

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

XI Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2015

Международная научная конференция

СибОптика-2015

Т. 3

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2015

УДК 535
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор экономических наук, доцент, директор ИОиОТ СГУГиТ, Новосибирск
А. В. Шабурова

Доктор технических наук, заведующий кафедрой специальных устройств
и технологий СГУГиТ, Новосибирск
В. С. Айрапетян

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии
и технологии оптического производства СГУГиТ, Новосибирск
О. В. Минин

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой наносистем
и оплотехники СГУГиТ, Новосибирск
Д. В. Чесноков

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр., 13–25 апреля
2015 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2015» : сб. ма-
териалов в 3 т. Т. 3. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 243 с.

ISBN 978-5-87693-819-0 (т. 3)

ISBN 978-5-87693-818-3

ISBN 978-5-87693-795-7

В сборнике опубликованы материалы XI Международного научного конгресса «Ин-
терэкспо ГЕО-Сибирь-2015», представленные на Международной научной конференции
«СибОптика-2015».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 535

ISBN 978-5-87693-819-0 (т. 3)

ISBN 978-5-87693-818-3

ISBN 978-5-87693-795-7

© СГУГиТ, 2015

Сборник включен в систему РИИЦ.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПВЗ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА МСВЗ

Виктор Мартынович Тиссен

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии и технологии оптического производства; Сибирский научно-исследовательский институт метрологии, 630004, Россия, г. Новосибирск, ул. Димитрова 4, тел. (383)361-07-45, (383)229-75-30

В статье приведены сведения о методах прогнозирования ПВЗ, которыми пользовались участники соревновательного проекта МСВЗ за период с 2010 по 2014 г. Рассмотрены главные составляющие в движении северного полюса Земли и скорости ее вращения.

Ключевые слова: вращение Земли, прогнозирование, моделирование, гармоника, координаты полюса.

COMPARISON OF METHODS OF FORECASTING PVZ PROJECT COMPETITION RESULTS IERS

Victor M. Tissen

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., candidate of technical sciences, assistant professor of the Department of metrology and optical technology; Siberian Scientific-Research Institute of Metrology, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrova St., tel. (383)361-07-45, (383)229-75-30

The article presents data on methods of forecasting PVZ used by participants competitive project IERS for the period from 2010 to 2014 are considered the main components of the move north pole of the Earth and the speed of its rotation.

Key words: Earth's rotation, forecasting, modeling, harmonic, coordinates.

В МСВЗ с сентября 2010 года и по настоящее время проводится кампания по сравнению методов прогнозирования параметров вращения Земли (ПВЗ), представленных участниками проекта (<http://www.cbk.waw.pl/ЕОРССР>) из 8 организаций разных стран. В общей сложности в этом проекте представлено около 13 методов, начиная от обычного Фурье анализа с последующей аппроксимацией методом наименьших квадратов (МНК) наиболее значимых гармоник и кончая использованием нейронных сетей и моделей на основе нечёткой логики.

За более чем 4-х летний период проведения проекта накопился достаточно большой статистический материал для оценки эффективности отдельных методов. Основная цель проекта состоит в разработке методики комбинированного прогноза ПВЗ по результатам отдельных выборочных методов. Насколько оправдались ожидания организаторов, еще предстоит выяснить. Из анализа результатов отдельных участников можно отметить, что на ряде участков рядов ПВЗ применение любого метода не обеспечивает получение устойчивых прогнозов. В так называемых «трудных случаях» ошибки прогнозов имеют одина-

ковые знаки и близки по величине. Это можно объяснить наличием в рядах ПВЗ скачкообразных изменений, смоделировать которые в большинстве случаев крайне затруднительно. Поэтому, важно выяснить в каких именно случаях изменений ПВЗ целесообразно применение той или иной модели прогноза. Вопрос выбора модели прогноза в зависимости от характера последних изменений ПВЗ может быть решен только на основе анализа большого статистического материала, который накопился за время проведения проекта МСВЗ.

Из всех рядов ПВЗ наиболее трудно прогнозируемым традиционно считается параметр $dUT1$, так как его динамику в наибольшей степени определяют глобальные изменения тренда. В то время, как в движении полюсов Земли влияние тренда практически пренебрежимо мало в сравнении с периодическими и квазипериодическими составляющими.

На рис. 1 приведен график изменений параметра $dUT1$ с 1656 г. по настоящее время в системе равномерного земного динамического времени TT . Данные для построения графика заимствованы с сайта [http: Historic Delta T and LOD](http://Historic Delta T and LOD).

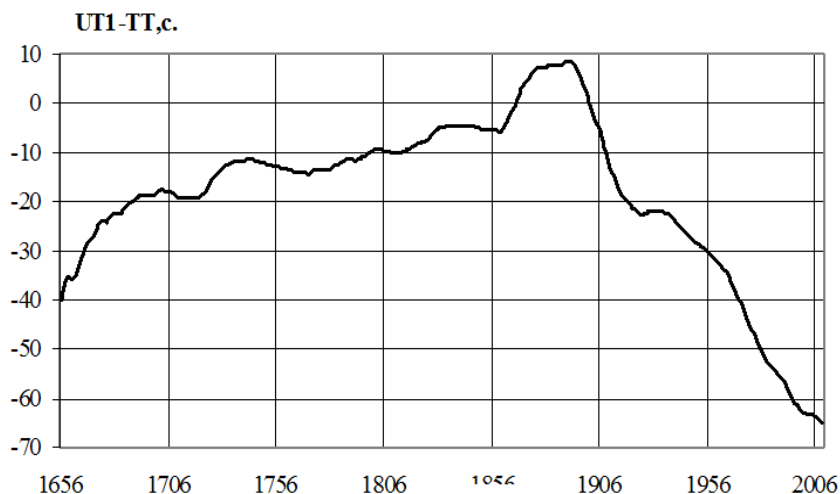


Рис. 1. Неравномерности вращения Земли за период 1650-2012 гг.

Анализируя график на рис. 1 можно отметить, что изменения тренда всемирного времени за прошедшие 3,5 столетия носят нерегулярный характер. Так, постепенное ускорение вращения Земли в прошлые века с начала двадцатого века неожиданно сменилось резким замедлением.

Помимо изменений тренда во вращении Земли наблюдаются периодические сезонные и приливные колебания. Сезонные колебания носят изменчивый характер, в то время как приливные, вызываемые гравитационным воздействием Луны и Солнца на поверхность океанов, стабильны и хорошо предсказуемы.

На рис. 2 приведены графики изменений параметра $dUT1$ за 2014 г. Слева абсолютные изменения всемирного времени относительно равномерной шкалы атомного времени. Справа относительно сглаженной модельной функции.

По данным рис. 2 видно, что на фоне годовой волны (рис. слева) прослеживаются волнообразные приливные колебания с периодом около 27 суток.

Оставшаяся часть изменений всемирного времени (рис. справа) носит стохастический характер и вносит наибольшую неопределенность при построении детерминированных моделей прогнозирования.

В отличие от всемирного времени в изменении полюса доминируют высокочастотные составляющие, главными из которых являются: свободный чандлеровский (1,19 г.) и вынужденный годовой периоды.

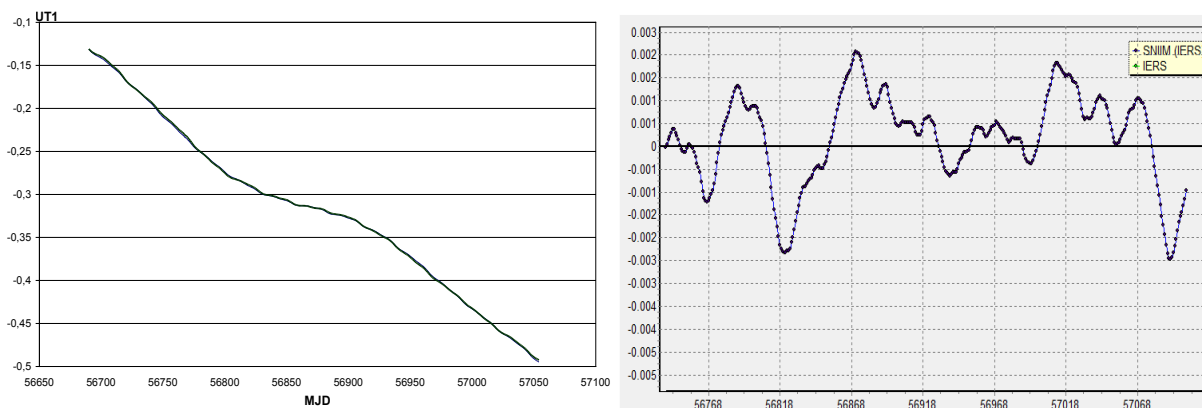


Рис. 2. Изменения параметра всемирного времени за 2014 г.

На рис. 3 показаны графики изменений координат полюса x (нижний) и y (верхний) за 2014 год. Темные линии соответствуют действительным изменениям координат полюса, зеленые линии получены моделированием.

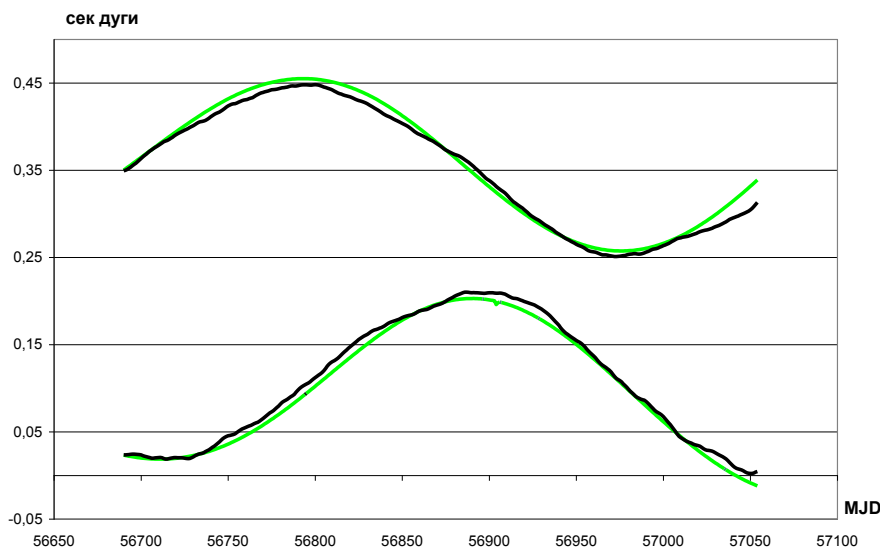


Рис. 3. Изменение координат полюса за 2014 г.

Приведенные на рис. 1-3 графики отражают только общий характер изменений ПВЗ. Детальный анализ всех составляющих этих изменений регулярно публикуется на сайтах МСВЗ и в других литературных источниках, посвященных вопросам вращения Земли.

Из 13 методов прогнозирования всемирного времени в соревновательном проекте МСВЗ наиболее хорошие результаты показали методы, используемые в военно-морской обсерватории США (USNO), в лаборатории реактивного движения (JPL) национального космического агентства США (NASA) и в сибирском НИИ метрологии совместно сибирской государственной геодезической академией (СГГА). Также, следует отметить хорошие результаты, полученные в ГАО Пулково З. М. Малкиным на глубину прогноза более 40 дней. Прогнозы координат полюса, также выполнялись различными методами из которых лучшие результаты показали методы, применяемые в СНИИМ/СГГА, USNO, а также в центре космических исследований польской академии наук (eorcrrp@cbk.waw.pl). Результаты прогнозов по всем ПВЗ в режиме ежедневного обновления доступны на сайте МСВЗ (<http://maia.usno.navy.mil/eorcrrp/eorcrrp.html>).

В табл. 1 представлены лучшие результаты в прогнозировании координат полюса с октября 2010 по февраль 2015 гг. на различные глубины прогноза.

Таблица 1

СКП прогнозов координат полюса участников проекта

Дни прогноза	СКП (координаты полюса)							
	x_p , arcsec				y_p , arcsec			
	СНИИМ	USNO	СВК, Kosek	СВК Kalarus	СНИИМ	USNO	СВК, Kosek	СВК, Kalarus
1	0,32	0,36	0,80	0,51	0,25	0,25	0,54	0,39
10	3,70	3,67	4,38	3,71	2,34	5,56	2,82	2,47
30	9,23	9,55	11,02	9,33	6,07	7,77	7,41	6,62
90	20,03	22,77	24,33	24,79	15,62	21,12	21,72	24,78

Таблица 2

СКП прогнозов всемирного времени участников проекта

Дни прогноза	СКП (Всемирное время, мс)		
	СНИИМ	USNO	NASA
1	0,058	0,057	0,060
10	0,62	0,62	0,65
30	3,32	3,88	3,85
80	8,67	10,56	12,37

Анализируя данные табл. 1 и 2, можно отметить, что метод, разработанный в СНИИМ/СГГА, показывает высокую точность независимо от выбранного параметра ПВЗ и глубины прогноза. При этом, с увеличением глубины точность возрастает в сравнении с другими участниками проекта. Это достигается главным образом за счет последовательного уточнения с помощью МНК параметров прогностической модели на интервалах от 100 лет до 1 года. При этом стохастическая составляющая изменений ПВЗ прогнозируется с помощью моди-

фицированного уравнения регрессии. Полное описание методики СНИИМ/СГГА приведено в работе [1].

Методы, применяемые в МСВЗ (USNO) основаны на оценивании параметров годовой и полугодовой волны на интервалах выборки известных данных до 5 лет непосредственно перед датой прогноза. При этом вначале вычисляются параметры тренда. Для получения окончательного прогноза остаточная функция сглаживается кубическими сплайнами [2].

Заслуживают интерес метод, применяемый Р. Гроссом (JPL, NASA) для прогнозирования всемирного времени на короткие интервалы до 10-15 дней. Однако, как показывают результаты, динамический фильтр Калмана с успехом применяемый Р. Гроссом для прогнозирования всемирного времени, дает прямо противоположный результат для координат полюса.

Параметры движения полюса наиболее качественно предсказываются с помощью обычного МНК экстраполяции полигармонической модели и авторегрессионного прогнозирования, применяемых в двух центрах МСВЗ: военно-морской обсерватории «USNO» и польском центре космических исследований «СВК», а также в СНИИМ/СГГА.

Во многих прогнозах помимо рядов ПВЗ дополнительно использовались геофизические данные, а именно, ряды атмосферного углового момента, являющиеся одним из возбуждающих факторов динамики движения полюса и вращения Земли.

В заключении необходимо отметить, что главным результатом проводимой компании, несомненно, можно считать предоставленные организаторами проекта уникальные возможности для сравнительной апробации разнообразных методов прогнозирования ПВЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тиссен В. М. Методика прогнозирования неравномерностей вращения Земли // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 2. – С. 44–51.
2. McCarthy, D. D., Petit G. Earth Orientation Parameters Prediction Research // IERS Conventions (2003). – Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004. p. 144-148, IERS Technical Note No. 32.

© В. М. Тиссен, 2015

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЛИБРАТОРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ МИНИАТЮРНЫХ АМПУЛ РЕПЕРНЫХ ТОЧЕК

Александр Фёдорович Бродников

Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11, кандидат технических наук, научный сотрудник, тел. (383)329-45-82, e-mail: A.F.Brodnikov@inp.nsk.su

Виктор Яковлевич Черепанов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: cherepanov73@mail.ru

Предложена методика определения метрологических характеристик калибраторов температуры, основанная на использовании реперных точек, воспроизводимых в миниатюрных ампулах. Приведены результаты экспериментальных исследований методики на примере воспроизведения реперной точки индия.

Ключевые слова: ампула реперной точки, калибратор температуры, температура фазового перехода, затвердевание металлов, эталоны температуры, термометрия.

DETERMINATION OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE CALIBRATORS OF TEMPERATURE WITH THE HELP OF TINY VIALS OF REFERENCE POINTS

Alexander F. Brodnikov

Budker Institute of Nuclear Physics, Siberian Branch of Russian Academy of Science, 630090, Russia, Novosibirsk, 11 Akademika Lavrentieva prospect, cand. tech. sci, senior scientist, tel. (383)329-45-82, e-mail: A.F.Brodnikov@inp.nsk.su

Victor Ya. Cherepanov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: cherepanov73@mail.ru

A method for determining the metrological characteristics of temperature calibrators, based on the use of reference points, reproduced in miniature vials. The results of experimental research methods on the example of reproduction reference point of indium.

Key words: ampoule reference point, calibrator temperature, the phase transition temperature, the solidification of metals, standards of temperature, thermometry.

Одной из главных операций при проведении оценки и подтверждении соответствия эталонов и средств измерений установленным требованиям является определение их основных метрологических характеристик. По отношению к эталонам температуры такую операцию проводят с помощью эталонных термометров или эталонных мер более высокого разряда.

К основным метрологическим характеристикам эталонных калибраторов температуры, получивших распространение в последние годы, относятся по-

грешность воспроизведения, нестабильность и неоднородность температурного поля в термометрических каналах теплового блока. Определение этих характеристик в настоящее время осуществляют с помощью эталонных платиновых термометров, которые обладают рядом недостатков. Это, прежде всего, невозможность обеспечить установленную для них, обычно достаточно большую, глубину погружения в каналы теплового блока. Кроме этого, значительная инерционность таких термометров, их низкая метрологическая надежность и необходимость использования прецизионности вторичных приборов ограничивают возможность получения объективной информации определяемых характеристик калибратора.

Другой вариант определения характеристик калибратора, основанный на использовании традиционных крупногабаритных [1] и даже малогабаритных [2] ампул реперных точек, неосуществим из-за невозможности их погружения в каналы теплового блока. В связи с этим в данной работе исследована возможность применения для этих целей реперных точек в миниатюрных ампулах [3,4]. Их важным преимуществом является малый объем, а также безопасность, обусловленная малой массой (менее 10 г) используемых в них химически активных веществ, в частности натрия [5]. Миниатюрность ампулы позволяет также обеспечить их невысокую стоимость, малую инерционность и незатруднительную транспортировку, например, путем почтовой пересылки.

Такие ампулы могут быть использованы в качестве эталонных мер температуры при аттестации калибраторов, а также при поверке и калибровке различных термопреобразователей в жидкостных термостатах взамен традиционных эталонных платиновых термометров. Однако вопросы передачи единицы температуры миниатюрными ампулами требует дополнительных исследований.

В работе [6] предложена и экспериментально исследована методика получения оптимального теплового режима, обеспечивающего достаточную длительность (более 4-х часов) и стабильность (менее 5 мК) площадки затвердевания индия в миниатюрной ампуле при её размещении в термометрическом канале эталонного калибратора. Для этого погружают ампулу в канал калибратора устанавливая его температуру T_2 , превышающую температуру T_{Φ} плавления (рис. 1). Затем его надо сначала охладить (период времени от τ_3 до τ_4) от температуры T_2 до температуры T_0 , которая несколько ниже значения T_X , а затем, после начала площадки затвердевания момент времени τ_5 , вновь установить в нём температуру T_1 , максимально близкую к температуре T_{Φ} затвердевания. Чем ближе значения T_1 и T_{Φ} , тем больше длительность площадки (τ_6) затвердевания и стабильность её температуры.

Такая методика была опробована путём воспроизведения температуры затвердевания индия (156,5985 °С) в миниатюрной ампуле (20x9,5 мм). Для определения метрологических характеристик калибратора при воспроизведении температуры затвердевания индия дифференциальным методом [3] использовалась дифференциальная термопара, изготовленная из медных и константановых термоэлектродов и содержащая 4 пары спаев. Одна пара спаев (опорных) постоянно находится в ампуле, которую погружают в один из каналов калибратора.

ра, а вторая пара спаев (рабочих) находится в стеклянной пробирке, которую размещают в исследуемом канале калибратора.

