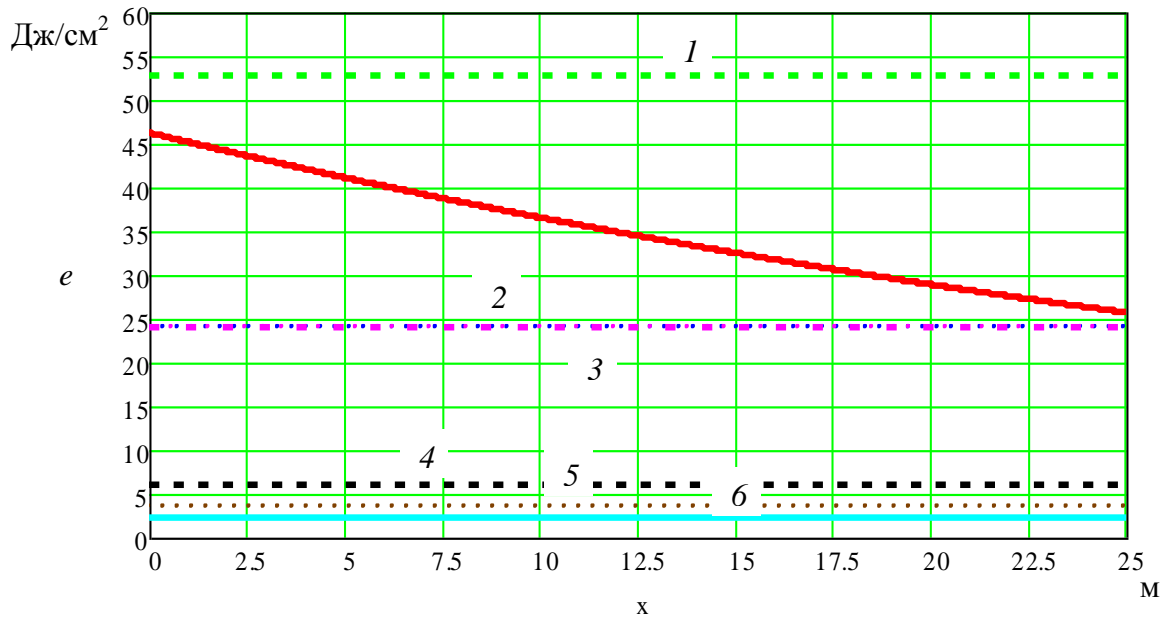
<b>Степень тяжести травмы</b>	<b>Характер морфологических повреждений</b>	<b>Характеристика потери боеспособности</b>
1 легкая	Ссадины кожи, кровоподтеки и ограниченные подкожные гематомы. Единичные очаговые субплевральные кровоизлияния.	Утрата боеспособности до 1-3 мин. Ограниченная боеспособность до 15 мин.
2 средней тяжести	Ссадины и разрывы кожи с кровоизлияниями вокруг повреждения. Ушибленные раны кожи. Очаговые внутримышечные кровоизлияния.	Утрата боеспособности до 3-5 мин. Ограниченная боеспособность до 10 сут.

3 тяжелая	Закрытые и открытые переломы ребер. Разрывы плевры, кровоизлияния в ткань легких. Кровоизлияния под оболочки сердца, под капсулу внутренних органов брюшной полости. Переломы отростков позвонков без повреждения спинного мозга.	Полная утрата боеспособности. Ограниченная боеспособность к 15-20 сут. Вероятны летальные исходы.
4 крайне тяжелая (летальная)	Разрывы и размозжение внутренних органов. Массивные обширные кровоизлияния в вещество внутренних органов. Закрытая травма позвоночника с повреждением спинного мозга. Повреждение крупного кровеносного сосуда (артерии или вены).	Смерть на месте. Смерть вследствие осложнений. Инвалидность.