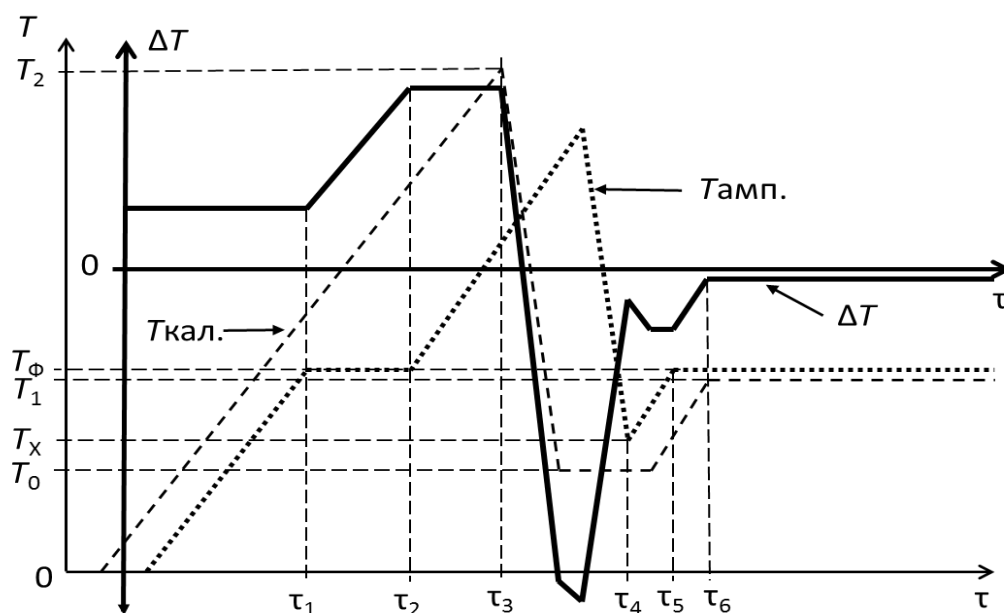


Рис. 1. Температурный режим калибратора ($T_{\text{кал.}}$), ампулы ($T_{\text{амп.}}$) и разности ΔT их температур

Затем устанавливают в калибраторе температуру $T_2 = 157 \text{ }^\circ\text{C}$, превышающую температуру плавления индия. Для получения температуры затвердевания в калибраторе устанавливают сначала температуру $T_X = 155,5 \text{ }^\circ\text{C}$, достаточную для переохлаждения и кристаллизации расплавленного индия, и наблюдают за процессом переохлаждения по сигналу дифференциальной термопары. После выхода на площадку затвердевания (τ_6) устанавливают температуру T_1 калибратора, близкую к температуре T_Φ затвердевания ($156,58 \text{ }^\circ\text{C}$). Максимальная близость температур ампулы и калибратора не только увеличивает продолжительность фазового перехода, но и способствует устранению погрешности, вызванной отводом тепла по проводам термопары.

Отклонения ΔT значений температуры в исследуемом канале калибратора от температуры T_Φ фазового перехода устанавливают по формуле

$$\Delta T = T_1 - T_\Phi = \Delta E / S, \quad (1)$$

где ΔE – сигнал (ТЭДС) дифференциальной термопары, S – её чувствительность при температуре T_0 . Для определения чувствительности термопары при температуре затвердевания индия использована специальная методика [6].

На рис. 2 приведена полученная с помощью описанной методики типичная экспериментальная кривая зависимости от времени сигнала дифференциальной термопары, у которой опорные спаи находятся в ампуле при температуре затвердевания индия, а рабочие спаи – в одном из каналов калибратора. Участок 1 на кривой соответствует полному погружению пробирки с рабочими спаями на дно исследуемого канала калибратора.

Отклонение ΔE составляет для этого участка составляет 15 мкВ, что соответствует значению ΔT равному 0,075 °С, следовательно, действительная температура калибратора для этого участка ниже температуры затвердевания индия на это значение и составляет 156,52°С, а его показания равны значению 156,58 °С. Таким образом погрешность калибратора составляет 0,06°С и не превышает допустимому для него значению, равному 0,085°С. Для участков 2 и 3 значения погрешности становятся ещё меньше и составляют соответственно, 0,015 и 0,01°С. Значение температуры участка 4 калибратора соответствует исходному положению пробирки на дне канала и подтверждает значение, полученное для участка 1 графика.

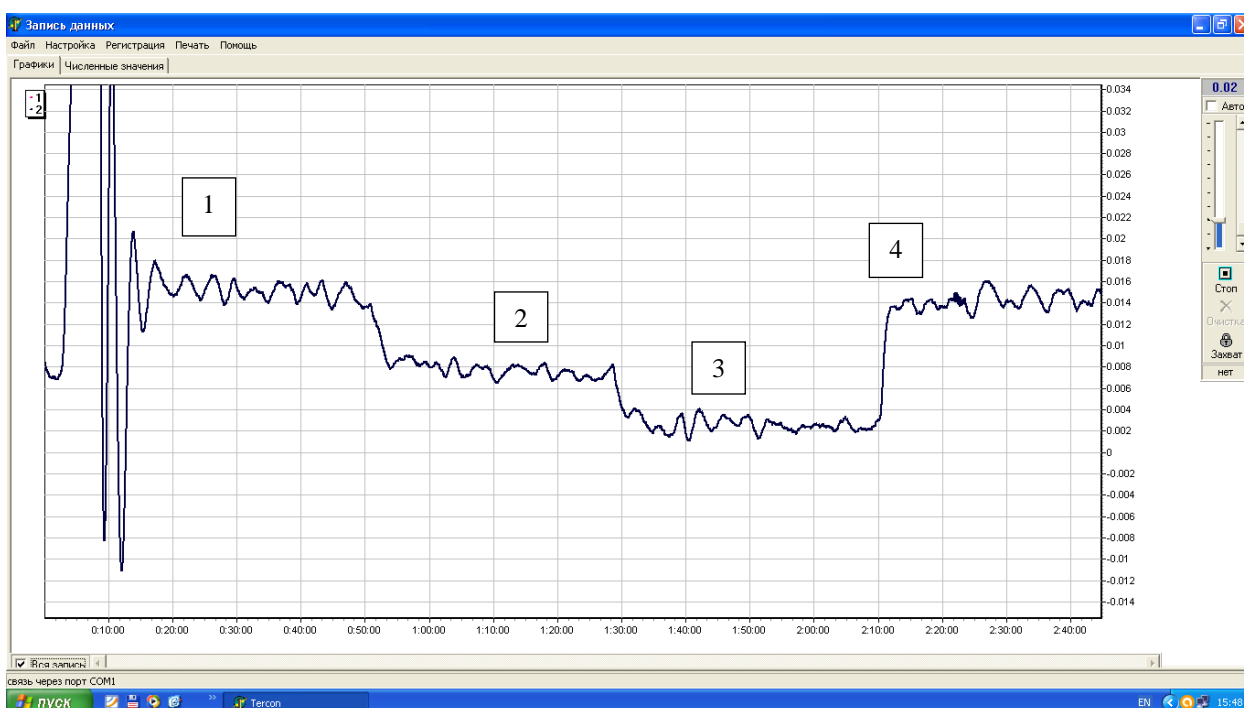


Рис. 2. Отклонения температуры ΔT при исследовании температурного поля в канале калибратора при разной глубине погружения пробирки со спаями термопары:

1 – на дне канала; 2 – на 20 мм выше; 3 – на 40 мм выше; 4 – исходное положение

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность использования миниатюрной ампулы реперной точки затвердевания индия для определения погрешности воспроизведения, неоднородности и стабильности температуры в термометрических каналах калибраторов температуры. Предложенную методику можно использовать при аттестации калибраторов в качестве эталонов и с применением реперных точек других металлов, а также при поверке и калибровке термопреобразователей в жидкостных термостатах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. WG2 / Recommended values of temperature on the ITS-90 for a selected set secondary reference points // Metrologia. – 1996. – № 33. – P. 133 – 154.

2. Шевелев Ю. В., Черепанов В. Я. Реализация реперных точек температурной шкалы в малогабаритных ампулах // Измерительная техника. – 2004. – № 2. – С. 39–42.
3. Бродников А. Ф., Черепанов В. Я. Результаты исследований и перспективы использования миниатюрных ампул реперных точек для воспроизведения и передачи температурной шкалы // Измерительная техника. – 2009. – № 10. – С. 49–52.
4. Бродников А. Ф., Черепанов В. Я. Создание новых средств воспроизведения и передачи температурной шкалы на основе миниатюрных реперных точек /// ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 2. – С. 135–138.
5. Бродников А. Ф., Черепанов В. Я. Определение действительной температуры кипения воды с помощью реперной точки натрия // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 174–177.
6. Бродников А. Ф., Черепанов В. Я. Использование калибраторов температуры для воспроизведения реперных точек в миниатюрных ампулах // Приборы. – 2014. – № 9. – С. 28–33.

© А. Ф. Бродников, В. Я. Черепанов, 2015

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЧЕРНОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ В СИСТЕМЕ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПЛОСКОСТЕЙ

Надежда Анатольевна Вихарева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: milana-maria@mail.ru

Виктор Яковлевич Черепанов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: cherepanov73@mail.ru

Рассмотрена возможность использования закономерностей теплообмена двух плоско-параллельных изотермических поверхностей для измерений их коэффициента черноты. Проведена оценка чувствительности и погрешности такого метода измерений.

Ключевые слова: метод измерений, интегральный полусферический коэффициент черноты, радиационный теплообмен, плотность теплового потока, погрешность измерений.

METHOD OF THE EMISSIVITY SURFACES MEASURING IN THE SYSTEM OF TWO PARALLEL PLANES

Nadegda A. Vikhareva

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., candidate of technical sciences, assistant professor of the Department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: milana-maria@mail.ru

Victor Ya. Cherepanov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: cherepanov73@mail.ru

The possibility of heat transfer laws using of two plane-parallel isothermal surfaces for measurement of its black coefficient. The evaluation of the sensitivity and precision of this measurement method are described.

Key words: the method of measurement, the coefficient of the integral hemispherical emissivity, radiation heat transfer, heat flux density, the measurement error.

Для решения многих задач энергосбережения становятся все более востребованными надежные данные по коэффициенту черноты поверхности теплоэнергетических объектов. От значений этого коэффициента зависит интенсивность радиационного теплообмена объектов с окружающей средой, доля которого от суммарного теплообмена, даже вблизи комнатных температур, может достигать десятков процентов и становится преобладающей при высоких температурах и при теплообмене в условиях вакуума.

Единственным надёжным способом определения значений коэффициента черноты являются его измерения на образцах конкретных материалов и покрытий. Измерения интегрального полусферического коэффициента черноты (в дальнейшем – коэффициента черноты) обычно основаны на законах теплообмена двух тел, имеющих разные температуры. Интенсивность теплообмена (плотность теплового потока) в этом случае зависит от коэффициентов ε_1 и ε_2 черноты их поверхности и разности четвертой степени значений T_1 и T_2 абсолютной температуры этих тел [1]. При этом приведённый (эффективный) коэффициент ε_{12} черноты обычно является сложной комбинацией коэффициентов ε_1 и ε_2 черноты, зависящей от формы и взаимного расположения тел. Наиболее надёжные результаты обеспечивает калориметрический метод измерений [2–5], использующий систему тел, в которой одно тело находится внутри другого тела (оболочки).

Недостатком такого метода является то, что он может быть реализован только в виде достаточно сложных и громоздких измерительных установок, содержащих вакуумную систему, устройства охлаждения и термостатирования, а также средства точных измерений плотности теплового потока и температуры поверхности. Поэтому такие установки не предназначены для широкого применения в испытательных и измерительных лабораториях в качестве мобильных измерительных приборов. В связи с этим актуальна задача создания более простых методов и средств оперативных и точных измерений этого востребованного свойства материалов и покрытий.

Для решения этой задачи представляет интерес разработка метода измерений, основанного на использовании параллельного расположения плоских теплообменных поверхностей двух тел, для которого теоретически установленная зависимость коэффициента ε_{12} от значений ε_1 и ε_2 имеет вид (1)

$$\varepsilon_{12} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2}. \quad (1)$$

В этом случае суммарная плотность q_{12} теплового потока в воздушном зазоре между поверхностями определяется известным из теории теплообмена соотношением

$$q_{12} = q_\lambda + q_\varepsilon. \quad (2)$$

Здесь q_λ – плотность кондуктивного теплового потока, обусловленная теплопроводностью λ воздушного слоя толщиной h в зазоре, которую можно рассчитать по формуле

$$q_\lambda = \frac{\lambda(T_2 - T_1)}{h}. \quad (3)$$

Плотность q_ε радиационного теплового потока в зазоре, входящую в (2), можно определить по формуле

$$q_\varepsilon = \varepsilon_{12} \sigma (T_2^4 - T_1^4) = \varepsilon_{12} A. \quad (4)$$

Отсюда следует соотношение для определения приведенного коэффициента ε_{12} черноты:

$$\varepsilon_{12} = \frac{q_\varepsilon}{A} = \frac{q_{12} - q_\lambda}{A}. \quad (5)$$

Если тела имеют разные покрытия ($\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$), то искомый коэффициент ε_1 черноты одного из тел, как следует из (1), равен

$$\varepsilon_1 = \left[1 + 1/\varepsilon_{12} - 1/\varepsilon_2 \right]^{-1} \quad (6)$$

Уравнение косвенных измерений для нахождения значений ε_1 , с учётом (1), имеет вид

$$\varepsilon_1 = \left[1 + A/(q_{12} - q_\lambda) - 1/\varepsilon_2 \right]^{-1}. \quad (7)$$

Входящую в (7) величину A можно считать постоянной, если поддерживать в процессе измерений неизменными заданные значения T_1 и T_2 . Значение A можно рассчитать по (4), используя результаты измерений температуры T_1 и T_2 с учётом того, что постоянная Стефана-Больцмана σ равна $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴). Плотность q_{12} суммарного теплового потока в зазоре можно измерить с помощью контактных датчиков, расположенных на внутренней стороне теплообменных поверхностей покрытий. Плотность q_λ теплового потока также можно считать постоянной, если неизменны значения A и толщины h воздушного зазора. Постоянная плотность теплового потока q_λ соответствует значению q_{12} при отсутствии радиационного теплового потока в зазоре ($q_\varepsilon = 0$). Поэтому её можно определить экспериментально путём измерений покрытий с близким к нулю коэффициентом черноты.

Если тела имеют одинаковое покрытие ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$), то искомый коэффициент ε_1 черноты каждого из тел равен

$$\varepsilon_1 = 2 \left[1 + 1/\varepsilon_{12} \right]^{-1}. \quad (8)$$

При этом уравнение измерений для нахождения значений ε_1 принимает, с учётом (1), вид

$$\varepsilon_1 = 2 \left[1 + A/(q_{12} - q_\lambda) \right]^{-1}. \quad (9)$$

Однако использовать напрямую формулы 7 и 9 в качестве уравнений измерений коэффициента черноты затруднительно по ряду причин. Во-первых, соотношение (1) строго выполняется только для случая, когда у одной из поверхностей коэффициент черноты равен 1,0. При его значении, равном 0,95, погрешность измерений достигает 5%, а при значении 0,9 – 10%. Во-вторых, формула (3) получена для двух бесконечных плоскопараллельных поверхностей. Такое усло-

вие можно выполнить лишь приближённо. В-третьих, для константы A , входящей в уравнения (7) и (9), необходимы не только её постоянство, но и достоверное определение её значений, основанное на точных измерениях температуры поверхности покрытий, входящей в формулы (7) и (9), в четвертой степени. Кроме этого, из-за отсутствия надёжных данных по теплопроводности λ воздушного зазора влияние кондуктивной составляющей q_λ теплового потока можно определить только экспериментально. Поэтому абсолютные измерения, основанные на уравнениях (7) и (9), хотя и возможны, но их реализация затруднена по указанным причинам.

Поэтому предпочтительнее использовать относительные измерения, основанные на предварительно установленной градуировочной зависимости значений плотности $q_\varepsilon = q_{12} - q_\lambda$ теплового потока в зазоре от коэффициента ε_1 черноты, которую можно определить с помощью стандартных образцов (СО) поверхности с известными коэффициентами черноты. На рис. 1 приведены такие зависимости, рассчитанные по соотношениям, следующим из (7) и (9) для $T_1 = 290$ К и $T_2 = 310$ К. Когда $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$, зависимость имеет вид

$$q_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 A}{1 + \varepsilon_1/\varepsilon_2 - \varepsilon_1}. \quad (10)$$

Видно, что она близка к линейной, особенно для $\varepsilon_2 \rightarrow 1$, когда выполняется условие: $1/\varepsilon_1 \gg 1/\varepsilon_2 - 1$. При этом изменение ε_1 на 1% приводит к возрастанию q_ε на 1%. Для случая, когда $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, зависимость приобретает вид кривой

$$q_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 A}{2 - \varepsilon_1}. \quad (11)$$

В области малых значений ε_1 ($2 \gg \varepsilon_1$) она близка к линейной. При больших значениях ε_1 чувствительность q_ε к изменению ε_1 на 1% заметно возрастает и достигает 2%.

Таким образом, можно сделать вывод, что для построения градуировочной зависимости (10) достаточно использовать два СО, а для зависимости (11) – три. Однако во втором случае ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2$) чувствительность метода в области больших значений коэффициента черноты в два раза выше. При этом еще исключается влияние неопределенности и нестабильности значений ε_2 на характер градуировочной зависимости. Поэтому этот вариант метода является предпочтительным и особенно для случая измерений больших значений коэффициента черноты.

Погрешность измерений при осуществлении рассмотренного метода определяется, главным образом, нестабильностью и невоспроизводимостью задаваемых значений T_1 и T_2 температуры (1%), погрешностью определения плотности радиационного теплового потока (2%), а также неопределённостью значений коэффициента черноты образцов, использованных для построения градуировочной зависимости (2%). Квадратичное суммирование этих составляю-

ших погрешности с коэффициентом 1,4 даёт достаточное для практических целей значение суммарной погрешности метода, равное 3,5.

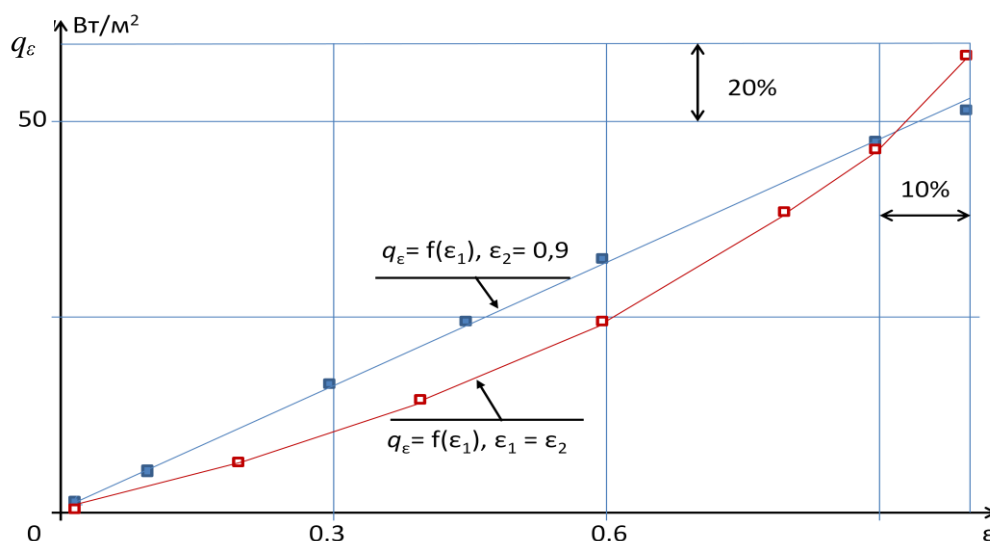


Рис. 1. Теоретические зависимости $q_\epsilon = f(\epsilon_1)$ для $T_1 = 290$ К и $T_2 = 310$ К

Рассмотренный метод может быть реализован в виде компактного мобильного прибора, позволяющего проводить точные измерения коэффициента черноты покрытий в широком диапазоне температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 367 с.
2. Излучательные свойства твердых материалов / справочник под ред. А. Е. Шейндлина. – М.: Энергия. – 1974. – 472 с.
3. Черепанов В. Я. Относительные измерения интегральной излучательной способности материалов модуляционным методом // Измерительная техника. – 1981. – № 5. – С. 36.
4. Мисяченко И. И., Черепанов В. Я. Измерительная установка для исследования и аттестации стандартных образцов излучательных свойств / Вопросы авиационной науки и техники. Авиационные материалы. Оптико-физические свойства материалов // науч.-тех. сб. – М.: ВИАМ, 1989. – С. 44–49.
5. Черепанов В. Я. Разработка методов и средств метрологического обеспечения измерений коэффициентов теплового излучения материалов // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск: СГГА, 2005. Т. 6. – С. 176–181.

© Н. А. Вихарева, В. Я. Черепанов, 2015

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Елена Юрьевна Кутенкова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-79, e-mail: kutenkova.elena@yandex.ru

Татьяна Вячеславовна Ларина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-79, e-mail: larina_t_v@mail.ru

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

В статье рассматривается новая усовершенствованная конструкция оптоэлектронного колориметра для контроля жидких углеводородов, которая позволяет осуществлять контроль в ходе технологического процесса перекачки полупрозрачной жидкости, кроме того многократное отражение дает возможность с большей точностью определять оптическую плотность, светопропускание, светопоглощение, а также наличие и содержание компонентов в составе жидкостей.

Ключевые слова: жидкие углеводороды, качество нефтепродуктов, коэффициенты отражения и пропускания, многократное отражение и пропускание.

OPTOELECTRONIC DEVICE FOR MEASURING INDICATORS THE QUALITY OF LIQUID HYDROCARBONS

Elena Yu. Kutenkova

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., engineer of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-79, e-mail: kutenkova.elena@yandex.ru

Tatiana V. Larina

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior teacher of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-79, e-mail: larina_t_v@mail.ru

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

This article discusses a new improved design of optoelectronic colorimeter for the control of liquid hydrocarbons, which allows you to control during the manufacturing process of pumping translucent liquid, in addition a lot of times the reflection gives the opportunity to more accurately determine the optical density, light transmission, light absorption, and the presence and contents of the components in the composition of liquids.

Key words: liquid hydrocarbons, the quality of petroleum products, the coefficients of reflection and transmission, multiple reflection and transmission.

Основной задачей технического анализа и контроля жидких углеводородов является возможность однозначно охарактеризовать их физико-химические и эксплуатационные свойства с учетом особенностей применения. Требования по показателям качества, предъявляемые жидким углеводородам, содержатся в стандартах и технических условиях, в которые включают требования по составу и физико-химическим свойствам нефтепродуктов и некоторые важнейшие показатели, характеризующие их эксплуатационные свойства.

Во всех случаях анализ нефтепродуктов осуществляют по тем показателям, которые включены в стандарт на этот продукт. При анализе и контроле качества жидких углеводородов применяют различные физико-химические и специальные методы и многочисленные приборы и установки. Кроме того, методы оценки состава нефтепродуктов и их физико-химических свойств широко используют как при контроле процесса производства жидких углеводородов, так и при определении их марок, хранении и транспортировке.

Прежде всего, рассмотрим сырую нефть, которая является жидкой природной ископаемой смесью углеводородов широкого физико-химического состава и содержит растворенный газ, воду, минеральные соли, механические примеси и служит основным сырьем для производства жидких энергоносителей (бензина, керосина, дизельного топлива, мазута), смазочных масел, битумов и кокса.

Свойства жидких углеводородов определяют направление их переработки и влияют на продукты, получаемые из нефти, поэтому существуют различные виды классификации, которые отражают химическую природу жидких углеводородов и определяют возможные направления переработки.

Качество нефтепродуктов определяется их составом: именно он определяет направление переработки нефти и влияет на конечные продукты.

Важнейшими характеристиками свойств жидких углеводородов являются:

- плотность нефти;
- показатель преломления;
- фракционный состав;
- содержание серы;

- содержание парафинов;
- содержание воды;
- содержание хлористых солей;
- вязкость;
- содержание механических примесей;
- цвет;
- давление насыщенных паров.

В статье рассматривается устройство на базе оптоэлектронного метода для контроля оптических характеристик жидких углеводородов.

Цвет полупрозрачных нефтепродуктов (бензина, масла, автола, мазута и т.п.), выпускаемых нефтеперерабатывающей промышленностью, является значимым показателем их качества.

Концентрацию одного нефтепродукта в другом определяют по интенсивности окраски их смеси на основании закона Бугера-Ламберта-Бера:

$$\Phi_{\lambda} = \Phi_{0\lambda} e^{-k_{\lambda} C d} \quad (1)$$

где Φ_{λ} – поток монохроматического излучения с длиной волны λ , после прохождения через нефтепродукт; $\Phi_{0\lambda}$ – первоначальный поток монохроматического излучения, попадающий в нефтепродукт; k_{λ} – коэффициент поглощения, зависящий от длины волны излучения, природы растворенного нефтепродукта и температуры; C – концентрация растворенного вещества; d – толщина поглощающего слоя.

Преобразованием данного уравнения можно получить основные фотометрические величины, применяемые в практике. Это – оптическая плотность D , светопропускание T_{λ} , светопоглощение A_{λ} . В зависимости от коэффициента поглощения k_{λ} и толщины слоя d , можно определить концентрацию растворенного вещества C [1].

В практических решениях, преобразовывая световые потоки $\Phi_{0\lambda}$ и Φ_{λ} с помощью оптоэлектронных преобразователей в соответствующие электрические сигналы Y_0 и Y , можно по их величине определить те или иные оптические характеристики нефтепродуктов. При работе оптоэлектронного преобразователя на линейном участке световой характеристики, когда

$$\Phi = K_x Y, \quad (2)$$

где K_x – коэффициент пропорциональности. Учитывая (2), можно записать

$$D = \lg \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{0\lambda}} = \frac{Y}{Y_0} = K_{\lambda} C d \quad (3)$$

$$T_{\lambda} = \frac{\Phi_{\lambda}}{\Phi_{0\lambda}} \times 100\% = \frac{Y}{Y_0} \times 100\% \quad (4)$$

$$A_{\lambda} = \frac{\Phi_0 - \Phi}{\Phi} \times 100\% = \frac{Y_0 - Y}{Y} \times 100\% \quad (5)$$

Из этих уравнений видно, что оптическая плотность D прямо пропорциональна концентрации вещества в растворе. Если изменение концентрации C раствора красителя или любого химического компонента вызывает изменение K_λ , то будем иметь отклонение от закона Бугера-Ламберта-Бера. [1].

Эти характеристики предлагается определять при помощи оптоэлектронного устройства, конструкция которого изменена по сравнению с ранее рассматриваемыми в работах [2 - 10] колориметрами.

Контроль жидких углеводородов осуществляется при прохождении светового потока через контролируемую среду. Колориметр (рис. 1) содержит задающий генератор 7 (источник импульсного напряжения) коммутатор 8, светоизлучающие диоды 9 и 5, контролируемая жидкость 2, посеребренные пластины 3 с отражающими поверхностями, измерительные фотоприемники 6 и 10, блок обработки фотоэлектрического сигнала 11, регистрирующий прибор 14 (например, э.в.м.). Лазерный диод 9 и измерительный фотоприемник 11 образуют опорную оптопару, которая предусмотрена для того, чтобы сравнивать измерительные сигналы с сигналом опорного канала и обеспечивать достоверность результатов измерения. Кювета, в которую подаются жидкие углеводороды в процессе контроля, выполняется в виде четырех склеенных плоскопараллельных пластин с отражающими поверхностями. К кювете присоединяется стеклянная градуированная воронка 1, куда заливается контролируемая жидкость 2. Снизу полость может перекрываться краном 4.

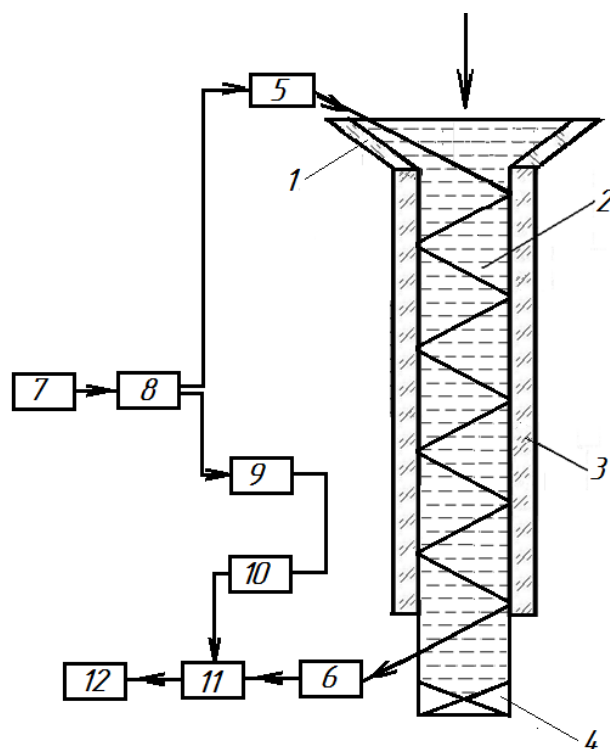


Рис. 1. Схема фотоколориметра

Основные технические характеристики устройства: Абсолютная погрешность измерений не более 0.010 Б в диапазоне оптической плотности 0.000–0.800 Б; длины волн источников излучения могут изменяться, предлагается использовать следующие 920, 680, 560, 450 нм. Питание 220 В, 50 Гц, 3 Вт; Габариты прибора 200 × 50 × 200 мм, масса ≤ 3.0 кг.

Точность измерений повышена благодаря многократному прохождению излучения через исследуемый объект и стационарному расположению кюветы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оптоэлектронный анализатор цвета полупрозрачных жидкостей / Н. Р. Рахимов, О. К. Ушаков, Е. Ю. Кутенкова и др. // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. :

сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 5, ч. 1. – С. 123–128.

2. Оптоэлектронный метод анализа физико-химических параметров нефти и нефтепродуктов / Н. Р. Рахимов, Е. Ю. Кутенкова, Т. В. Ларина и др. // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 1. – С. 173–179.

3. Кутенкова Е. Ю. Разработка оптоэлектронного фотоколориметра для автоматического анализа жидких сред // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 5, ч. 1. – С. 191–195.

4. Пат. 2413201 Российская Федерация, МПК51 G01N 21/03. Оптоэлектронный фотоколориметр / Рахимов Б. Н., Ушаков О. К., Кутенкова Е. Ю., Ларина Т. В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия». – № 2009146659/28; заявл. 15.12.2009; опубл. 27.02.11, Бюл. № 6. – 4 с. : ил.

5. Пат. ат. 2485484 Российская Федерация, МПК51 G01N 21/03. Оптоэлектронный многопараметровый колориметр / Рахимов Б. Н., Кутенкова Е. Ю., Мадумаров Ш. И., Алижанов Д. Д., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирская государственная геодезическая академия». – № 2011153209/28; заявл. 26.12.2011; опубл., Бюл. № 17. – 7 с. : ил.

6. Оптоэлектронный автоматический колориметр / Б. Н. Рахимов, О. К. Ушаков, Е. Ю. Кутенкова, Т. В. Ларина // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – № 5. – С. 161–162.

7. Кутенкова Е. Ю. Оптоэлектронный многопараметровый автоматический колориметр // Датчики и системы. – 2012. – № 4 (155). – С. 37–39.

8. Ушаков О. К., Кутенкова Е. Ю., Серьезнов А. Н. Автоматический колориметр на основе оптоэлектронных преобразователей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 146–151.

9. Рахимов Н. Р., Кутенкова Е. Ю., Серьезнов А. Н. Принципы построения оптоэлектронных устройств для контроля параметров жидких сред // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 296–301.

10. Математическая модель работы устройства измерения оптических параметров жидких сред / Е.Ю. Кутенкова, Т.В. Ларина и др. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 104–109.

© Е. Ю. Кутенкова, Т. В. Ларина, О. В. Минин, И. В. Минин, 2015

ПРИБОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Геннадий Владимирович Шувалов

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, кандидат технических наук, и. о. директора, тел. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Иван Владимирович Клековкин

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, зам. начальника лаборатории, тел. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Мария Геннадьевна Клековкина

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, инженер, тел. (383)210-12-65

Ольга Александровна Ясырова

Омский институт водного транспорта, 644099, Россия, г. Омск, ул. Ивана Алексея, 2, доцент кафедры физики, тел. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Екатерина Андреевна Костенко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант

В статье рассмотрены вопросы разработки приборов контроля и мониторинга качества нефтепродуктов.

Ключевые слова: мониторинг, нефтепродукты, приборы.

DEVICES FOR MONITORING OF QUALITY OF OIL PRODUCTS

Gennady V. Shuvalov

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, Dimitrov Ave., 4, Cand. Tech. Sci. of sciences, acting director, tel. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Ivan V. Klekovkin

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., deputy chief of laboratory, tel. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Maria G. Klekovkina

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., engineer, tel. (383)210-12-65

Olga A. Yasyrova

Omsk Institute of water transport, 644099, Russia, Omsk, 2 Ivan Alekseev St., associate professor of physics, tel. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Ekaterina A. Kostenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., graduate student

In article questions of development of devices of control and monitoring of quality of oil products are considered.

Key words: monitoring, oil products, devices.

В техническом регламенте «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» установлены обязательные требования к показателям нефтепродуктов, связанные с безопасностью их применения, но не нормируются требования к качеству нефтепродуктов, связанные с надежной и безотказной работой транспортных двигателей, несмотря на то, что для потребителей топлива и владельцев автотракторной техники являются весьма важными.



Эти показатели качества могут значительно отличаться от стандартных, в основном, из-за нарушения условий транспортировки и хранения, и могут стать причиной выхода из строя техники или значительным экономическим потерям. Для исключения случаев использования некачественного топлива, все чаще крупные потребители топлива пытаются самостоятельно контролировать основные показатели качества нефтепродуктов.

Таким образом, на сегодняшний день является актуальной задача осуществления оперативного мониторинга качества нефтепродуктов в местах его реализации и использования.

Для решения этих задач в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии были разработаны измерительные приборы (анализаторы) для анализа параметров нефтепродуктов (табл. 1) [1].

Наибольший интерес к разработанным приборам проявляют предприятия, которые заинтересованы в контроле качества нефтепродуктов.

Приборы для анализа нефтепродуктов

<p>Анализатор СИМ-5</p> 	<p>Анализатор СИМ-5 предназначен для измерения температуры вспышки нефтепродуктов в полуавтоматическом режиме при оперативном контроле их качества.</p> <p>Принцип действия анализатора СИМ-5 основан на нагревании контролируемого нефтепродукта электронагревателем, периодическом поджигании паров нефтепродукта и измерение температуры, при которой происходит вспышка.</p>
<p>Анализатор СИМ-6</p> 	<p>Анализатор СИМ-6 предназначен для измерения содержания серы в светлых нефтепродуктах (бензин, керосин, дизтопливо), а также в других нефтепродуктах, полностью сгорающих в горелке анализатора, и может применяться для оперативного контроля их качества.</p>
<p>Анализатор СИМ-8</p> 	<p>Анализатор СИМ-8 предназначен для измерения кинематической вязкости нефтепродуктов при нагревании их до 100°C при оперативном контроле их качества. Метод определения кинематической вязкости соответствует ГОСТ 33-2000.</p> <p>Принцип действия анализатора основан на измерении времени истечения контролируемого нефтепродукта через капилляр стеклянного стандартного вискозиметра ВПЖ-4 ГОСТ 10028-81 с последующим расчетом значения кинематической вязкости.</p>
<p>Анализатор СИМ-10</p> 	<p>Анализатор СИМ-10 предназначен для разгонки автомобильных бензинов по методике ГОСТ 2177-82 «Нефтепродукты. Метод определения фракционного состава».</p>
<p>Анализатор СИМ-11</p> 	<p>Анализатор СИМ-11 предназначен для измерения температуры застывания нефтепродуктов при оперативном контроле их качества.</p> <p>Принцип действия анализатора основан на охлаждении образца контролируемого нефтепродукта хладагентом (жидкий азот) с заданной скоростью до температуры, при которой образец остается неподвижным.</p> <p>Указанная температура измеряется и принимается за температуру застывания.</p> <p>Конструктивно анализатор состоит из криостата, выполненного на сосуде Дьюара, и измерительного прибора.</p>

В настоящее время лабораториями «КЛАН-1», укомплектованными разработанными приборами (рис. 1), оснащены ряд организаций Новосибирской, Кемеровской, Красноярской и Курганской областей, а также стран СНГ (Республики Казахстан и Узбекистан).



Рис. 1. Салон мобильной лаборатории «КЛАН-1», укомплектованный анализаторами СИМ

Таким образом, выполненные во ФГУП «СНИИМ» разработки новых приборов для определения параметров нефтепродуктов позволили на их основе создавать измерительные комплексы контроля и мониторинга качества топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов Г. В. Перспективы создания метрологического комплекса для определения параметров судовых горюче-смазочных материалов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 306–309.

© Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин,
М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНАЛИЗАТОРА СОДЕРЖАНИЯ СЕРЫ В НЕФТЕПРОДУКТАХ СИМ-6

Геннадий Владимирович Шувалов

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, кандидат технических наук, и. о. директора, тел. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Иван Владимирович Клековкин

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, зам. начальника лаборатории, тел. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Мария Геннадьевна Клековкина

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, инженер, тел. (383)210-12-65

Ольга Александровна Ясырова

Омский институт водного транспорта, 644099, Россия, г. Омск, ул. Ивана Алексеева, 2, доцент кафедры физики, тел. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Екатерина Андреевна Костенко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант

В статье приведены результаты исследований влияющих факторов на метрологические характеристики анализаторов серы.

Ключевые слова: топливо, метрологические характеристики, анализатор серы.

RESEARCH OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ANALYZER OF THE CONTENT OF SULFUR IN SIM-6 OIL PRODUCTS

Gennady V. Shuvalov

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, Dimitrov Ave., 4, Cand. Tech. Sci. of sciences, acting director, tel. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Ivan V. Klekovkin

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., deputy chief of laboratory, tel. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Maria G. Klekovkina

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., engineer, tel. (383)210-12-65

Olga A. Yasyrova

Omsk Institute of water transport, 644099, Russia, Omsk, 2 Ivan Alekseev St., associate professor of physics, tel. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Ekaterina A. Kostenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., graduate student

Results of researches of the influencing factors on metrological characteristics of analyzers of sulfur are given in article.

Key words: fuel, metrological characteristics, sulfur analyzer.

Для повышения экологической безопасности энергетических установок в России действует технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту», который предъявляет обязательные требования к качеству топлив по основным показателям, в том числе по содержанию серы.

Требования к выбросам оксида серы постоянно ужесточаются, что проявляется в ограничении содержания серы в топливе: например, в судовом топливе в 2012 г. содержания серы должно уменьшится с 4,5% до 3,5%, а с 2020 г. – до 0,5%. Поэтому определение содержания серы в топливе является одним из основных анализов нефтепродуктов.

В [1] была разработана методика определения серы в нефтепродуктах с использованием кондуктометрического метода, а также прибор с ее использованием [2].

Структурная схема прибора включает в себя следующие основные элементы (рис. 1):

- кондуктометрические ячейки 8 и 9 с электродами 10, 11;
- горелка для сжигания топлива 14;
- аспиратор 12 для прокачивания SO₂;
- дозатор 15;
- генератор озона 7 с компрессором 6;

- схема измерения 2 со схемой управления 3;
- блок питания 4.

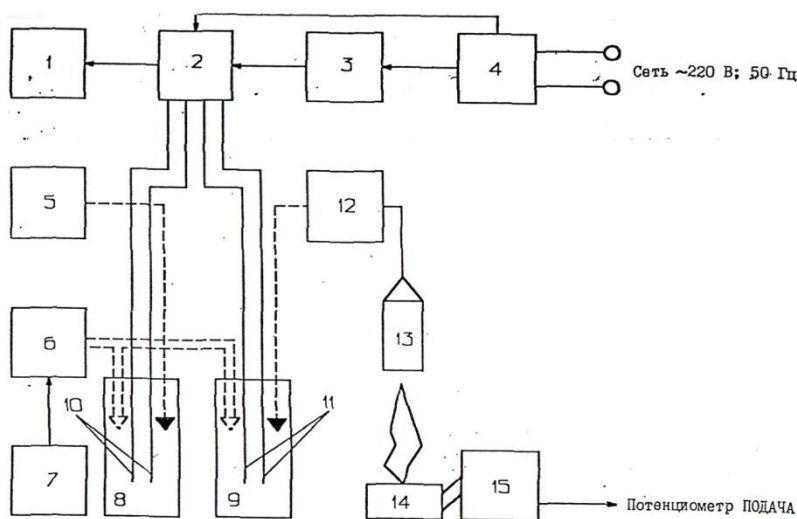


Рис. 1. Структурная схема анализатора СИМ-6

В настоящее время уже выпущено более 100 анализаторов содержания серы СИМ-6 в нефтепродуктах. В некоторых случаях при измерениях содержания серы в топливе анализаторами СИМ-6 наблюдаются вариации показаний прибора, поэтому в настоящей статье исследованы факторы, которые могут вызывать указанные вариации.

а) Исследование влияния температуры раствора в измерительной ячейке на метрологические характеристики СИМ-6

Для этого проводились последовательные многократные измерения содержания серы в одном и том же образце топлива при различной температуре. Результаты испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений содержания серы
в одном и том же образце топлива анализатором СИМ-6

Номер испытания	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренное значение серы в топливе, %	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Температура раствора в измерительной ячейке, °С	21,6	22,4	22,7	23,2	23,2	23,3	23,7	23,7

Из табл. следует, что существует зависимость измеренных значений серы от температуры раствора в измерительной ячейке. Оценка количественного

значения температурного изменения содержания серы дает величину порядка 0,01% / °С.