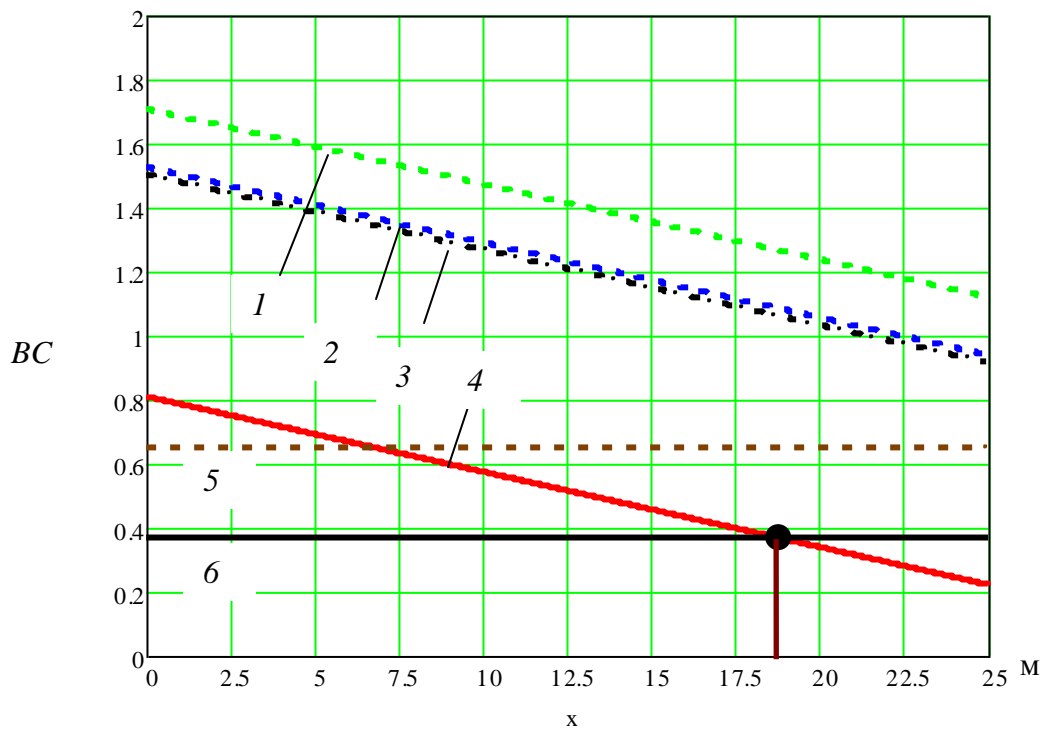
Зависимости изменения основных параметров от пройденного травматическим элементом расстояния представлены на рис. 6, 7, 8. При расчете ВС масса тела человека принималась равной 70 кг.



**Рис. 6** График зависимости кинетической энергии  $E_k$  от расстояния до цели  $x$ ,  $I$  - пороговое значение для повреждения черепа.



**Рис. 7** График зависимости удельной кинетической энергии  $e$  от расстояния до цели  $x$ . Пороговые значения: 1- повреждение ребер с тыльной стороны, 2 - повреждение ребер с фронтальной стороны, 3 – проникание через кожные покровы, 4 - очень сильная боль, 5 - сильная боль, 6 - слабая боль.



**Рис. 8** График зависимости критерия травмы  $BC$  от расстояния до цели  $x$ : 1 и 2 –  $BC$  рассчитан по модифицированной формуле для цели-женщине и мужчине соответственно, 3 и 4 –  $BC$  рассчитан для толщины кожного покрова 3 и 6 см, соответственно; 5 – травма брюшной полости 2-3 степени, 6 – травма грудной клетки 2-3 степени.

Результаты расчетов позволяют сформулировать следующее заключение о травматическом действии кинетического ударника.

- Повреждение черепа (травма 3 степени тяжести) происходит на расстоянии меньшем, чем 2.5 м.

- Непроницающие ранения ребер и повреждения кожи (травма 2 степени тяжести) происходят на любом расстоянии из рассматриваемого диапазона. Повреждений ребер при попадании с тыльной части грудной клетки не происходит.