Для подтверждения указанной зависимости были проведены измерения удельной электрической проводимости раствора измерительной ячейки в диапазоне изменения температуры (10 – 20) °С с помощью анализатора жидкости «Мультитест КСЛ-101».

Результаты измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Удельная электрическая проводимость раствора измерительной ячейки анализатора СИМ-6

Температура раствора в ячейке, °С	10,2	11,7	12,8	13,4	14,5	15,8
Проводимость раствора в ячейке, мкСм/см	66,6	68,8	71,9	72,8	74,4	77,7
Температура раствора в ячейке, °С	16,3	17	17,5	18	18,5	19
Проводимость раствора в ячейке, мкСм/см	78,9	79,5	80,3	81,2	81,8	82,9

Из таблицы видно, что температурная зависимость удельной электрической проводимости раствора измерительной ячейки анализатора СИМ-6 составляет порядка 2% / °С.

б) Исследование полноты поглощения диоксида серы (SO₂) в растворе измерительной ячейки анализатора

Для измерения концентрации диоксида серы SO₂ использовался газоанализатор «Хоббит-Т», который был укомплектован двумя датчиками для измерения диоксида серы SO₂ и оксида углерода СО. В первой группе измерений датчик газоанализатора устанавливался на входе перед измерительной ячейкой и измерил концентрацию диоксида серы поступающую в измерительную ячейку при сгорании топлива. При минимальной высоте пламени концентрация диоксида серы перед ячейкой составляли около 10 мг/м³, при максимальной высоте (практически, горение с копотью) - около 30 мг/м³. Результаты испытания изображены на рис. 2.

Во второй группе измерений датчик газоанализатора «Хоббит-Т» устанавливался на выходе измерительной ячейкой перед компрессором. В ходе испытания этот датчик измерил концентрацию диоксида серы после его поглощения раствором в измерительной ячейке. В течение этого испытания не было зафиксировано следов SO₂, что служит доказательством того, что диоксид серы SO₂, проходя через измерительную ячейку, полностью растворяется в поглотительном растворе, образуя слабый раствор серной кислоты.

в) Исследование влияния катализаторов на выход диоксида серы при сгорании топлива

Использовались два типа катализаторов:

- проволочка с напылением платинового катализатора, установленная на конце иголки для удобства проведения опыта;
- каталитическая сеточка с оксидом тория и оксидом церия.

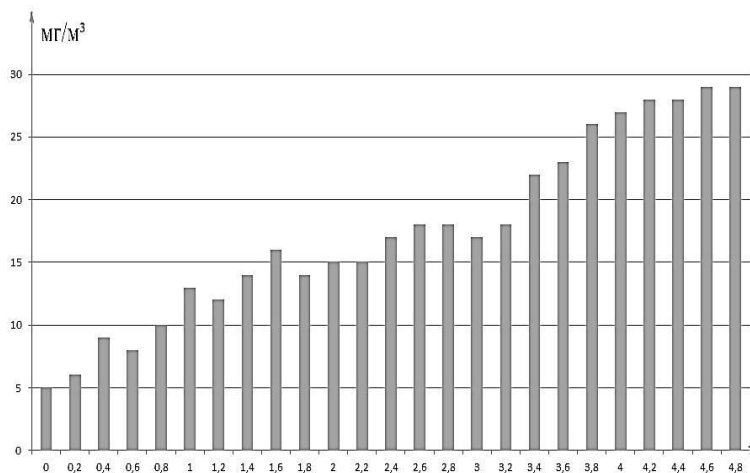


Рис. 2. Изменение концентрации диоксида серы поступающую в измерительную ячейку при изменении высоты пламени в горелке

В ходе испытания изменений концентрации диоксида серы SO₂, с катализатором и без него, зафиксировано не было, но при взаимодействии пламени горелки с сеточкой газоанализатор зафиксировал превышение выделения оксида углерода СО. Если без сеточки концентрация СО при горении топлива не превышала 230 мг/м³, то в данном случае она достигала 780 мг/м³. Можно предположить, что при наличии катализатора в виде сеточки происходит более полное сгорание топлива, однако на выход диоксида серы это не оказывает влияния.

Таким образом, проведенные исследования показали, что основным фактором, оказывающим влияние на метрологические характеристики анализатора СИМ-6, является температура раствора в измерительной ячейке. Оценка количественного значения температурной поправки на результат измерения серы дает величину порядка 0,01% / °С.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов Г. В. Перспективы создания метрологического комплекса для определения параметров судовых горюче-смазочных материалов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 306–309.
2. Сравнительный анализ средств измерений показателей нефтепродуктов, применяемых для подтверждения технического регламента / Г. В.Шувалов, В. Н. Половинкин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 3. – С. 119–123.

© Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА АНАЛИЗАТОРЕ СИМ-5

Геннадий Владимирович Шувалов

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, кандидат технических наук, и. о. директора, тел. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Иван Владимирович Клековкин

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, зам. начальника лаборатории, тел. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Мария Геннадьевна Клековкина

ФГУП «СНИИМ», 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, инженер, тел. (383)210-12-65

Ольга Александровна Ясырова

Омский институт водного транспорта, 644099, Россия, г. Омск, ул. Ивана Алексея, 2, доцент кафедры физики, тел. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Екатерина Андреевна Костенко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант

В статье приведены результаты экспериментальных исследований экспресс-метода определения температуры вспышки нефтепродуктов.

Ключевые слова: нефтепродукты, температура вспышки, экспресс-метод.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE METHOD OF DETERMINATION OF TEMPERATURE OF FLASH OF OIL PRODUCTS

Gennady V. Shuvalov

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, Dimitrov Ave., 4, Cand. Tech. Sci. of sciences, acting director, tel. (383)210-17-26, e-mail: shuvalov@sniim.ru

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Ivan V. Klekovkin

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., deputy chief of laboratory, tel. (383)210-12-65, e-mail: klekovkin@sniim.ru

Maria G. Klekovkina

Federal State Unitary Enterprise SNIIM, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrov Ave., engineer, tel. (383)210-12-65

Olga A. Yasyrova

Omsk Institute of water transport, 644099, Russia, Omsk, 2 Ivan Alekseev St., associate professor of physics, tel. (3812)31-89-29, e-mail: 300520@mail.ru

Ekaterina A. Kostenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., graduate student

In article results of pilot studies of an express method definitions of temperature of flash of oil products are given.

Key words: oil products, flash temperature, express method.

Одним из наиболее важных показателей нефтепродуктов является температура вспышки, которая определяет теплофизические свойства нефтепродуктов и характеризует их способность к воспламенению при нагреве.

Ранее было показано [1], что стандартные приборы различных типов по своему конструктивному исполнению устарели, вследствие чего определение температуры вспышки осуществляется в течение длительного времени (до 1,5 ч). Таким образом, существующие приборы не дают возможности оперативного определения вспышки на местах применения и эксплуатации масел и топлива.

Решение этой задачи может быть связано с уменьшением объема испытуемого нефтепродукта, что позволяет уменьшить время определения температуры вспышки. Кроме того, уменьшение объемов топлива, смазочных и моторных масел при проведении экспресс-диагностики обеспечит существенную экономию нефтепродуктов [2].

В этой связи были проведены экспериментальные исследования экспресс-метода определения температуры вспышки нефтепродуктов с помощью анализатора СИМ-5.

Для сокращения времени анализа и адаптации прибора по метрологическим характеристикам к требованиям технического регламента, анализатор подвергался модернизации. Модернизация заключалась в изменении объема

тигля анализатора, которое было достигнуто с помощью специально изготовленных горизонтальных и вертикальных вставок.

Материалом для изготовления вставок послужил алюминий, так как он обладает повышенной теплопроводностью.

Объем тигля без вставок составляет 100 мл, а схематическое изображение тигля с различными вариантами исполнения вставок и полученным объемом испытательного тигеля представлено на рис. 1.

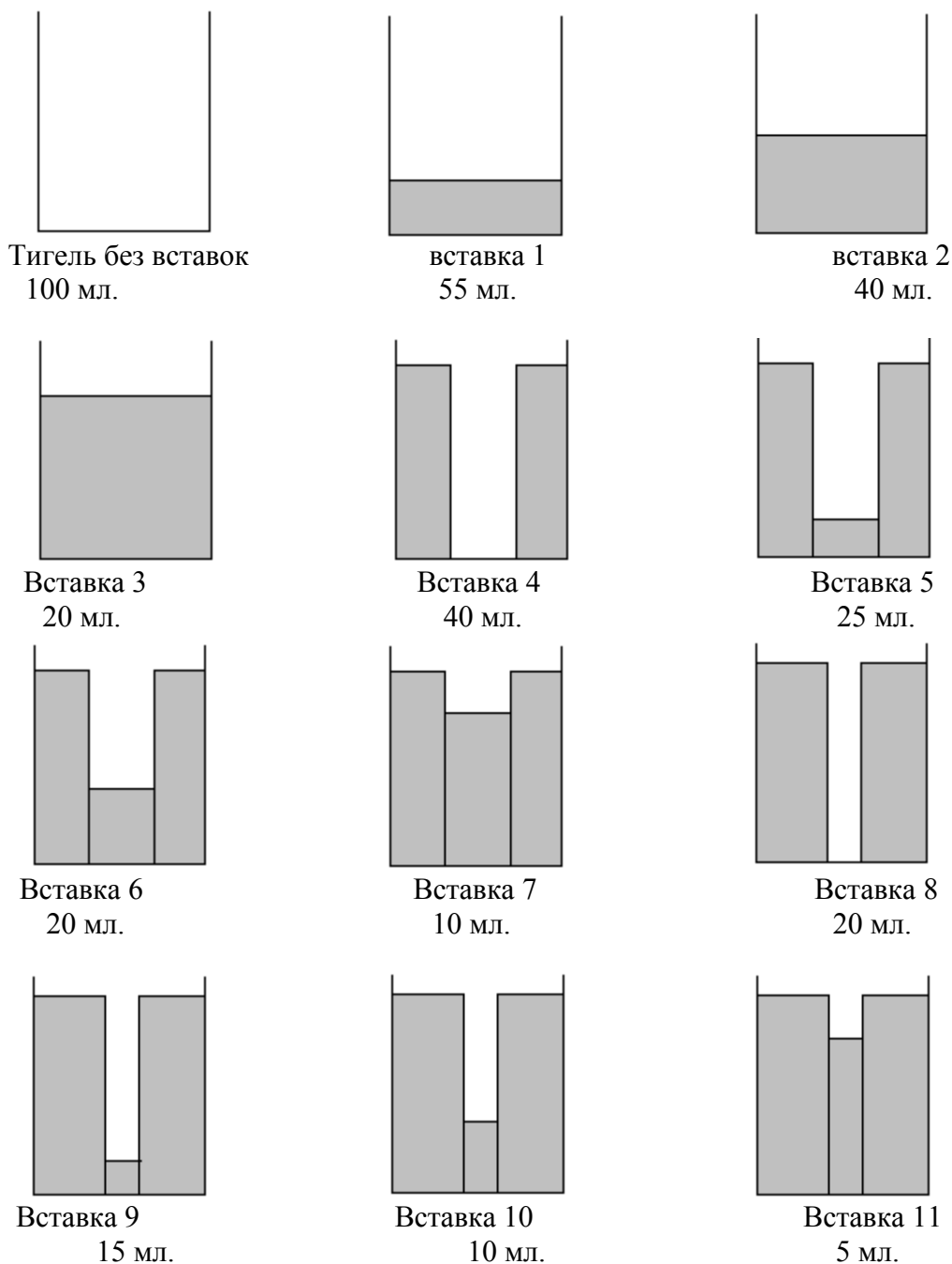


Рис. 1. Варианты исполнения вставок и объем испытательного тигеля

Измерение температуры вспышки с помощью анализатора СИМ-5 производилось согласно национальным стандартам ГОСТ 4333-87 и ГОСТ 6356-75 «Методы определения температуры вспышки».

При исследованиях проводилось по 2 измерения температуры вспышки трансформаторного масла.

На рис. 2 приведена типичная зависимость температуры тигля при его нагреве и полученные при испытаниях значения температуры вспышки.

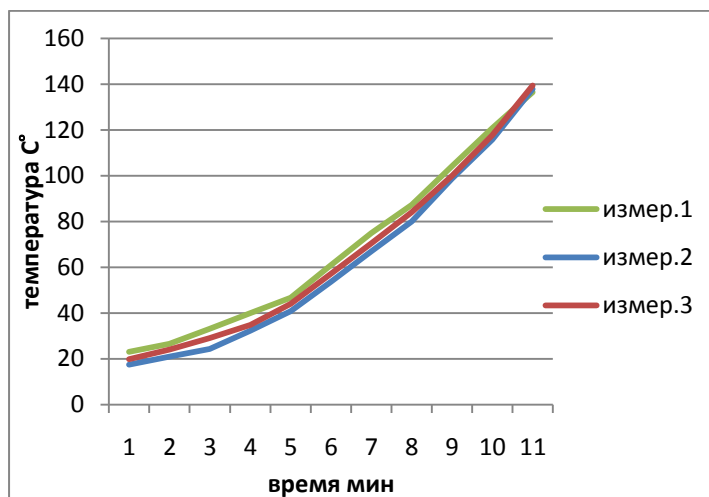


Рис. 2. Зависимость температуры от времени с вставкой 3 ($U=60$ В; $T_1=136,5$ °C; $T_2=137,9$ °C; $T_3=139,4$ °C; $T_{ср}=137,9$ °C; $V_{скорость}=15$ °C /мин)

Кроме того, по результатам измерений была получена зависимость температуры вспышки от скорости нагрева нефтепродукта, представленная на рис. 3.

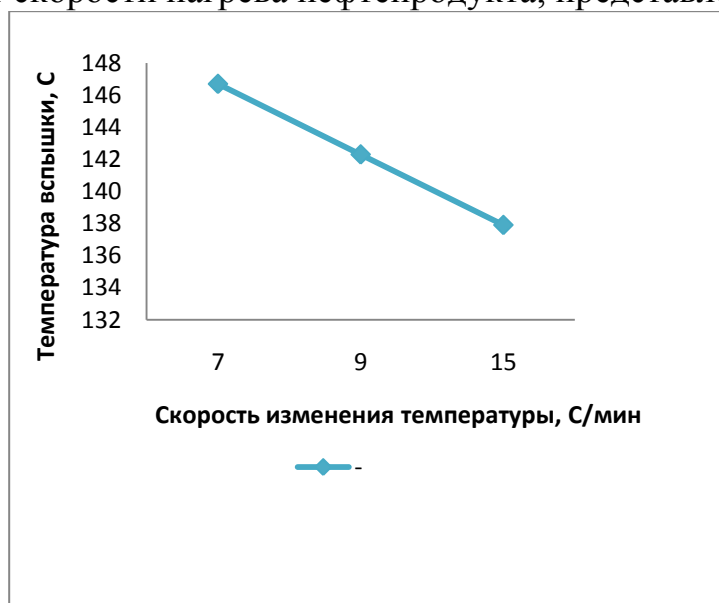


Рис. 3. Зависимость температуры вспышки от скорости нагрева нефтепродукта

Из рисунка видно, что с увеличением скорости нагрева температура вспышки нефтепродукта уменьшается. Это связано с тем, что при большой скорости нагрева происходит интенсивное испарение вблизи нагреваемых стенок тигля, в то время как центральная часть нефтепродукта, где установлена измерительная термопара не успевает прогреться. Это приводит к заниженным значениям по температуре вспышки.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что уменьшение объема тигля мало влияет на значение температуры вспышки нефтепродукта. На значение температуры вспышки нефтепродукта оказывает влияние скорость изменения температуры нефтепродукта. Чем выше скорость изменения температуры нефтепродукта (скорость нагрева), тем меньше температура вспышки, в связи с чем при проведении испытаний необходимо контролировать скорость нагрева нефтепродукта.

Кроме того было установлено, что для создания метода экспресс-анализа наиболее оптимальной (с точки зрения времени проведения анализа) является вставка 3. При её использовании расход ГСМ уменьшился на 80 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сравнительный анализ средств измерений показателей нефтепродуктов, применяемых для подтверждения технического регламента / Г. В.Шувалов, В. Н. Половинкин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 3. – С. 119–123.

2 Шувалов Г. В. Перспективы создания метрологического комплекса для определения параметров судовых горюче-смазочных материалов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2012. – № 1. – С. 306–309.

© Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин,
М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко, 2015

СПОСОБ КАЛИБРОВКИ ПОЛОСКОВОГО КОНТАКТНОГО УСТРОЙСТВА

Сергей Викторович Савелькаев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Владимир Анатольевич Литовченко

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, начальник учебной лаборатории кафедры разведки (специальной разведки и воздушно-десантной подготовки); Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)332-50-45, (923)100-89-86, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru

Рассмотрен способ калибровки полоскового контактного устройства набором из двух согласованного расчетного полоскового калибратора и короткозамыкателя или одного короткозамыкателя, обеспечивающий повышение точности калибровки этого устройства.

Ключевые слова: полосковое контактное устройство, калибровка.

A METHOD FOR CALIBRATING A STRIPE CONTACT DEVICES

Sergey V. Savelkaev

Siberian State University of geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of special devices and technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Vladimir A. Litovchenko

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., head of the laboratory of the department of educational intelligence (special reconnaissance and airborne training); Siberian State University of geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student metrology and optical production technology, tel. (383)332-50-45, (923)100-89-86, e-mail: litovchienko.vladimir@mail.ru

A method of calibration strip contact device a set of two agreed settlement strip calibrator and for short or one-to-rotkozamykatelya, to improve the accuracy of calibration of the device.

Key words: strip contact device, calibration.

Суть проблемы. Для калибровки коаксиальных анализаторов СВЧ-цепей (АЦ) используют наборы однотипных стандартизированных коаксиальных мер. Исследуемые узлы могут иметь большое разнообразие типов входных трактов и чаще всего полосковых. Для подключения таких узлов к АЦ традиционно используют полосковые контактные устройства (ПКУ) [1 - 5], калибровка которых расчетными полосковыми калибраторами обеспечивает перенос результатов калибровки АЦ коаксиальными мерами на измерение S -параметров полос-

ковых узлов. Таким образом, от точности калибровки ПКУ зависит точность переноса.

Для калибровки ПКУ, при которой определяют его S -параметры в виде разделяющихся S_{11}, S_{22} и не разделяющихся S_{12}, S_{21} , необходим набор минимум из трех расчетных полосковых калибраторов [2, 3]. Так, например, набор может состоять из согласованного, замкнутого и разомкнутого калибраторов.

Замкнутый и разомкнутый калибраторы представляют собой отрезки полосковой линии длиной $\lambda/2$ и $\lambda/4$ соответственно, где $\lambda=c/f$ – длина волны как отношение скорости света c к частоте f , на которой замкнутый калибратор имеет потери, тогда как в разомкнутом они отсутствуют.

На практике ПКУ калибруют в некоторой полосе частот Δf , в которой длина разомкнутого калибратора отличается от $\lambda/4$. В результате чего он имеет потери из-за эффекта открытого конца.

Наличие потерь в замкнутом и разомкнутом калибраторах снижает точность их расчета и, следовательно, точность калибровки ПКУ, что требует исключения этих калибраторов из набора.

В статье рассмотрен способ калибровки ПКУ [4] набором из двух согласованного расчетного полоскового калибратора и короткозамыкателя, потерями в котором из-за малости можно пренебречь, или же одного короткозамыкателя. Способ обеспечивает повышение точности калибровки этого устройства.

Конструкция. ПКУ показано на рис. 1, а. Оно содержит основание 1, на котором установлены коаксиально-полосковые переходы (КП) 2, полосковые направленные ответвители (НО) 3 и детекторы 4. В ПКУ включен отрезок полосковой линии (ОПЛ) 5, а само ПКУ подключено к измерительным плечам АЦ 6, которые нагружены на перестраиваемые согласующие трансформаторы (ПСТ) 7.