- На всем рассматриваемом диапазоне происходит проникание пули сквозь кожные покровы с вероятностью 50%, что не позволяет называть её непроницающим кинетическим элементом и существенно увеличивает риск нанесения тяжкого вреда здоровью. Однако, стоит отметить, что в большинстве случаев поверхность тела биообъекта-цели защищена одеждой различной прочности и толщины (особенно актуально в зимнее время) существенно снижающей вероятность подобного типа ранения.

- По критерию ВС для мужчины массой 70 кг и толщине стенки тела – кожных покровов 6 см с 50% вероятностью происходит травма грудной области 2-3 степени тяжести на дистанции выстрела до 19 м и травма брюшной области 2-3 степени тяжести на всей эффективной дистанции выстрела.

- По данным о зависимости болевого воздействия от значения параметра  $e$  был сделан вывод: человек испытывает очень сильную боль при попадании с любого расстояния от 1 до 25 м.

## **РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ ЛЕТАЛЬНОГО ИСХОДА**

Эмпирическая модель Стардивана [7] позволяет оценить возможность летального исхода при получении тупой грудной травмы. С конца 1970-х гг. она применяется разработчиками кинетического ОНД в США в качестве базовой для оценки безопасности действия кинетических ударников.

Зависимость вероятности летального действия ударника от дистанции выстрела можно определить по формуле:

$$P(x) = \left[ 1 + \frac{6,645 \cdot 10^{14}}{\left( mv^2 / dM^{\frac{1}{3}} T \right)^{3,597}} \right]^{-1}.$$

График вероятности летального исхода в зависимости от дистанции выстрела для рассматриваемой пули и цели с параметрами  $M=70$  кг и  $T=6$  см представлена на рис. 9. Вероятность у дульного среза составляет 2%, на расстоянии 5 м – 1,3%, на расстоянии 20 м – 0,38%.

Получены вероятности 0,0032 у дула, 0,0026 на 10 м, 0,0010 на 50 м, 0,0006 на 70 м.

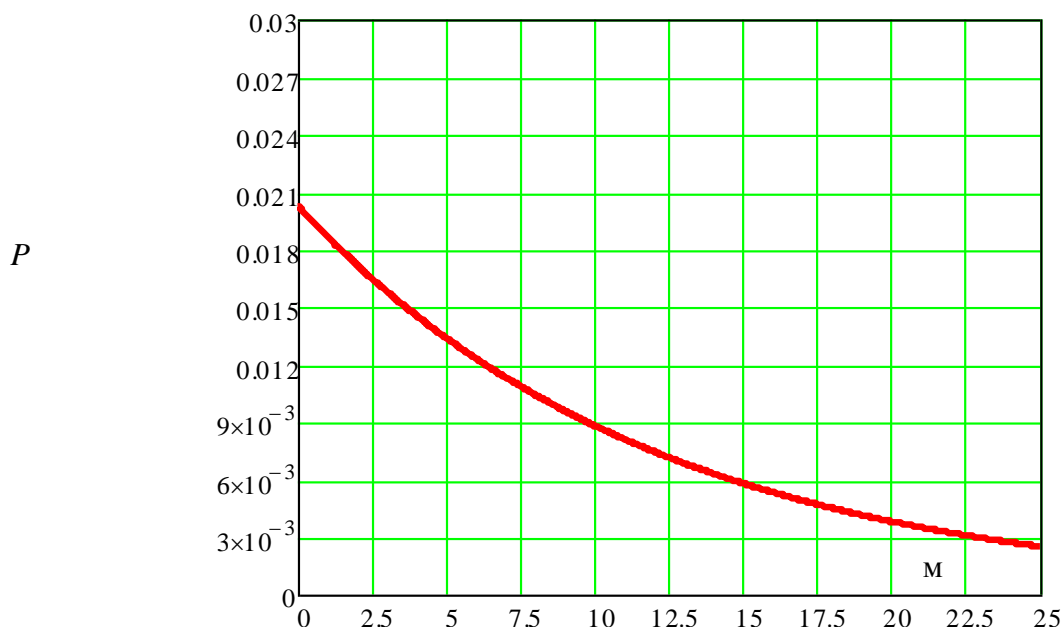


Рис. 9 Расчет вероятности летального исхода по модели Стардивана.