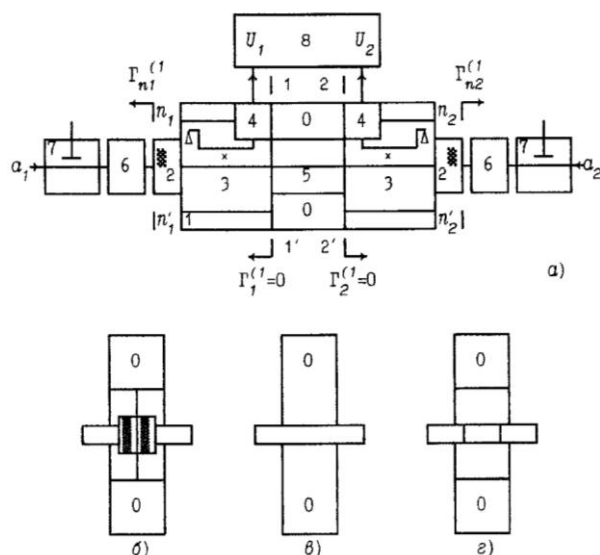


Рис. 1. Полосковое контактное устройство (а), согласованный полосковый калибратор (б), короткозамыкатель (в) и отрезок полосковой линии (г)

Способ калибровки. Калибровка ПКУ, показанного на рис. 1, а, основана на измерении ККО $\Gamma_{ni}^{(m)}$ в плоскостях $n_i - n_i'$ его входов посредством АЦ 6 при поочередном подключении ПКУ согласованного полоскового калибратора и короткозамыкателя (в виде металлической пластины на которой закреплен полосок), показанных на рис. 1, б и в, которые в плоскостях $i - i'$ их подключения имеют ККО $\Gamma_i^{(m)} = \{0, -1\}$, где $i = 1, 2$ индекс плоскостей $i - i'$ подключения калибратора и короткозамыкателя к ПКУ и $m = 1, 2$ - их порядковый номер.

Согласованный полосковый калибратор может быть исключен из набора. В этом случае измерение ККО $\Gamma_{ni}^{(1)}$ осуществляют в следующем порядке. В ПКУ включают ОПЛ 5, показанный на рис. 1, з. С помощью выходного ПСТ 7 согласуют входную часть ПКУ так, чтобы ККО $\Gamma_1^{(1)}$ в плоскости $1 - 1'$ подключения ОПЛ 5 был равен нулю $\Gamma_1^{(1)} = 0$, как показано на рис. 1, а, что эквивалентно подключению к плоскости $1 - 1'$ согласованного полоскового калибратора. Условие $\Gamma_1^{(1)} = 0$ определяют по минимуму напряжения U_1 на выходе детектора 4 НО 3 входной части ПКУ. Затем измеряют ККО $\Gamma_{n1}^{(1)}$ в плоскости $n_1 - n_1'$ входа ПКУ посредством АЦ 6 и повторяют аналогичную операцию для его выходной части.

В первом приближении полагаем, что входная и выходная части ПКУ взаимны и реактивны. Тогда их унитарные S_i -параметры можно определить как:

$$\begin{aligned} |S_{11i}| &= |\Gamma_{ni}^{(1)}|, \quad \varphi_{11i} = \varphi_{ni}^{(1)}, \\ |S_{12i}| &= |S_{21i}| = \sqrt{1 - |\Gamma_{ni}^{(1)}|^2}, \quad \varphi_{12i} = \varphi_{21i} = \varphi_{ni}^{(2)} - \pi, \\ |S_{22i}| &= -|\Gamma_{ni}^{(1)}|, \quad \varphi_{22i} = 2\varphi_{12i} - \varphi_{11i} = 2\varphi_{21i} - \varphi_{11i}, \end{aligned} \quad (1)$$

где и модуль $|\Gamma_{ni}^{(1)}|$ и фазы $\varphi_{ni}^{(m)}$ измеряемых ККО $\Gamma_{ni}^{(m)}$.

Выражения для определения фаз φ_{12i} и φ_{21i} (1) были получены из уравнения

$$\Gamma_{ni}^{(2)} = S_{11i} + \frac{S_{12i}S_{21i}\Gamma_i^{(2)}}{1 - S_{22i}\Gamma_i^{(2)}} \approx -S_{12i}S_{21i} \quad (2)$$

при условии $S_{11i}, S_{22i} \ll 1, \Gamma_i^{(2)} = -1$.

Малые потери в области слабой связи НО 3 и самом ПКУ нарушают унитарность его S_i -параметров. При этом потери можно условно отнести к короткозамыкателю, а его ККО в плоскости $i - i'$ представить в виде $\delta_i \Gamma_i^{(2)}$, где δ_i -

неизвестный комплексный коэффициент, учитывающий потери. Подставив $\delta_i \Gamma_i^{(2)}$ в (2) получим уравнение

$$\Gamma_{ni}^{(2)} = S_{11i} + \frac{S_{12i} S_{21i} \delta_i \Gamma_i^{(2)}}{1 - S_{22i} \delta_i \Gamma_i^{(2)}} \quad (3)$$

из которого при $\Gamma_i^{(2)} = -1$, найдем

$$\delta_i = (\Gamma_{ni}^{(2)} - S_{11i}) / (\Delta_{Si} - S_{22i} \Gamma_{ni}^{(2)}), \quad (4)$$

где $\Delta_{Si} = S_{11i} S_{22i} - S_{12i} S_{21i}$.

С учетом δ_i (4) неунитарные R_i -параметры ПКУ можно определить из выражений:

$$R_{11i} = S_{11i}, R_{22i} = S_{22i} \delta_i, R_{12i} = R_{21i} = \sqrt{S_{12i} S_{21i} \delta_i}. \quad (5)$$

Выражения (1), (4) и (5) представляют собой математическую модель калибровки ПКУ.

Перенос результатов калибровки АЦ коаксиальными мерами на измерение S -параметров полосковых узлов можно осуществить по формулам:

$$\begin{aligned} S_{11} &= [R_{112} (R_{111} \hat{S}_{22} - \hat{\Delta}_S) + (\hat{S}_{11} - R_{111}) \Delta_{R2}] / \Delta_S, \\ S_{12} &= -R_{211} R_{212} \hat{S}_{12} / \Delta_S, \\ S_{21} &= -R_{121} R_{122} \hat{S}_{21} / \Delta_S, \\ S_{22} &= [R_{221} (R_{222} \hat{S}_{11} - \hat{\Delta}_S) + (\hat{S}_{22} - R_{222}) \Delta_{R1}] / \Delta_S, \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \hat{\Delta}_S &= \hat{S}_{11} \hat{S}_{22} - \hat{S}_{12} \hat{S}_{21}; \\ \Delta_{R1} &= R_{111} R_{221} - R_{121} R_{211}; \\ \Delta_{R2} &= R_{112} R_{222} - R_{122} R_{212}; \\ \Delta_S &= R_{112} (\hat{S}_{22} \Delta_{R1} - R_{221} \hat{\Delta}_S) + (R_{221} \hat{S}_{11} - \Delta_{R1}) \Delta_{R2}; \end{aligned} \quad (7)$$

\hat{S}_{ii} и \hat{S}_{ij} - \hat{S} -параметры узла, измеренные в плоскостях $n_i - n_i'$ входов ПКУ.

Экспериментальные результаты. В ПКУ использованы КП 2 сечения 7/3 мм. Его сменные 20-ти дБ полосковые НО 3 с полосой 10% выполнены на поликоре толщиной 1 мм с волновым сопротивлением линий 50 Ом.

При калибровке ПКУ двумя согласованным полосковым калибратором и короткозамыкателем точность переноса при измерении S -параметров проходных расчетных полосковых мер ослабления в диапазоне частот 4 – 8 ГГц соста-

вила $|\Delta S| \leq 0,05 |S|$ по модулю и $\Delta \varphi_S \leq 8^\circ$ по фазе и одним короткозамыкателем - $|\Delta S| \leq 0,04 |S|$ и $\Delta \varphi_S \leq 6^\circ$.

При калибровке ПКУ тремя согласованным, замкнутым и разомкнутым расчетными полосковыми калибраторами, с длиной последних из которых $\lambda/2$ и $\lambda/4$ на частоте 6 ГГц, точность переноса в том же диапазоне частот составила - $|\Delta S| \leq 0,13 |S|$ и $\Delta \varphi_S \leq 19^\circ$.

Таким образом, рассмотренный способ калибровки ПКУ, в сравнении с известным, обеспечивает повышение точности переноса примерно в 2 - 3 раза.

Закключение. Рассмотренный способ калибровки ПКУ набором из двух согласованного расчетного полоскового калибратора и короткозамыкателя или одного короткозамыкателя, обеспечивает повышение точности переноса результатов калибровки АЦ коаксиальными мерами на измерение S-параметров полосковых узлов примерно в 2 - 3 раза, что характеризует повышение точности калибровки ПКУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khilla A.M. Accurate measurement of high-power GaAs FET terminating impedances improves device characterisation//Microwave journal. – 1985. – No. 5. – P. 255-263.
2. Heuermann H., Schiek B. Line network network (LNN): at alternative in-fixture calibration procedure//IEEE Trans. – 1997. – Vol. MTT-45. – No. 3. - P. 408-413.
3. Zhu N. H. Phase uncertainty in calibrating microwave test fixtures //IEEE Trans. – 1999. – Vol. MTT-47. – No. 10. - P. 1917-1922.
4. А.с. 1478156 СССР, G 01 R 27/28. Держатель транзисторов в устройствах для измерения электрических параметров / В. П. Петров, С. В. Савелькаев. – Оpubл. Бюл. №17 // Открытия. Изобретения. - 1989. - №17.
5. А.с. 1682942 СССР, G 01 R 27/28. Держатель транзисторов в устройствах для измерения электрических параметров / В. П. Петров, С. В. Савелькаев, А. В. Борисов. – Оpubл. Бюл. №37//Открытия. Изобретения. - 1991. - №37.
6. Савелькаев С. В., Устюгов М. Б. К вопросу повышения эффективности систем автоматизированного проектирования усилительных и автогенераторных СВЧ-устройств // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 128–130.
7. Савелькаев С. В., Устюгов М. Б., Плавский Л. Г. Коаксиальное контактное устройство //Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 131–140.
8. Савелькаев С. В., Айрапетян В. С., Литовченко В. А. Методика расчета автогенератора СВЧ в пространстве S-параметров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 164–171.

© С. В. Савелькаев, В. А. Литовченко, 2015

ПРОБЛЕМЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АНАЛИЗА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Галина Вячеславна Симонова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры метрологии и технологии оптического приборостроения, тел. (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

Дмитрий Павлович Симонов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

Показаны возможности получения характеристик исследуемых объектов различными методами обработки их цифровых изображений.

Ключевые слова: цифровые изображения, метод контроля, коэффициенты яркости, статистические характеристики, спектральные и интегральные зависимости.

PROBLEMS METROLOGICAL SUPPORT ANALYSIS OF DIGITAL IMAGES

Galina V. Simonova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D. tech., assistant professor department of metrology and optical instrumentation technology, tel. (913)724-67-47, e-mail: simgal@list.ru

Dmitry P. Simonov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student department of Physical Geodesy and Remote Sensing, tel. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

The possibility obtaining the characteristics of the objects by different methods of processing their digital images are shown.

Key words: automation, quality control, brightness coefficients, statistical characteristics, spectral and integral dependence.

Оценка свойств объекта на основе различных характеристик его поверхности является одним из распространённых методов контроля [1].

Цифровые изображения заключают в себе огромные информационные возможности не только в однозначности количественного результата и в быстродействии, но и использовании различных методик преобразований позволяющих получить информацию недоступную визуальному наблюдению [2]. Однако в большинстве случаев эти методы используют визуальную оценку исследуемого изображения, а количественные характеристики используемые в этом случае носят условный субъективный характер. Поэтому для однозначности и достоверности получаемого анализа требуется разработка методик ис-

пользующих объективные методы контроля и оценки количественных характеристик цифровых изображений.

Известные в настоящее время методы анализа изображений как правило используют различные способы визуализации объекта или его характеристики переводя в регистрируемые глазом отличия которые не являются фактическим признаком. Например, введение условной окраски при малых изменениях яркости, текстуры или подчёркивание границ методом нелинейного усиления яркости [2].

Все эти методы имеют три принципиальные проблемы:

1. Признаки объекта на цифровом изображении переводятся в субъективную характеристику, которая не может быть однозначно оценена не только количественно, но даже качественно.

2. Количественные характеристики цифрового изображения, которые являются цифровым кодом отражательной способности (яркости) исследуемых объектов не является его характеристикой даже на многоспектральных снимках, поскольку зависят от многих других факторов (условия получения изображений, типа регистратора, расстояния до объекта и т.д.)

3. Даже при анализе нормированных изображений (яркости преобразованной к относительному виду) невозможность однозначной количественной оценки сохраняется поскольку один и тот же объект имеет несколько уровней значения яркости, а для разных объектов эти значения могут совпадать [3].

Таким образом, перевод количественного анализа цифровых изображений в разряд измерительного эксперимента требует разработки методики обработки цифровых изображений направленной на нахождение количественного признака отображающие свойства именно этого объекта, что позволит выделить это объект из множества других, отождествить его с заданным или определить его свойства на основе количественной выбранной характеристики цифрового изображения.

В данной статье рассматриваются два примера реализации такого подхода для анализа цифровых изображений объектов разного типа.

На рис. 1 приведено изображение объекта с резким отличием яркости его фрагментов (край). В качестве начала отсчета была использована условная система координат цифрового изображения (рис. 1в). Для получения количественных характеристик использовался программный продукт ERDAS Imagine и неконтролируемая классификация распределения яркости. На основании использования классификации яркости пикселей изображения и алгоритма, разработанного авторами, были получены следующие значения неровности края: минимальное (19 пикселей) и максимальное (31 пиксель) отклонение края от условного начала координат, что соответствует флуктуации края для данного участка исследуемого образца равное 12 пикселям или 14,49 мкм.

Для идентификации объектов с множеством уровней градации яркости и слабым отличием этих уровней можно использовать статистические характеристики.

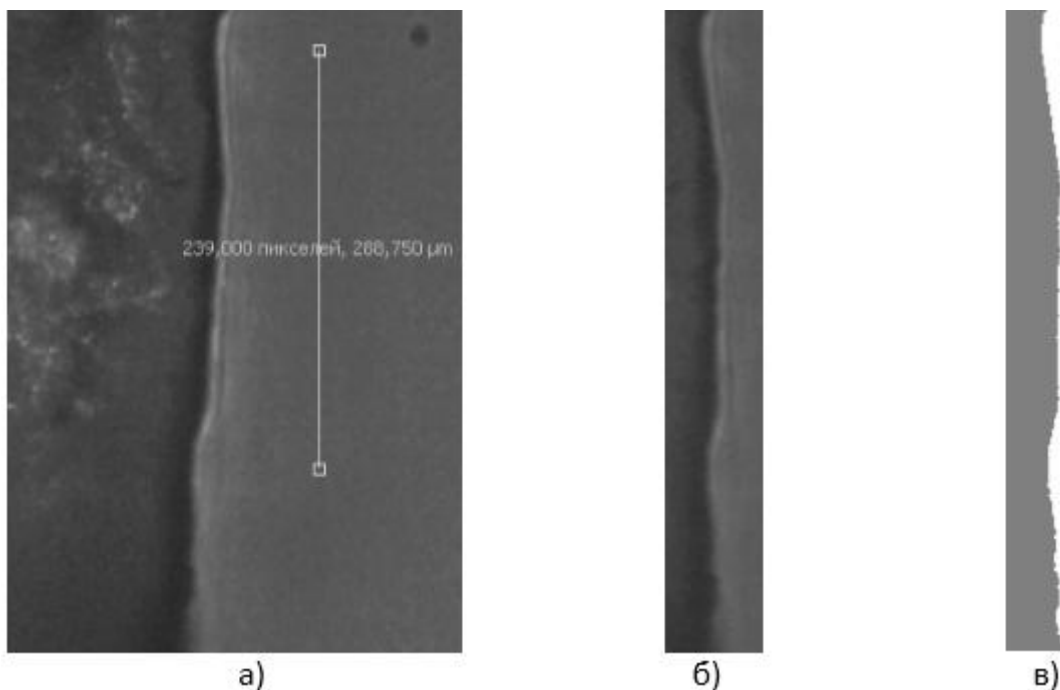


Рис. 1. Выделение края объекта и оценка его неровности:
 а) цифровое изображение объекта (масштаб в 239 пикселях 288,75 мкм);
 б) фрагмент исследуемого участка края объекта; в) результат выделения края объекта методом неконтролируемой классификации

На рис. 2 приведены зависимости распределения количества пикселей заданной яркости от уровня яркости в условных единицах для трёх цифровых изображений лесного массива лиственных деревьев одного типа (космические снимки получены съёмочной системой Formosat).

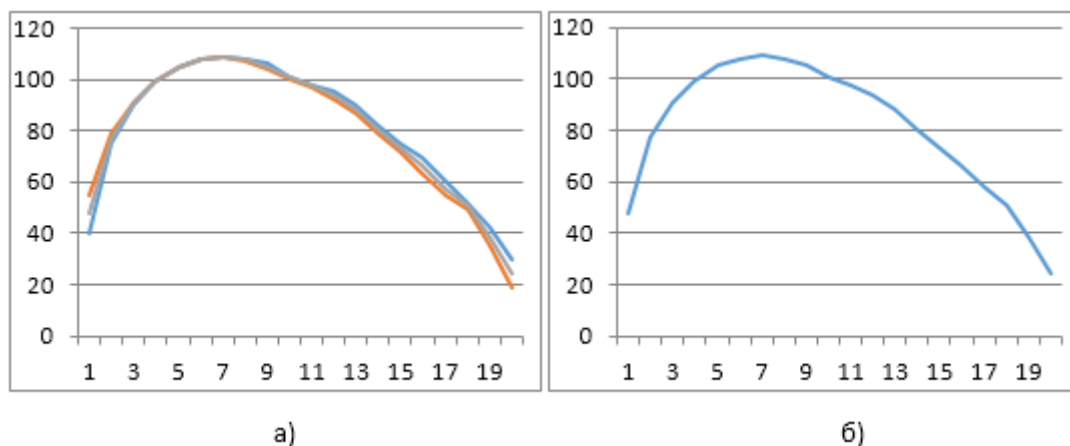


Рис. 2. Зависимость распределения количества пикселей от уровня яркости:
 а) для 3 разных снимков растительности одного типа; б) статистическая функция распределения для заданного класса растительности в условной системе координат

Вид полученного распределения показывает, что несмотря на разные снимки графики статистического распределения яркости для растительности одного типа в условных координатах практически совпадают, поэтому стати-

стическая функция распределения может служить признаком для выделения заданного объекта.

Для подтверждения полученного результата в таблице приведены значения коэффициента корреляции Пирсона.

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции для разных объектов

Тип объекта	Лес 1	Лес 2	Лес 3	Хвоя	Вода
Коэффициент Пирсона	0,9370	0,7834	0,8249	0,6376	0,5495

Полученные значения практически полностью совпадают для объектов одного типа и существенно отличаются для объектов другого типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симонов Д. П. Анализ возможности создания цифровых эталонов признаков для структурированных поверхностей // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 201–204.

2. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова, С. А. Арбузов, М. А. Алтынцев, А. С. Гордиенко, А. А. Гук, Д. П. Симонов // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.

3. Симонов Д. П., Хлебникова Е. П. Автоматизация контроля качества поверхностей на основе анализа статистических характеристик их цифровых изображений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 54–58.

© Г. В. Симонова, Д. П. Симонов, 2015

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТОВ С ПОМОЩЬЮ CST STUDIO SUITE

Никита Анатольевич Харитошин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант, тел. (952)940-84-49, e-mail: Kharitoshin.N.A@mail.ru

В работе представлен обзор верификации программного обеспечения (ПО). Верификацией называется проверка соответствия результатов моделирования программой экспериментально полученным данным.

Ключевые слова: верификация, фотонная струя, полуширина распределения интенсивности поля.

VERIFICATION CALCULATIONS USING CST STUDIO SUITE

Nikita A. Kharitoshin

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student, tel. (952)940-84-49, e-mail: Kharitoshin.N.A@mail.ru

The paper presents review of the verification software. By verification we mean conformance checking of simulation results experimentally obtained data.

Key words: verification, photonic jet, FWHM.

Актуальной задачей в моделировании оптических систем является проверка правильности расчетов (верификация) различного программного обеспечения (ПО).

Верификация – это доказательство соответствия или несоответствия программного обеспечения предъявляемым требованиям [1-5].

В статье [6] описаны проведенные эксперименты со сферой диаметром $d = 5$ мкм, показателем преломления $n = 1,6$ и со сферой диаметром $d = 3$ мкм, показателем преломления $n = 1,6$, которые освещались вертикально плоско поляризованной волной на частоте $576,5$ ТГц ($\lambda_0 = 0,52$ мкм). Сфера была расположена в вакууме ($n_0=1$). Результаты эксперимента показаны на рис. 1.

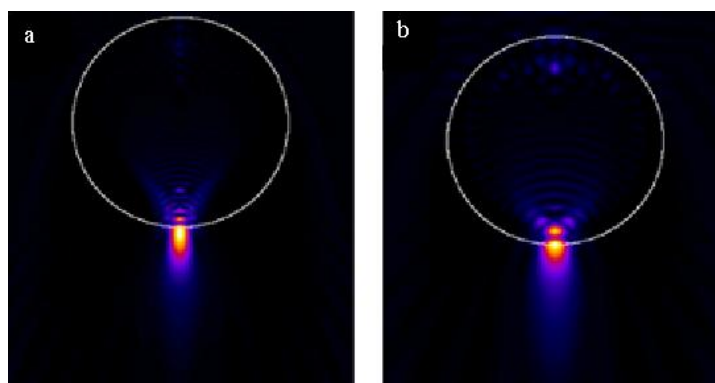


Рис. 1. Результаты эксперимента:
а – сфера с $d = 5$ мкм, б – сфера с $d = 3$ мкм. Направление падения излучения сверху вниз

Полуширина распределения интенсивности поля в области максимальной концентрации (FWHM) полученных струй составила 0,32 мкм и 0,27 мкм соответственно.

На ПО CST STUDIO SUITE были промоделированы сферы, расположенные в воздухе диаметрами $d = 5$ мкм и $d = 3$ мкм, показателем преломления $n = 1,6$, освещаемые вертикально (E_y) плоско поляризованной волной на частоте 576,5 THz ($\lambda_0 = 0,52$ мкм). Использовались открытые граничные условия. Направление падения излучения - по направлению оси Z .

В основу численных расчетов CST STUDIO SUITE положен метод интегрирования системы уравнений с помощью базовых функций, определенных на конечном пространстве (FIT).

Результаты моделирования показаны на рис. 2.

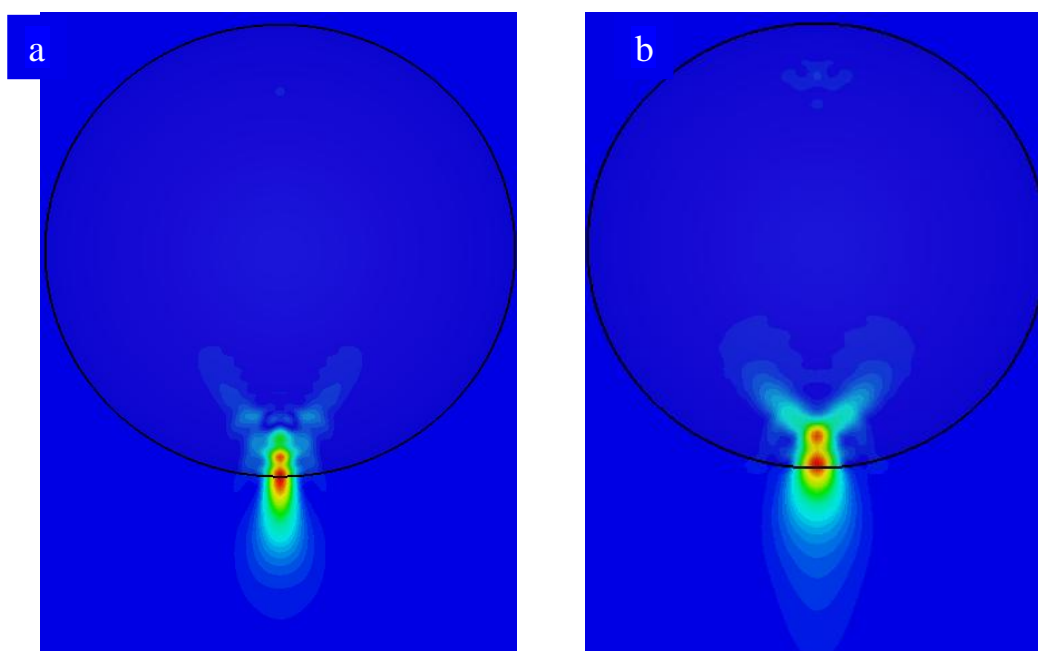


Рис. 2. Результаты моделирования на ПО CST STUDIO SUITE:
а – сфера с $d = 5$ мкм, б – сфера с $d = 3$ мкм. Направление падения излучения сверху вниз

FWHM для сферы с $d = 5$ мкм составила 0,299 мкм, для сферы с $d = 3$ мкм составила 0,253 мкм.

В результате расчетов было получено совпадение экспериментальных данных с расчетными – с погрешностью 7 %.

В статье [7] приведены результаты моделирования фотонной струи из диэлектрического кубика размерами $L \times L \times H$, где $L = \lambda_0$ и $H = 1,2\lambda_0$, при $\lambda_0 = 3$ мм и сравнен с экспериментом. Полученная FWHM составила 1,41 мм.

Результаты эксперимента приведены на рис. 3.

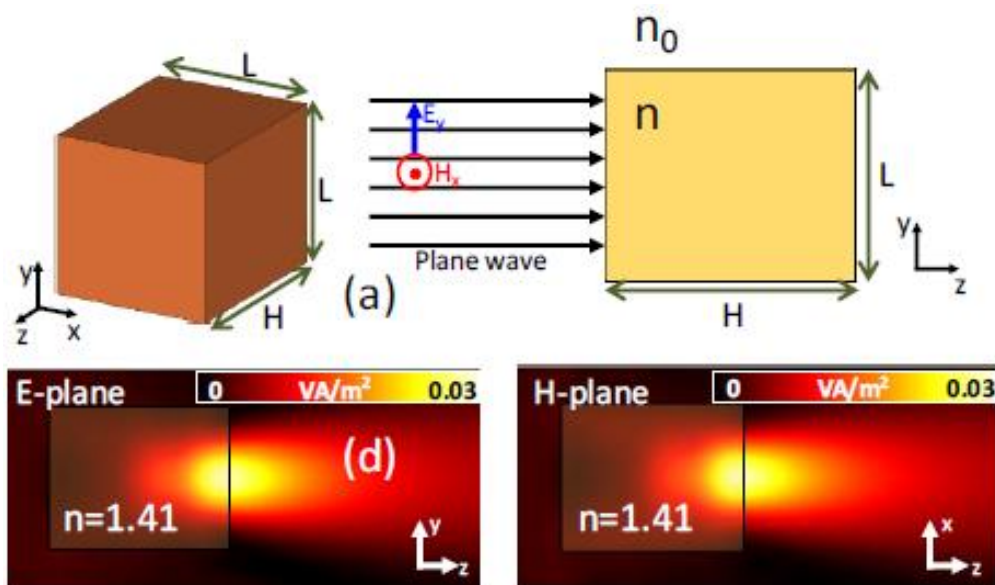


Рис. 3. Результаты эксперимента

На ПО CADFEKO был промоделирован диэлектрический кубик, расположенный в вакууме с размерами $3 \times 3 \times 3,2$ мм и показателем преломления $n=1,41$, освещаемый вертикально (E_y) плоско поляризованной волной с длиной волны $\lambda_0 = 3$ мм. Направление падения излучения – по направлению оси Z . Результаты моделирования показаны на рис. 4.

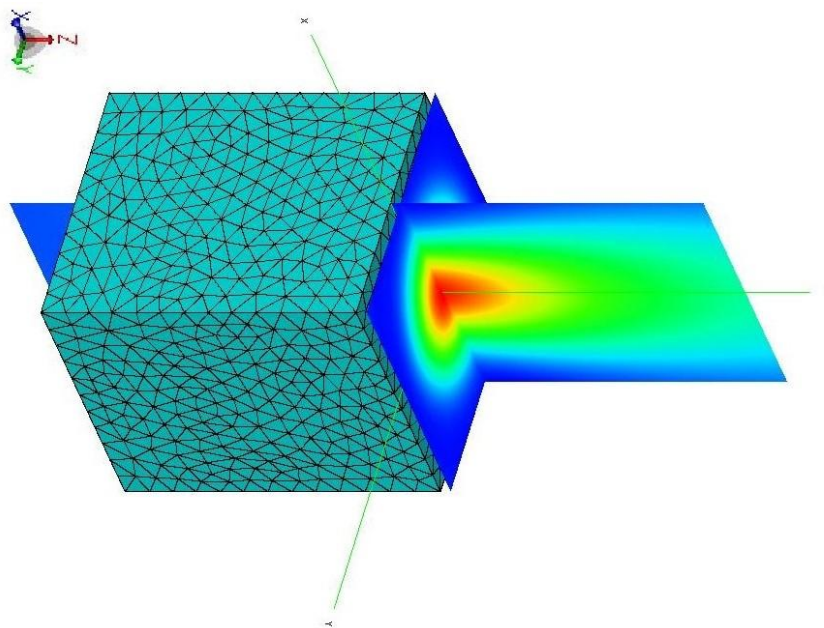


Рис. 4. Результаты моделирования на ПО CADFEKO

CADFEKO производит расчеты методом моментов (ММ).

FWHM для диэлектрического кубика составила 1,3253 мм.

В результате расчетов было получено совпадение экспериментальных данных с расчетными – с погрешность 6 %.

Таким образом, из представленных результатов моделирования, можно сделать вывод, что CST STUDIO SUITE и CADFEKO имеют достоверные результаты моделирования к имеющимся экспериментальным данным исследования фотонных струй.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IEEE 1012-2004 Standard for Software Verification and Validation. IEEE, 2005.
2. ISO/IEC 9126-1 Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model. Geneva, Switzerland: ISO, 2001.
3. ISO/IEC TR 9126-2 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics. Geneva, Switzerland: ISO, 2003.
4. ISO/IEC TR 9126-3 Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics. Geneva, Switzerland: ISO, 2003.
5. ISO/IEC TR 9126-4 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics. Geneva, Switzerland: ISO, 2004.
6. P. Ferrand, J. Wenger, A. Devilez, M. Pianta, B. Stout, et al.. Direct imaging of photonic nanojets. Optics Express, Optical Society of America, 2008, 16 (10), pp.6930-6940.
7. Terajets produced by 3D dielectric cuboids / Pacheco-Pena V., Beruete M., Minin I. V., Minin O. V. // Appl. Phys. Lett. 2014. V.105, Pp. 084102.

© Н. А. Харитошин, 2015

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ СВЧ МЕР ОСЛАБЛЕНИЯ ПО МОДУЛЮ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

Светлана Владимировна Ромасько

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирантка кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

В данной статье рассмотрена необходимость аппроксимации и экстраполяции S-параметров эталонных мер на всем частотном диапазоне для решение задачи обеспечения непрерывности параметров эталонных мер в пределах их рабочего диапазона. Предложена и развита модель расчета определения параметров сплайн-функций коаксиальных мер с помощью применения метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: сплайн-функция, S-параметры, коэффициент отражения, СВЧ меры, коэффициенты интерполяции и экстраполяции.

TECHNIQUE OF DETERMINATION OF COEFFICIENTS OF INTERPOLATION AND EXTRAPOLATION OF THE MICROWAVE OVEN OF MEASURES OF EASING FOR REFLECTION COEFFICIENT MODULE

Svetlana V. Romasko

Siberian state university of geosystems and technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., graduate student of department of metrology and technology of optical production, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

In this article need of approximation and extrapolation of S-parameters of reference measures on all frequency range for the solution of a problem of providing a continuity of parameters of reference measures within their working range is considered. The model of calculation of determination of parameters a spline functions of coaxial measures by means of application of a method of the smallest squares is offered and developed.

Key words: Spline function, S-parameters, coefficient of reflection, microwave oven of a measure, coefficients of interpolation and extrapolation.

В результате исследований была выбрана сплайн- функция, показывающая зависимость ослабления аттенюатора от частоты в пределах рабочего диапазона.

$$k(f) = af + b, \quad (1)$$

где f – частота в пределах рабочего диапазона частот (0 ÷ до 12 ГГц) в ГГц.

Из измерительного уравнения (1) определим параметры a , b . Задача заключается в получении параметров функции, которая будет использоваться для аппроксимации и экстраполяции S-параметров мер во всем частотном диапазоне. [1].

Поиск параметра сплайна:

Из [2] следует, что графиком линейной функции служит прямая линия. Коэффициент a называется угловым коэффициентом этой прямой; чем больше $|a|$, тем прямая идет круче.

Если аргумент изменился от некоторого значения f_0 до значения f , получив приращение Δf , а функция получила $\Delta k(\Delta f)$, то из равенств $k(f_0) = af_0 + b$, $k(f) = af + b$ следует

$$k(f) - k(f_0) = a(f - f_0), \quad \Delta k(\Delta f) = a\Delta f$$
$$a = \frac{\Delta k(\Delta f)}{\Delta f}.$$

На свойстве приращения линейной функции основана линейная интерполяция.

Известно, что при $f = f_0$, и $f = f_0 + 6h$ (где h – шаг равный 2, 6 – количество диапазонов разбиения частотного интервала).

Тогда, приближенно заменяя данную функцию линейной, принимающей те же значения при $f = f_0$ и $f = f_0 + 6h$ [3]. Получаем

$$\frac{k(f) - k(f_0)}{f - f_0} = \frac{k(f_6) - k(f_0)}{6h},$$
$$k(f)_{\text{инт}} = k(f_0) + \frac{k(f_6) - k(f_0)}{6h}(f - f_0).$$

Рассмотрим на примере данных аттенюатора из комплекта ДК2-70 №001, полученных ОАО "ИСС" им. академика М.Ф. Решетнева (поверка 19.12.2008, тип аттенюатора Д₂-65 3 дБ №001).

Таблица

Данные аттенюатора

f частота, ГГц	0,00	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00
К, сти вх.	1,00	1,03	1,03	1,12	1,13	1,16	1,15

На основании этого получена k -диаграмма зависимости модуля коэффициента отражения аттенюатора от частоты (рис.).

На основании использования метода наименьших квадратов и интерполяционных функций показана возможность определения коэффициентов интерполяции и экстраполяции функции на основании результатов экспериментальных исследований.

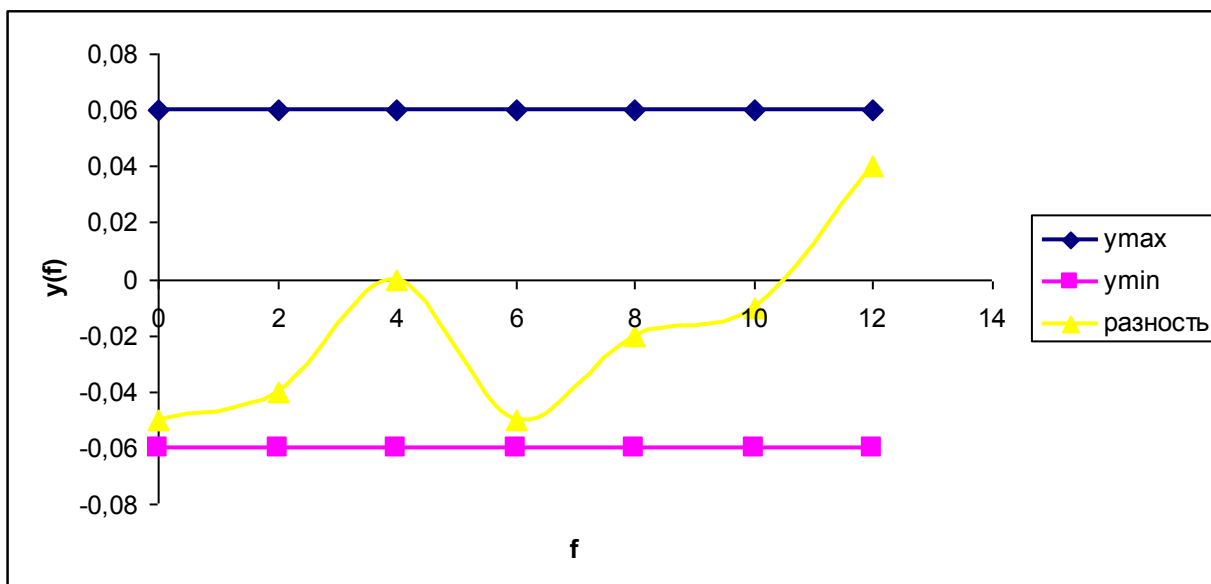


Рис. График зависимости модуля коэффициента отражения аттенюатора от частоты:

разность – найденная экспериментальная зависимость; y_{\max} и y_{\min} – зона погрешности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Завьялов Ю.С. Методы сплайн-функций // – М.: Наука, 1980.-352 с.
2. Крылов А.Н. Лекции о приближенных вычислениях. // – М.: Наука, 1950.-.250 с.
3. Колпаков А.В., Евграфов В.И., Пальчун Ю.А. К вопросу об интерполяции и экстраполяции результатов измерений СВЧ мер КП и КО с помощью spline – функции // Информатика и проблемы телекоммуникаций: Российская научно-техн. конф.- Новосибирск, 2009. Т.1. - С. 151-152.

© С. В. Ромасько, 2015

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ПРЕДЕЛЬНУЮ ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ

Александр Алексеевич Вараксин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры метрологии и технологии оптического производства, e-mail: Aleksvaraksin1991@yandex.ru

В статье рассмотрены факторы, влияющие на вращение Земли. Выполнена оценка их вклада в изменение вращения Земли. Оценена максимальная погрешность остаточной псевдослучайной функции при моделировании изменений параметров вращения Земли (ПВЗ). Приведены данные по точности прогнозирования ПВЗ по моделям, применяемым в нашей стране и Международной службе вращения Земли (МСВЗ).

Ключевые слова: параметры вращения Земли, моделирование, погрешность.

METROLOGICAL ANALYSIS OF LIMITING FACTORS LIMIT THE ACCURACY OF FORECASTING THE EARTH ROTATION PARAMETERS

Alexander A. Varaksin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a graduate student of the department of metrology and optical production technology, e-mail: Aleksvaraksin1991@yandex.ru

The article examines the factors affecting the Earth's rotation. The estimation of their contribution to the change in the OBP. Estimated maximum error of the residual pseudo-random function in modeling changes OBP. The data on the prediction accuracy OBP on the model used in our country and the IERS.

Key words: parameters of the Earth's rotation, modeling, error.

Введение

Высокоточное определение и прогнозирование ПВЗ – координат полюса: x_p , y_p , разностей между всемирным временем $UT1$ и координированным временем UTC : $UT1 - UTC$ является сложной и актуальной задачей. Сложность заключается в том, что при разработке математических моделей вращения Земли необходимо учитывать разнообразные природные факторы, параметры которых могут быть известны только приближенно по данным косвенных измерений. Актуальность связана с тем, что в современных глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) ПВЗ используются в эфемеридно-временном обеспечении (ЭВО) в формулах перехода от земной к инерциальной системе координат. Поскольку на космический аппарат закладывается прогнозные значения ПВЗ на предусмотренные интервалы автономного функционирования ГНСС, то они напрямую влияют на качество ЭВО. Таким образом, построение адекватных моделей прогнозов ПВЗ в полной мере востребовано задачами ГНСС.

По состоянию дел в мире по этой проблеме необходимо отметить, что ни один из применяемых методов прогнозирования ПВЗ не гарантирует получение безошибочного прогноза. Это можно объяснить влиянием на процесс вращения Земли, множества природных факторов различной величины и направленности. В силу этого во вращении Земли наблюдаются быстрые и длительные случайные флуктуации, которые не удастся предсказать ни одним известных методов. В данной статье рассматриваются наиболее значимые природные факторы, воздействующие на скорость вращения Земли и движение ее полюсов. Для нас особый интерес представляет численная оценка влияния этих факторов на динамику вращения Земли, поскольку такая оценка, позволит уяснить максимально возможные точности прогнозирования ПВЗ.

1 Достигнутые точности определения и прогнозирования ПВЗ

В настоящее время точность оперативных значений ПВЗ, вычисляемых как в Международной службе вращения Земли (МСВЗ), так и в Государственной службе времени и частоты (ГСВЧ) возросла на два три порядка в сравнении с эпохой астрооптических наблюдений конца прошлого столетия.

Так, например, по результатам статистической обработки бюллетеней ГСВЧ России за первые 2 месяца 2015 г. СКП срочных определений ПВЗ СКП составило порядка:

- 0.14 угл. мс для координат полюса;
- 0.032 мс для поправки $UT1 - UTC$.

По результатам обработки данных международной службе вращения Земли (МСВЗ) за аналогичный период соответственно получено

- 0.10 угл. мс для координат полюса;
- 0.021 мс для поправки $UT1 - UTC$.