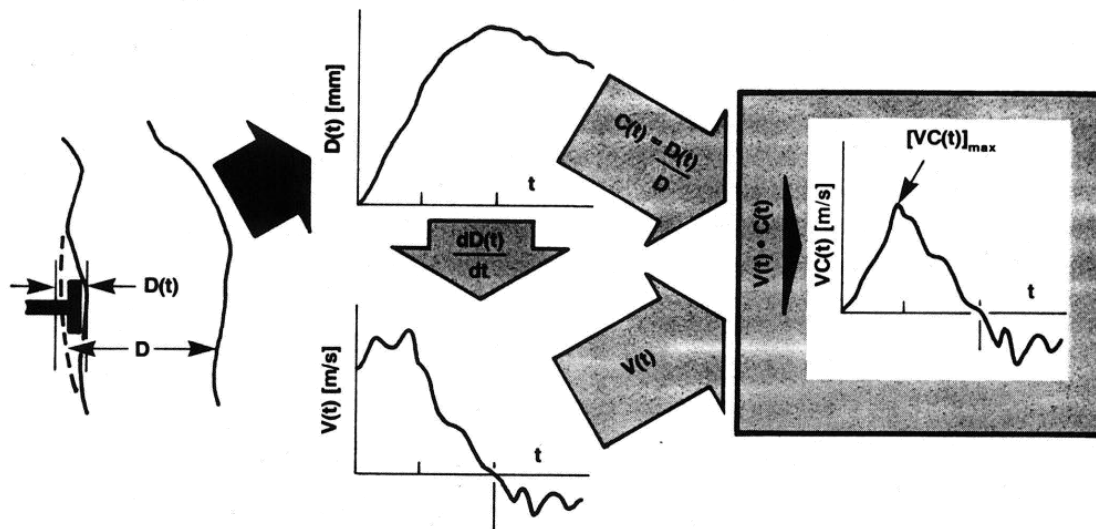
## ВЯЗКОСТНЫЙ КРИТЕРИЙ

Известный метод определения уровня повреждений грудной клетки – это так называемый вязкостный критерий (VC). Этот критерий предназначен для определения серьезности повреждений мягких тканей и радио-респираторной дисфункции, вызванной тупым ударом.

Критерий определяется соотношением скорости деформации грудной клетки ( $V$ , м/с) и величиной сжатия грудной клетки ( $C$ , %) в зависимости от



времени  $t$ . Вероятность и уровень повреждения может быть оценен с использованием критических значений критерия  $VC - VC_{max}$ . Таким образом, в соответствии с этим критерием важное значение имеет не только абсолютная величина прогиба (сжатия) грудной клетки, но и скорость сжатия (рис. 10).



**Рис. 10** Определение вязкостного критерия.

На данный момент этот критерий представляется наиболее оптимальным для оценки действия кинетических непроникающих элементов, однако его определение требует проведения лабораторных экспериментов с использованием биомеханических манекенов. Биомеханические манекены были разработаны как инструмент для оценки тяжести травм для автомобильной промышленности (при автокатастрофах), спортивной индустрии и авиации.

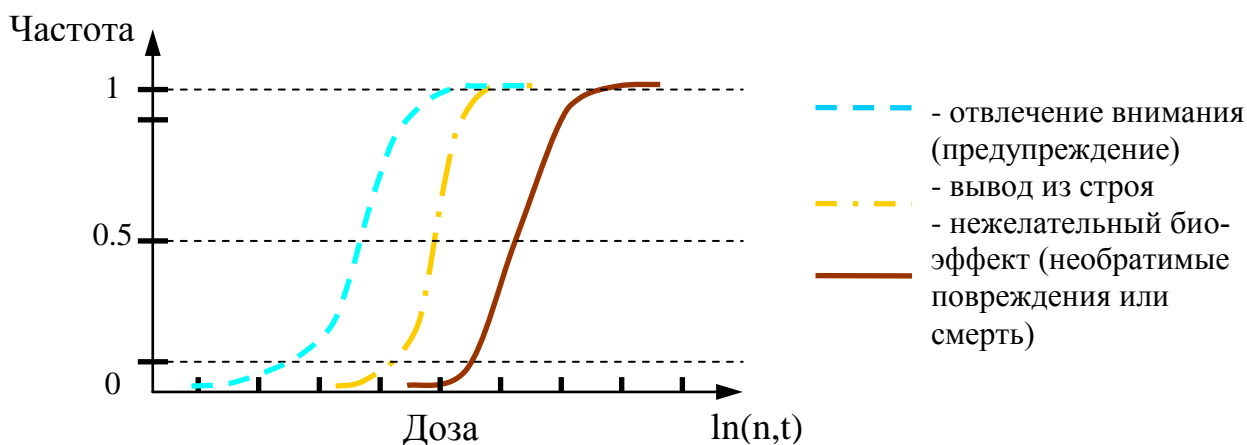
## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Для оценки вероятности возникновения того или иного эффекта воздействия на цель (в данном случае возникновения травмы той или иной степени тяжести) могут использоваться S-кривые «доза-эффект», построенные на основе экспериментальных, теоретических и статистических данных (рис. 11.). Оценкой вероятности будет выступать функция относительной частоты наблюдаемого результата  $A$  в  $n$  независимых реальных экспериментах:

$$N_n(k) = \frac{k}{n} \Leftrightarrow \frac{k(A,n)}{n},$$

где  $k$  – число реализаций наблюдаемого результата  $A$  в  $n$  произведённых испытаниях при условии, что произведённые испытания являются независимыми.

Построение кривых «доза-эффект» для конкретных условий (цели, сценария действий, типа или комбинации типов используемых средств) задача довольно дорогостоящая, сложная и длительная. Однако, качественный вид кривых может быть показан на основе рассмотрения общего математического описания кривых и некоторых количественных данных о дозах, принятых как для уже используемых специальных средств нелетального воздействия, так и в промышленных нормах безопасности.



**Рис 11.** Идеальные кривые «доза-эффект» для трех типов реакции

Наиболее общей формой записи зависимости изменения эффектов в биосистемах от уровня и времени воздействия является интегральный закон распределения Вейбулла, объединяющего показательное и Рэлеевское распределения, при этом общий ответ биосистемы записывается в виде

$$y(x,t) = A \cdot [1 - \exp(-k \cdot (x - x_0) \cdot n)] \cdot [1 - \exp[-q \cdot (t - t_0) \cdot m]] ,$$

где  $x$  – уровень воздействующего фактора (концентрация, доза);  $t$  – время воздействия;  $x_0$  и  $t_0$  – возможные ненулевые значения порога и латентного периода;  $k, q, n, m$  – параметры распределения;  $A$  – коэффициент пропорциональности и размерности. Распределение Вейбулла строго ограничено слева  $y(x \leq x_0) = 0$ .

Кроме того, для аппроксимационной оценки эффектов в качестве интерполяционных формул используются уравнения логистической кривой и модифицированной экспоненты, которые также лежат в основе математических моделей, применяемых для нормирования канцерогенных факторов.

В общем виде логистическая кривая может быть записана уравнением

$$P(d) = \frac{1}{1 + \exp[-b \cdot (d - d_{0,5})]},$$

или

$$P(d) = \frac{1}{1 + \exp[-b \cdot (\ln d - \ln d_{0,5})]},$$

где  $P(d)$  – количественная оценка эффекта, соответствующая дозе  $d$ ;  $d_{0,5}$  – доза, вызывающая эффект, равный половине максимально возможного;  $b$  – коэффициент, определяющий интенсивность прироста эффекта при увеличении дозы.