Получаемые как в ГСВЧ, так и в МСВЗ точности срочных определений ПВЗ удовлетворяют современным требованиям координатно-временных и навигационных определений (КВНО) и требованиям эфемеридно-временного обеспечения (ЭВО) космических аппаратов ГЛОНАСС.

Погрешности прогнозов ПВЗ зависят как от применяемого метода, так и от специфики их изменений во времени. Однако, при любом методе существуют факторы, ограничивающие потенциальную точность прогнозов.

В настоящее время лучшие результаты при прогнозировании параметра поправки $UT1 - UTC$ достигнуты в USNO (военно-морская обсерватория, США), JPL (лаборатория реактивного движения, NASA, США) и в сибирском НИИ метрологии.

В табл. 1 приведены значения СКП прогнозирования всемирного времени на сроки от 1-го до 90 дней, полученные в перечисленных организациях за последние четыре года.

По данным табл. 1 видно, что при прогнозе всемирного времени на интервалы 30 дней и более лучшие результаты получены в СНИИМ/СГГА.

Таблица 1

Погрешности прогнозирования UT1-UTC в миллисекундах

Интервалы прогноза (в днях)	1	10	30	90
	Организация			
USNO	0,055	0,62	3,12	11,50
JPL	0,060	0,66	3,60	14,20
СНИИМ	0,055	0,62	2,90	9,75

Лучшие прогнозы координат полюса получены также в USNO и СНИИМ/СГГА. Однако, в данном случае методика применяемая в JPL не оправдывает себя. Более лучшие результаты показывает обычный МНК с авторегрессией, применяемый в польском космическом центре академии наук – «Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk» (СВК).

В табл. 2 приведены значения СКП прогнозирования координат полюса на 1, 10, 30, 90-й дни прогноза, полученные за последние четыре года в перечисленных центрах.

Таблица 2

Погрешности прогнозирования координат полюса в угловых мс

Интервалы прогноза (в днях)	1		10		30		90	
	x_p	y_p	x_p	y_p	x_p	y_p	x_p	y_p
Организация								
USNO	0,370	0,320	4,0	2,7	10,0	7,7	23,4	21,0
СВК	0,350	0,330	3,7	2,7	10,2	7,4	22,0	24,0
СНИИМ	0,340	0,290	3,6	2,6	9,7	7,3	21,0	16,0

2 Описание факторов и оценка их влияния на нестабильности вращения Земли

По данным различных литературных источников выделим факторы, оказывающие наибольшее влияние на изменения ПВЗ:

1) сезонное перераспределение воздушных и водных масс атмосферы и гидросферы приводит к сезонным изменениям в скорости вращения Земли и вынужденным годовым колебаниям полюсов. При этом амплитуды годовой и полугодовой волны в неравномерностях вращения Земли составляют порядка 20 и 10 мс., а их вариации около 20%, что приводит к среднегодовым ошибкам прогноза на 10, 30 и 90 дней соответственно порядка: 0,1; 0,6; 3,0 мс. Оценки показывают, что мало влияет на сезонную неравномерность вращения Земли, но почти полностью обуславливает вынужденное движение полюсов;

2) периодические, происходящие вследствие изменений момента инерции Земли под влиянием лунно-солнечных приливных сил (периоды от 18,6 лет до нескольких суток), а также вследствие целого ряда других геофизических явлений. Эти виды колебаний учитываются теоретически с высокой точностью и поэтому в прогнозе всемирного времени их можно не учитывать.

3) медленные ("вековые"), одной из причин которых является приливное трение в мелкие моря, проливах и шельфах. Эти изменения скорости вращения Земли при экстраполяционных вычислениях на выделенные интервалы прогноза также можно не учитывать силу их малости.

4) нерегулярные – наиболее вероятными причинами, которых являются: механические и электромагнитные взаимодействия на границе мантия–ядро; вариации геомагнитного поля; турбулентные движения в ядре; конвективные течения вещества в мантии; процессы перекристаллизации в подкорковом слое Земли и другие изменения, вызываемые внутренними и внешними консервативными силами. Эти изменения скорости вращения Земли могут происходить быстро (в течение недель) или медленно (за десятилетия) и вызывать изменения длительности суток до нескольких миллисекунд. При прогнозировании на год по оценкам в работе [2] погрешность прогноза всемирного времени, вызванная изменением линейного параметра составит порядка 80 мс.

5) сейсмическая активность – вызывает скачкообразные изменения в скорости вращения Земли и перемещения ее полюсов. В частности, по данным [1] землетрясение у берегов Суматры 26 декабря 2004 г. в 9 баллов по оценкам специалистов NASA вызвала смещения координат полюса по $x_p = 6,70$ угл. мс., по $y_p = 4,75$ угл. мс., а изменения продолжительности суток составили: 2,67 мкс. По данным Ричарда Гросса из Лаборатории реактивного движения НАСА [3] сильнейшее землетрясение в Японии в марте 2011 г. привело к смещению Земли вокруг, которой планета сбалансирована по массе, на 17 сантиметров и к сокращению продолжительности земных суток на 1,8 микросекунды. В данном случае изменения скорости вращения Земли современными средствами определений ПВЗ обнаружить невозможно из-за их более низкой разрешающей способности. В тоже время смещение полюсов довольно значительно и может быть обнаружено из обработки наблюдений. Однако, ввиду редкости землетрясений их влияние на положение полюса можно не учитывать.

Как следует из этой таблицы, основной вклад в погрешность экстраполяции на год вносит неустойчивость линейного параметра. При сокращении интервала экстраполяции доля этой составляющей будет быстро падать, а вариации сезонных изменений шкалы всемирного времени будут сказываться сильнее.

Составляющие погрешностей прогнозирования всемирного времени
на 10, 30, 90, 365 дней

Источники погрешностей	Дни прогноза всемирного времени (мс)			
	10	30	90	365
Вариация параметров годичной волны	0,2	0,4	1,05	4,9
Вариация параметров полугодичной волны	0,1	0,3	0,68	2,6
Вариация линейного параметра	0,7	2,5	12,5	82,1
Неучет 18-летней волны	0,01	0,03	0,95	4,2
Полная погрешность	0.73	2,54	12.61	82.40
$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2}$				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоцерковский Д.Ю., Кауфман М.Б. «Оценка точности предвычислений разностей между всемирным и координированным временем с заблаговременностью до года». Труды ВНИИФТРИ «Исследования в области измерений времени и частоты», М., 1977.
2. Сидоренков Н. С. Нестабильности вращения Земли: Дисс. канд. физ.-мат. наук: 01.03.01 Москва, 2009 171 с.
3. Ричард Гросс «Неравномерность вращения Земли» Лаборатория реактивного движения, НАСА, 2010

© А. А. Вараксин, 2015

ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ КАК МЕТОД УМЕНЬШЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ПЛЁНКАХ КРТ Р-ТИПА

Александр Владимирович Трифанов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, e-mail: trifanov.alex@mail.ru

Владимир Яковлевич Костюченко

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики

Дмитрий Юрьевич Протасов

Институт физики полупроводников им. Академика А. В. Ржанова СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 13, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

В статье рассматривается усовершенствование методики определения концентрации и подвижности носителей заряда. Показано, что предварительная обработка холловского напряжения и магнетосопротивления с помощью цифрового фильтра снижает погрешность определения концентрации и подвижности носителей заряда.

Ключевые слова: цифровая фильтрация, снижение погрешности, полупроводники, концентрация и подвижность носителей заряда, кадмий-ртуть-теллур.

DIGITAL FILTERING AS A REDUCING ERROR METHOD IN DETERMINING ELECTROPHYSICAL PARAMETERS OF CHARGE CARRIERS IN P-TYPE MCT THINS

Aleksandr V. Trifanov

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student, e-mail: trifanov.alex@mail.ru

Vladimir Ya. Kostuchenko

Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Ave Karl Marx, Ph. D., Prof. of the Department of General Physics

Dmitry Yu. Protasov

Institute of Semiconductor Physics. Academician AV Rzhanova SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 13 Ave Academy of Sciences, Ph. D., Senior Researcher

The improving of determining concentration and mobility of charge carriers method is considered in this paper. It is shown that hall voltage and magnetoresistance digital filter prior processing is reducing error in determining concentration and mobility of charge carriers.

Key words: digital filtration, error reducing, semiconductor, concentration and mobility of charge carriers, cadmium-mercury-tellurium.

Классически концентрация и подвижность носителей заряда в полупроводниках определяется из измеренных магнитопольевых зависимостей холловского напряжения и магнитосопротивления [1]. В узкозонных полупроводниках CdHgTe p-типа при азотных температурах существует три основных типа носителей заряда: «тяжелые» и «легкие» дырки и электроны. Вклады этих носителей в холловское напряжение и магнитосопротивление существенно отличаются, поэтому определение всех шести параметров носителей (концентрации и подвижности для «тяжелых» дырок, «легких» дырок и электронов) затруднено [2].

Применение только методов подгонки не позволяет решить данную задачу за разумное время из-за величины пространства поиска. Пространство поиска потенциально бесконечно и существует множество решений, не имеющих физического смысла. Поэтому для сужения пространства поиска используется метод «Спектр подвижности» [3]. Данный метод заключается в том, что компоненты тензора проводимости представляются в виде интегральных уравнений, зависящих от концентрации и подвижности носителей. Однако этот метод требует уменьшения погрешности измерений напряжения Холла и магнитосопротивления, так как при наличии шумов в экспериментальных данных метод «Спектр подвижности» не позволяет правильно определить область поиска параметров.

Для снижения шумовой составляющей в измеренных данных, в том числе шума квантования по уровню, используется цифровой фильтр нижних частот с конечной импульсной характеристикой на основе весовой функции Блэкмана [4]. Использование фильтра нижних частот обусловлено тем, что измеряемые сигналы изменяются с достаточно низкой частотой (около 0,05 Гц). В данном случае важно отметить, что холловское напряжение и магнитосопротивление изменяется не со временем, а с изменением величины магнитной индукции, следовательно, скорость проведения эксперимента, а значит и максимальную частоту измеряемого сигнала, можно контролировать.

Для экспериментальной проверки эффективности данного подхода был проведен ряд измерений холловского напряжения и магнитосопротивления для образца CdHgTe с мольным составом кадмия $0,212 \pm 0,001$ и геометрическими размерами $3,5 \pm 0,1$ мм \times $1,2 \pm 0,1$ мм \times $8,45 \pm 0,04$ мкм. Сила тока, проходящего через образец, составляла 500 мкА. Графики, построенные на основе измеренных данных, позволяют увидеть, что в данных присутствует некоторый случайный шум и шум квантования по уровню, вызванный аналого-цифровым преобразованием (рис. 1). Как видно на рис. 2 после обработки цифровым фильтром шумовая составляющая в сигнале существенно снижена [5].

Для оценки погрешности определения подвижности электронов методом «Спектр подвижности» так же определялась подвижность из магнитопольевой зависимости фотопроводимости в геометрии Фарадея [6]. Как видно из таблицы, результаты, полученные для необработанных данных, имеют достаточно высокую погрешность и существенно отличаются от результатов, полученных для обработанных данных.

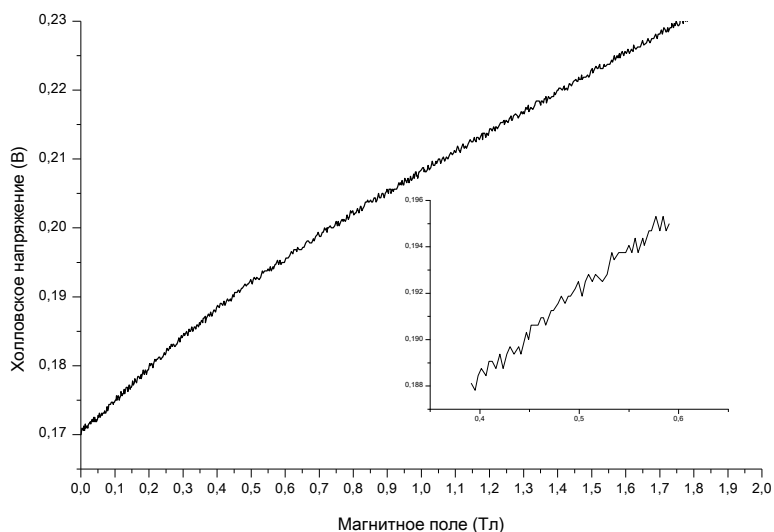


Рис. 1. Зависимость холловского напряжения от величины индукции магнитного поля, полученная в результате измерений. Во вставке укрупнено показана часть сигнала

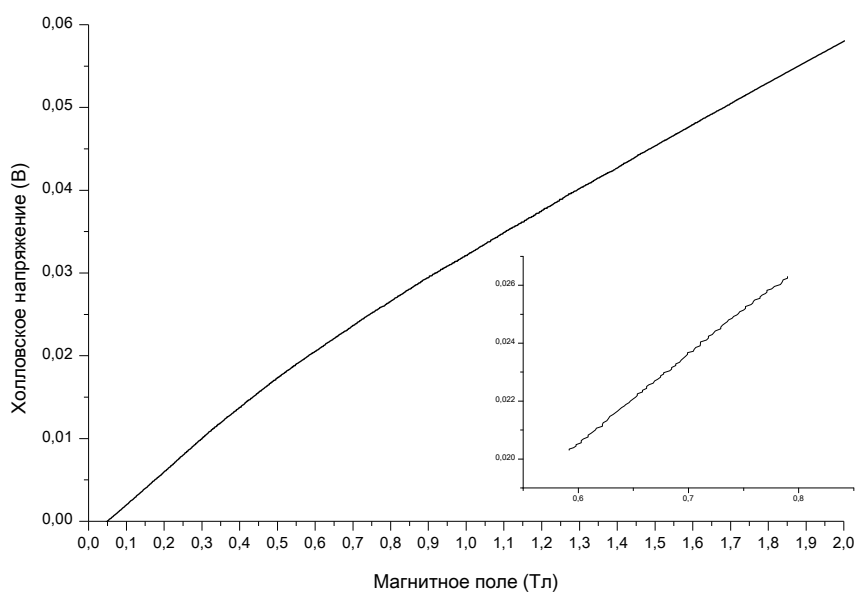


Рис. 2. Зависимость холловского напряжения от величины индукции магнитного поля после обработки цифровым фильтром. Во вставке укрупнено показана часть сигнала

Подвижность электронов, определенная с помощью измерения фотопроводимости, равна $6,360 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Из сравнения результатов видно, что параметры электронов полученные с помощью методов «Спектр подвижности» и многозонной подгонки удалось определить с погрешностью около 40%. При сравнении с результатами, полученными методом интерполирования данных на этапе обработки методом «Спектр подвижности» [7], видно, что разработанная мето-

дика позволяет определять параметры носителей заряда с меньшей погрешностью.

Таблица

Параметры носителей заряда, определенные с помощью измерения холловского напряжения и магнитосопротивления

Без обработки фильтром		С обработкой фильтром	
Концентрация, м ⁻³			
тяжелые дырки	(1,370±0,07688) 10 ²²	тяжелые дырки	(1,477±0,040) 10 ²²
легкие дырки	(2,294±0,6661) 10 ¹⁹	легкие дырки	(2,512±0,506) 10 ¹⁹
электроны	(-4,904±1,716) 10 ¹⁸	электроны	(-1,727±0,454) 10 ¹⁷
Подвижность, м ² /(В×с)			
тяжелые дырки	0,044±0,003	тяжелые дырки	0,041±0,001
легкие дырки	0,938±0,136	легкие дырки	0,911±0,099
электроны	-0,785±0,161	электроны	-7,533±2,244

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костюченко В. Я., Протасов Д. Ю. Диагностика параметров неравновесных носителей в Р-КРТ методом магнитофотопроводимости // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск: СГГА, 2005. Т. 6. – С. 114–119.
2. The noise reduction in variable hall data by digital filtration Micro / A.V. Trifanov, V.V. Protasov, V.Y. Kostuchenko // The 15 international conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices (EDM 2014): proc., Altai, Erlagol, 30 June – 4 July 2014. – Novosibirsk : IEEE, 2014. – P. 30-32.
3. Gang Du Characterizing Multi-Carrier Devices with Quantitative Mobility Spectrum Analysis and Variable Field Hall Measurements / Gang Du, J. R. Lindemuth, B. C. Dodrill, R. Sandhu, M. Wojtowicz, Mark S. Goosky, I. Vurgaftman, J. R. Meyer // Japanese Journal of Applied Physics Vol. 41, 2002. – P. 1055.
4. Уменьшение погрешности определения параметров носителей заряда цифровой фильтрацией. / А. В. Трифанов, В. Я. Костюченко, Д. Ю. Протасов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 94–97.
5. Подавление шума в результатах автоматизированных холловских измерений при помощи цифрового фильтра нижних частот / А. В. Трифанов, Д. Ю. Протасов, В. Я. Костюченко // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56. – № 9/2. – С. 134–136.
6. The set of photoelectromagnetic methods for determination of recombination and diffusion parameters of p-MCT thin films / D. Y. Protasov, A. V. Trifanov and V.Y. Kostyuchenko // The European Physical Journal Applied Physics Vol. 62, Issue 3, 2013. – P.30104-1 – 30104-8.
7. V. S. N. Murthy Multicarrier conduction and Boltzmann transport analysis of heavy hole mobility in HgCdTe near room temperature Oruganty V. S. N. Murthy, V. Venkataraman, R. K. Sharma, I. Vurgaftman and J. R. Meyer // journal of applied physics Vol. 106, 2009. – P. 113708-1 - 113708-6.

© А. В. Трифанов, В. Я. Костюченко, Д. Ю. Протасов, 2015

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАБИЛЬНОСТИ БОРТОВЫХ ЧАСОВ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ ГЛОНАСС

Екатерина Андреевна Ханькова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирантка кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: hanikovak@mail.ru

Александр Сергеевич Толстиков

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии, 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, начальник ГСВЧ, доктор технических наук, тел. (383)210-11-85, e-mail: tolstikov@mail.ksn.ru

Артем Андреевич Карауш

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии, 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, научный сотрудник, тел. (383)210-11-85, e-mail: karaush.a@mail.ru

Важной задачей сегмента контроля и мониторинга системы ГЛОНАСС является оценивание текущих параметров нестабильности часов навигационных спутников. В данной работе рассматривается методика оценивания и контроля характеристик нестабильности часов за счёт привлечения фазовых псевдодальномерных измерений. В качестве исходной информации используется траекторные измерения, выполняемые в пунктах Государственной службы времени и частоты (г. Москва, г. Новосибирск, г. Иркутск).

Ключевые слова: ГЛОНАСС, координатно-временные определения, частотно-временные поправки, параметры нестабильности часов.

EVALUATING METHOD OF INSTABILITY CHARACTERISTICS OF ONBOARD CLOCKS GLONASS NAVIGATION SATELLITES

Ekaterina A. Hanikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Graduate, tel. (383)361-07-45, e-mail: hanikovak@mail.ru

Aleksandr S. Tolstikov

Siberian Research Institute of Metrology, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrova Pr., Ph. D., tel. (383)210-11-85, e-mail: tolstikov@mail.ksn.ru

Artem A. Karaush

Siberian Research Institute of Metrology, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrova Pr., Scientist, tel. (383)210-11-85, e-mail: karaush.a@mail.ru

An important task of the segment control and monitoring system GLONASS is the estimation of the parameters of the parameters instability clocks of navigation satellites. In this paper the method of estimation and control characteristics of instability clocks by attracting pseudodalmomerny phase measurements. Initial information is used to measure the trajectory of the State Service of Time and Frequency (Moscow, Novosibirsk, Irkutsk).

Key words: GLONASS, coordinate and time definition, time-frequency correction, instability parameters clocks.

В статье рассмотрена методика оценивания параметров нестабильности бортовых часов навигационных спутников системы ГЛОНАСС. Эти параметры в значительной степени определяют качество и достоверность координатно-временных определений на основе спутниковых навигационных технологий. Для оценивания уходов бортовых часов спутников применяется программно-аппаратный комплекс метрологического пункта Государственной службы времени и частоты ФГУП «СНИИМ». Высокая точность оценивания достигнута за счет использования в качестве исходной информации в алгоритмах оценивания фазовых псевдодальномерных измерений.

Существенное влияние на точность координатно-временных определений потребителя оказывает явление нестабильности частоты высокостабильных генераторов, на основе которых построены бортовые часы навигационного спутника. Для компенсации уходов бортовых часов применяются частотно-временные поправки (ЧВП). Процесс расчета ЧВП включает в себя идентификацию математической модели нестабильности часов, прогнозирование с помощью этой модели уходов часов и последующее включение в состав навигационного сообщения.