Модифицированная экспонента записывается следующим образом:

$$P(d) = 1 - \exp[-b \cdot (d - d_0)]$$

где  $d_0$  – доза, соответствующая нулевому эффекту.

Рассмотрев основные зависимости «доза-эффект», можно сделать вывод о целесообразности выбора функции логистической кривой при оценке действия ОНД, на основании следующих доводов:

- большинство дозовых зависимостей имеет вид S-образной кривой и может хорошо аппроксимироваться логистическим уравнением;
- логистическое уравнение отражает современные представления о существовании пределов устойчивости биосистем к воздействиям и о наличии порога в дозовой зависимости, что дает основание для объективного установления предельно допустимых уровней воздействия;
- логистическая кривая не имеет строгого ограничения слева, что более соответствует реальности, поскольку уровень риска может иметь пренебрежимо малые значения, но никогда не равен нулю, вследствие многочисленных особенностей ответа биосистемы на внешние воздействия;

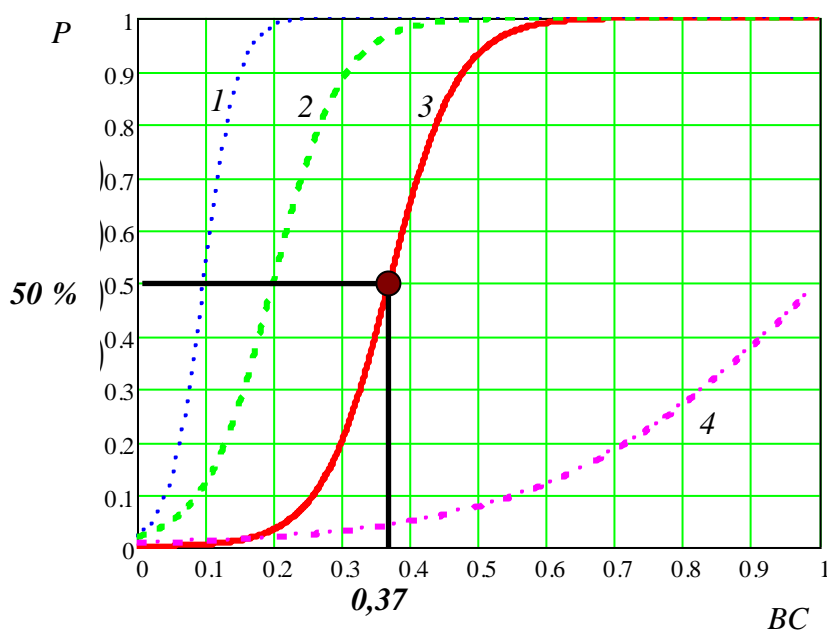
– при расчете эффекта среднесмертельной дозы используется величина  $d_{0,5}$ , которая выступает важным критерием при прогнозировании риска;

– широкое применение логистических кривых в различного рода исследованиях позволяет объективно осуществить медикобиологическое нормирование [8].

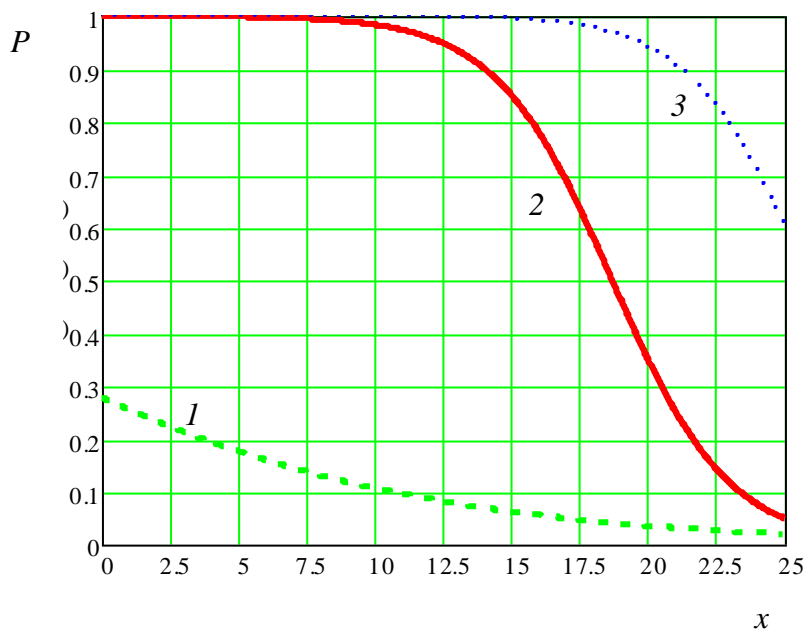
Таким образом, с помощью уравнения логистической кривой можно построить кривые «доза-эффект» для конкретного вида воздействия, причем угол наклона кривой будет определяться по критическому значению  $P_{cr}(d_{cr})$  начального непереносимого воздействия или максимального воздействия.

На рис. 12 представлены рассчитанные зависимости «доза-эффект» для травм грудной клетки различной степени тяжести. В качестве параметра «доза» принят критерий травмы ВС, наиболее полно описывающий взаимодействие кинетического элемента с целью.

На рис. 13 представлены рассчитанные зависимость вероятности возникновения травм грудной клетки различной степени тяжести от дистанции стрельбы для пули пистолета «ОСА».



**Рис 12.** Зависимость вероятности возникновения эффекта от дозы (параметра ВС) для различных степеней тяжести травмы грудной клетки: 1 - легкая, 2 - средней тяжести, 3 - тяжелая, 4 - крайне тяжелая.



**Рис 13.** Зависимость вероятности возникновения травм грудной клетки различной степени тяжести от дистанции стрельбы для пули пистолета «ОСА»: 1 - крайне тяжелая, 2 - тяжелая, 3 - средней тяжести.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ПУЛИ К КОМПЛЕКСУ «ОСА»

Для того, чтобы повысить безопасность использования травматического элемента типа «ОСА» и эффективность его взаимодействия с целью, были сформулированы следующие технические рекомендации:

### 1. Конструкционные изменения в выстреле

Для повышения безопасности и повышения эффективности взаимодействия пули с целью необходимо понизить плотность кинетической энергии, вследствие чего давление на область поражения уменьшится, и проникание в кожные покровы будет маловероятным, а также увеличить останавливающее действие.

Чтобы достичь этих целей, следует изменить площадь  $A$  взаимодействия пули с целью, что приведет к уменьшению плотности энергии  $e$  и улучшению останавливающего действия вследствие увеличения числа болевых рецепторов,

на которые воздействует пуля, а также изменить значения некоторых критериальных кинематических параметров посредством конструкционных изменений в патроне/пуле, что также приведет к снижению плотности кинетической энергии  $e$ .

### 1.2. Увеличение площади взаимодействия пули с целью

Для того чтобы достичь увеличения площади  $A$ , сформулированы следующие рекомендации:

а) Увеличение калибра (требует изменения конструкции оружия)

б) Изменение материала пули на менее упругий и более пластичный. При взаимодействии с целью пуля будет расплющена, что увеличит площадь взаимодействия с целью и, как следствие, плотность кинетической энергии  $e$ .

в) Изменение конструкции боеприпаса. Например, разрез, сделанный на пуле специальным образом, который приводит к раскрытию пули при попадании, либо конструкция пули, выполненная в форме запрессованного в гильзу упругого кольца, которое разворачивалось бы в полете.

### 1.3 Изменение некоторых критериальных параметров

Для того, чтобы понизить площадь кинетической энергии  $e$  взаимодействия с целью, можно понизить кинетическую энергию  $E_k$ . Для того, чтобы сделать это с малой потерей эффективности, были сформулированы следующие рекомендации:

а) Увеличение массы снаряда (например, посредством замены материала сердечника на более плотный) и уменьшение его начальной скорости (например, посредством уменьшения массы пороховой навески). Так как кинетическая энергия имеет квадратичную зависимость от скорости, а импульс – прямую, мы получим значительное уменьшение кинетической энергии при незначительном уменьшении импульса.

б) Изменение формы снаряда с целью улучшения его аэродинамических характеристик (коэффициент лобового сопротивления  $c_x$ ), что приведет к меньшей потере скорости на траектории полета пули.

## 2. Изменения в методике оценки действия травматического оружия.

Необходимо провести оценку действия с использованием экспериментальных данных для построения кривых доза-эффект по критериям *BC* и *VC*. Определить вероятности возникновения повреждений в соответствии со шкалой травм в зависимости от дистанции стрельбы. На основании этих данных сформулировать правила использования травматического оружия сотрудниками правоохранительных органов.

### **ВЫВОДЫ**

1) Была описана феноменология взаимодействия травматического элемента с целью, определены особенности взаимодействия пули с целью. Определены физические величины, оказывающие влияние на действие пули.

2) Определены критериальные параметры, необходимые для оценки действия пули типа «ОСА». В качестве основного параметра выбран критерий травмы *BC*, включающий четыре физических величины, от которых зависит действие пули.

3) Рассчитана внешняя баллистика пули, построена зависимость скорости пули от дистанции стрельбы.

4) Определена зависимость критериальных параметров от дистанции стрельбы и пороговые значения параметров, при которых наносится травма определенной тяжести в соответствии со шкалой травм. Определены дистанции стрельбы, на которых пороговые значения достигаются.

Определено, что на любой дистанции стрельбы при прямом попадании человек испытывает очень сильную боль происходит травма глаза, повреждение ребер фронтальной стороны грудной клетки, существует 50% вероятность проникания в кожные покровы; на дистанции до 2,5 м происходит повреждение черепа, до 7,5 м – травма брюшной полости 2-3 степени тяжести, до 19 м – травма грудной клетки 2-3 степени тяжести; на всем рассматриваемом диапазоне непроникающего ранения ребер с тыльной стороны грудной клетки не происходит.

5) Проанализированы пороговые величины критериальных параметров и построены графики вероятности летального исхода в зависимости от дистанции выстрела по модели Стардивана, а также кривая доза-эффект, отражающая зависимость вероятности возникновения травм грудной клетки различной степени тяжести от дистанции стрельбы для пули пистолета «ОСА».

6) Сформулированы технические рекомендации для модернизации пули типа «ОСА» с целью повышения безопасности использования с наименьшими потерями эффективности. Предложены варианты конструкционных изменений выстрела и методика оценки эффективности/безопасности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 7 февраля 2011 г. N 3-ФЗ «О полиции».
2. Официальный Интернет сайт «ОАО ФНПЦ «НИИ Прикладной химии», раздел «Продукция специального назначения. Технические характеристики» [www.niiph.com/production/specprod/pb4sp](http://www.niiph.com/production/specprod/pb4sp), дата обращения 20.10.2011
3. D.H. Lyon, C.A. Bir, B.J. Patton Injury Evaluation Techniques for Non-Lethal Kinetic Energy Munitions // Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, Report # ART-TR-1868, January 1999.
4. Larry M. Sturdivan, BS, MS, David C. Viano, Dr med, PhD, and Howard R. Champion. Analysis of Injury Criteria to Assess Chest and Abdominal Injury Risks in Blunt and Ballistic Impacts // Journal of trauma, vol. 56, number 3.
5. A. Papy, E. Lemaire Evaluation of kinetic energy non lethal weapons: an aggregated method // Proc. 5th European Symposium on Non-Lethal Weapons, May 11 - 13, 2009.
6. ГОСТ Р 50744-95 «Бронеодежда. Классификация и основные требования» с изменением №1 от 1 января 1999 г. – Изд-во стандартов, 2003
7. D. H. Lyon Development of a 40mm non-lethal cartridge // DT/FL research journal, August 1997.
8. Антомонов М.Ю., Русакова Л.Т. Построение зависимости «доза (уровень фактора)-время-эффект» с использованием экспоненциальных функций // Гигиена и санитария. - 1988. - № 6 - С. 42–44