Для расчета компенсирующих поправок используется следующая математическая модель [1]:

$$\Delta \dot{T}_c(t) = S(t) + w(t), \Delta T_c(t_0) = \Delta T_{c0},$$

где $\Delta T_c(t)$ - уход бортовых часов спутника на интервале времени $[t_0, t_k]$ относительно эталонной шкалы времени, $S(t)$ и $w(t)$ - характеристики долговременной и кратковременной нестабильностей частоты генератора этих часов [1].

Долговременная составляющая $S(t)$ представляется в виде степенного полинома, параметрами которого являются смещение шкалы и отклонение частоты бортового генератора на интервале времени $[t_0, t_k]$ [1, 2]. Кратковременная нестабильность $w(t)$ представляется как центрированный случайный процесс с ограниченной дисперсией. Расчет ЧВП осуществляется на основе упрощенной модели нестабильности:

$$\Delta \dot{T}_c(t) = a_0 + a_1(t - t_0).$$

Вследствие такого упрощения расчета уходов часов, в результатах траекторных измерений присутствует погрешность, порождаемая неучтенными параметрами нестабильности частоты генератора. Авторами предлагается методика оценивания характеристик нестабильности бортовых часов по данным траекторных измерений и оценивания погрешностей представления бортовых шкал времени с помощью бортовых ЧВП.

Для апостериорного анализа уходов бортовых шкал времени использовались псевдодальномерные кодовые $D(t)$ и фазовые $\varphi(t)$ измерения:

$$D(t) = \rho \mathbf{u}_S(t_1), \mathbf{u}_R(t_2) + \Delta T_S(t) + \Delta T_R(t) \cdot c + \sum_{i=1}^n q_{Di}(t),$$

$$\varphi(t) = \rho \mathbf{u}_S(t_1), \mathbf{u}_R(t_2) + \Delta T_S(t) + \Delta T_R(t) \cdot c + K \cdot \lambda + \sum_{i=1}^n q_{\varphi i}(t),$$

где $\Delta T_S(t)$, $\Delta T_R(t)$ - уход бортовых часов относительно шкалы Центрального синхронизатора системы и уход часов приемной аппаратуры соответственно; c – скорость распространения радиосигнала в вакууме; K – целое неопределённое число длин волн, укладываемых в измеренном расстоянии;

λ – длина волны несущей с литерной частотой, на которой передаётся навигационный сигнал; $q_i(t), i=1, \dots, n$ – факторы, влияющие на точность измерений, в том числе задержка навигационного сигнала в ионосферном и тропосферном слоях, смещение фазового центра антенн, погрешность от релятивистских эффектов, неоднозначность фазовых измерений, погрешность определения координат потребителя и задания эфемерид спутника, погрешность приведения измеренных дальностей к моменту прихода навигационного сигнала на приемную антенну, погрешность от многопутности и погрешности случайной природы [2-4].

На основе разработанной методики проводились сеансы расчета оценок уходов бортовых часов навигационных спутников ГЛОНАСС. Исследования проводились на 08.02.2014 по всей орбитальной группировке системы на базе пункта метрологического контроля Государственной службы времени и частоты ФГУП «СНИИМ». Разработанная методика обеспечивает такие измерения благодаря высокоточной синхронизации шкалы приемника $T_R(t)$ со шкалой вторичного эталона времени и частоты ВЭТ 1-19.

Текущие отклонения шкал времени рассчитывались с помощью выражения

$$\Delta T_S(t) + \Delta T_R(t) \cdot c = \left[\varphi(t) - \rho \mathbf{u}_S(t_1), \mathbf{u}_R(t_2) \right] - K \cdot \lambda - \sum_{i=1}^n q_{\varphi i}(t). \quad (1)$$

В уравнении (1) значение $\Delta T_R(t)$ не превышает единиц наносекунд, поскольку $\Delta T_R(t)$ представляет собой погрешность согласования шкалы времени ВЭТ 1-19 со шкалой UTC(SU) государственного эталона.

Высокая точность результатов достигнута со счет использования фазовых псевдодальномерных измерений. Преимуществом таких измерений является их меньшая подверженность шумам в сравнении с кодовыми (рис. 1).

Однако использование фазовых данных в целях решения задач оценивания частотно-временной информации осложняется наличием фазовой неоднозначности $K \cdot \lambda$, а также фазовых скачков. В настоящее время нет универсального алгоритма по разрешению неоднозначности [3].

Авторами методики применяется оригинальная фильтрация данных и способ разрешения неоднозначности, основанный на расчете широкополосной и узкополосной комбинационных частот [3]. В результате обработки удается разрешить фазовую неоднозначность (рис. 2а).

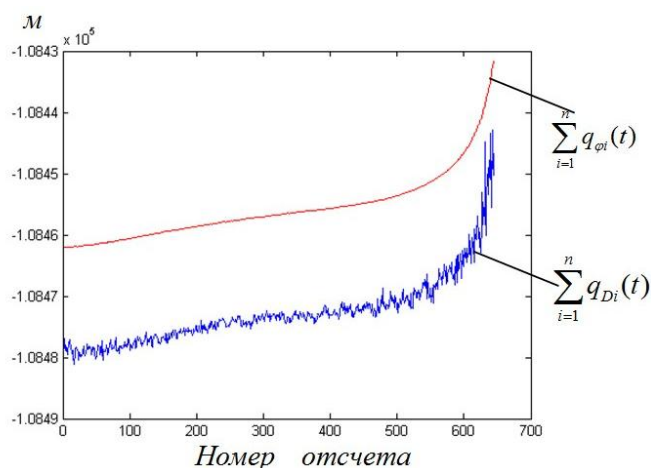


Рис. 1. Значение влияющих факторов на фазовые и кодовые измерения

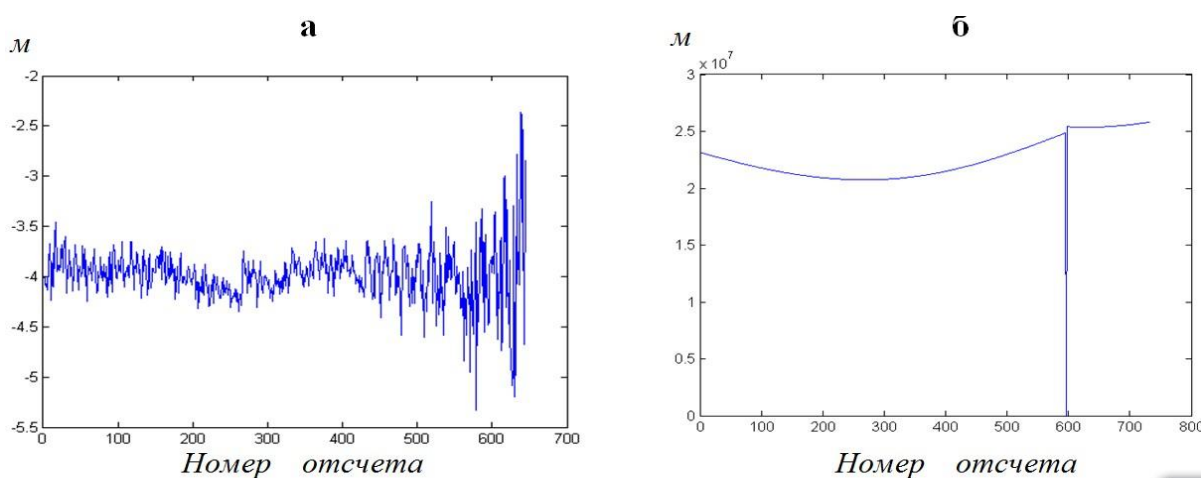


Рис. 2. Фазовая неоднозначность (а), фазовые скачки (б)

На рис. 3 в порядке иллюстрации приведены уходы бортовых часов, оцененных с помощью разработанной методики, и поведение аналитических шкал, воспроизводимых на основе ЧВП в виде кусочно-линейной функции.

Видно, что аналитическая шкала спутника № 123 достаточно хорошо описывает поведение часов. На рис. 3.б наблюдается значительные погрешности в оценивании шкалы часов спутника № 112.

Оценки уходов часов по орбитальной группировке ГЛОНАСС, полученные с помощью разработанного метода, показали хорошую согласованность с данными, публикуемыми Информационно-аналитическим центром ГЛОНАСС [glonass-iac.ru].

Рассчитываемые оценки уходов бортовых часов позволяют передавать потребителям скорректированную частотно-временную информацию и осуществлять контроль параметров навигационного поля ГЛОНАСС [4, 5].

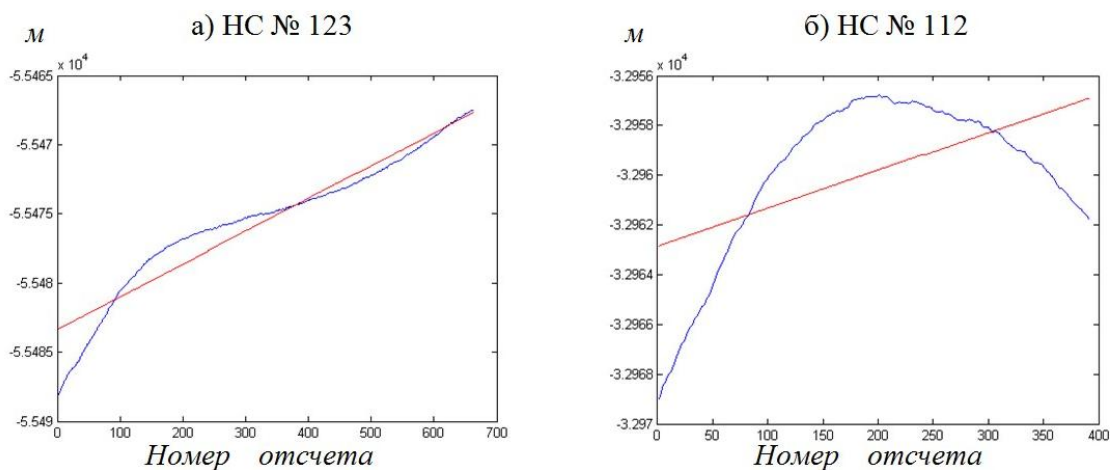


Рис. 3. Уходы бортовых часов и прогнозные значения параметров нестабильности

Результатами применения методики являются оценки уходов бортовых шкал времени орбитальной группировки ГЛОНАСС и статистические характеристики погрешностей представления эти шкал с помощью ЧВП. Особенностью разработанного методики является достижение высокой точности за счет использования государственного вторичного эталона времени, частоты и момента шкалы ВЭТ 1-19. Полученные оценки позволяют осуществлять контроль ЧВП навигационного поля ГЛОНАСС, что является одной из задач метрологического пункта ГСВЧ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О влиянии нестабильности часов на точность координатно-временных определений спутниковых навигационных технологиях / А. С. Толстикова, А. С. Томилов, А. Р. Безродных, Э. О. Непомнящая // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 2. – С. 36–40.
2. Оценивание уходов бортовых часов по данным траекторных измерений / А. С. Толстикова, Е. А. Ханькова, Н. В. Закорючкина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 2. – С. 229–232.
3. Blewitt G. Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km // Journal of Geophysical Research. – 1989. – Vol. 96, no. B8. – P. 187-203.
4. Оценивание эфемеридно-временных параметров орбитальной группировки ГЛОНАСС / А. С. Толстикова, Е. А. Ханькова, А. А. Карауш // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 8–13.
5. О метрологическом обеспечении сети активных базовых ГНСС-станций Новосибирской области / А. С. Толстикова, Е. А. Ханькова, А. А. Карауш, А. Р. Безродных // Приборы. – 2014. – № 9 (171). – С. 34–38.

© Е. А. Ханькова, А. С. Толстикова, А. А. Карауш, 2015

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫХ ЧАСОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ГЛОНАСС

Александр Сергеевич Толстиков

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии, 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, начальник ГСВЧ; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)210-11-85, e-mail: tolstikov@mail.ksn.ru

Андрей Сергеевич Томилов

Сибирский научно-исследовательский институт метрологии, 630004, Россия, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 4, заместитель начальника ГСВЧ, тел. (383)210-11-85, e-mail: tomber1@yandex.ru

Анжелика Равильевна Безродных

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирантка кафедры метрологии и технологии оптического производства, e-mail: a.bezrodnykh@mail.ru

В статье анализируются пути повышения точности синхронизации пространственно-разнесенных часов. Показана эффективность привлечения методологии Precise Point Positioning (PPP) для задач синхронизации. Приведены методы разрешения неоднозначности фазовых измерений.

Ключевые слова: частотно-временные измерения, псевдодальномерные фазовые измерения, пространственно-разнесенные часы, методология PPP, фазовая неоднозначность.

WAYS TO IMPROVE SYNCHRONIZATION ACCURACY SPATIALLY SEPARATED HOURS ON THE BASIS OF APPLICATIONS GLONASS NAVIGATION SIGNALS

Aleksandr S. Tolstikov

Siberian Research Institute of Metrology, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrova, head SSTF; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. of Department metrology and optical instrumentation technology, e-mail: tolstikov@mail.ksn.ru

Andrew S. Tomilov

Siberian Research Institute of Metrology, 630004, Russia, Novosibirsk, 4 Dimitrova, the Deputy chief of SSTF, e-mail: tomber1@yandex.ru

Angelika R. Bezrodnikh

Siberian State University of Geosystem and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate department of the Department of metrology and optical engineering technology, e-mail: a.bezrodnykh@mail.ru

The article analyzes the ways to improve timing accuracy spatially separated hours. The effectiveness of the methodology of Precise Point Positioning (PPP) involved for synchronization tasks. The methods of ambiguity resolution phase measurements.

Key words: time-frequency measurement pseudodalmomernye phase measurements, spatially separated clocks, methodology PPP phase ambiguity.

Существует большое количество информационно-измерительных систем, в состав которых входят высокостабильные часы. Это системы астрономических наблюдений, системы контроля за движением спутников Земли и космических объектов, навигационные системы наземного и космического базирования, системы контроля синхронно развивающихся геофизических процессов.

Главными особенностями таких систем являются: пространственная разнесенность измерительных устройств с часами и необходимость высокой согласованности хода часов, участвующих в измерениях.

Требования к точности выполняемых измерений и надежности функционирования указанных измерительных систем постоянно растут, что и делают актуальной задачу поиска путей к повышению точности синхронизации часов, участвующих в измерениях.

Для синхронизации пространственно-разнесенных часов в настоящее время широко используются спутниковые навигационные технологии [1-3].

Методы прямой передачи потребителю частотно-временной информации в составе навигационного сообщения частотно-временной информации для точной синхронизации пространственно-разнесенных часов не применяются.

Лучшие результаты дают дифференциальные методы, предполагающие прием в пунктах синхронизации сигналов от "третьих - спутниковых" часов и обмен информацией о результатах приема между этими пунктами. Результаты синхронизации в этом случае зависят от неодинаковости условий прохождения синхронизируемого сигнала по радиотрассам и на зависят от нестабильности этих третьих часов.

Одна из разновидностей этого метода, метод «common view» [3], предполагал одновременный прием навигационных сигналов одного, определенным образом выбранного спутника, в пунктах нахождения синхронизируемых часов. Полученные в каждом пункте результаты измерений подвергались обработке с целью компенсации составляющей псевдодальности, связанной с геометрической дальностью радиотрассы и компенсацией эффектов от ионосферной и тропосферной задержек радиосигнала. Полученные в результате такой обработки результаты содержали информацию о шкале времени выбранного спутника и шкале часов пункта синхронизации. После обмена полученной информацией между пунктами синхронизации из разностей результатов обработки псевдодальномерных измерений каждого пункта непосредственно определялось расхождение шкал времени часов в пунктах синхронизации.

Позднее «common view» трансформировался в метод синхронизации, включающий в обработку данные по всей радиовидимой в каждом пункте в течение суток орбитальной группировке навигационных спутников (НС) [4]. В обмен информацией между пунктами синхронизации представлялись результаты усреднения по всему ансамблю НС. Данный подход, предложенный в 1993 году международной группой CGGTTS по выработке стандарта – Common GPS

GLONASS Time Transfer Standard опирается на использование в качестве исходных данных одночастотных измерений. Для компенсации ионосферной задержки, при GPS наблюдениях, используется модель Клабухара [5].

Дальнейшее повышение точности синхронизации пространственно-разнесенных часов может быть обеспечено за счет привлечения к задачам синхронизации методологии Precise Point Positioning (PPP), изначально ориентированной на координатно-временные определения, является привлекательной для задачи синхронизации шкал времени [2].

Основной выигрыш по точности, согласно этой методологии, достигается за счет использования в качестве исходных данных для синхронизации результатов более точных, по сравнению с кодовыми, фазовых псевдо-дальномерных измерений, применении уточненных эфемерид спутников и уточненных частотно-временных поправок к бортовым часам.

Уравнения беззапросных кодовых и фазовых измерений имеют вид:

$$D^A(t) = \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA}) + \Delta T_{SR}(t) \cdot c + \tau_{ion}(t) \cdot c + \sum_{i=1}^N p_{iA}(t), \quad (1)$$

$$\varphi^A(t) = \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_R) + \Delta T_{SR}(t) \cdot c - \tau_{ion}(t) \cdot c + K \cdot \lambda + \sum_{i=1}^N p_{iA}(t), \quad (2)$$

где $D^A(t)$ и $\varphi^A(t)$ – измеренные на момент прихода навигационного сигнала на приемную антенну в одном из пунктов синхронизации А кодовые и фазовые псевдодальности, выраженные в единицах длины;

$\rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA}) = \sqrt{(x_S - x_{RA})^2 + (y_S - y_{RA})^2 + (z_S - z_{RA})^2}$ – геометрическая дальность от передающей антенны спутника до приемной антенны потребителя в пункте А;

$\mathbf{u}_S^T = x_S, y_S, z_S$ – вектор координат НС ГЛОНАСС в системе координат ПЗ 90;

$\mathbf{u}_{RA}^T = x_{RA}, y_{RA}, z_{RA}$ – вектор координат антенного модуля пункта А;

$\Delta T_{SR}^A(t) = \Delta T_S(t) + \Delta T_R^A(t)$ – суммарное расхождение бортовой и наземной в пункте А шкал относительно системного времени; λ – длина волны несущей с литерной частотой, на которой передается навигационный сигнал; K – целое неопределённое число длин волн, укладываемых в измеренном расстоянии, c – скорость распространения навигационного сигнала в вакууме; $\tau_{ion}(t) \cdot c$ – задержка

навигационного сигнала в ионосферном слое; $\sum_{i=1}^N p_i^A(t)$ – факторы, влияющие на

точность псевдодальномерных измерений, к которым относятся выраженные в единицах длины задержки навигационного сигнала в тропосферном слое, поправки за релятивистские эффекты, смещения фазовых центров антенных модулей, аномальные значения, связанные с многолучевостью распространения навигационного сигнала, неучтенные задержки в радиотрактах передающей и приемной аппаратуры, погрешности измерений и другие факторы.

Для сравнения шкал времени из результатов кодовых и фазовых измерений должны быть выделены составляющие $\Delta T_{SR}^A(t)$. С этой целью к результатам

измерений добавляются компенсирующие поправки - рассчитанные оценки геометрической дальности $\hat{\rho}(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA})$ и оценки доминирующих факторов $\hat{p}_i^A(t)$.

Полученные таким образом уравнения для расчета оценок $\Delta\hat{T}_{SR}^A(t)$ на основе кодовых (1) и фазовых (2) измерений в пункте A приобретают вид

$$\Delta D^A(t) = D^A(t) - \hat{\rho}(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA}) - \sum_{i=1}^N \hat{p}_i^A(t) = \hat{T}_{SR}^A(t) \cdot c + \tau_{ion}(t) + \delta_{AD}, \quad (3)$$

$$\Delta\varphi^A(t) = \varphi^A(t) - \hat{\rho}(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA}) - \sum_{i=1}^N \hat{p}_i^A(t) = \hat{T}_{SR}^A(t) \cdot c + \hat{K}^A \cdot \lambda - \tau_{ion}(t) + \delta_{A\varphi}. \quad (4)$$

Расчет оценок $\Delta\hat{T}_{SR}^A(t)$ и $\Delta\hat{T}_{SR}^B(t)$, подлежащих обмену между пунктами дислокации сравниваемых часов A и B , производится для каждой пары измерений $D(t)$ и $\varphi(t)$ путем решения системы алгебраических уравнений (3) и (4). С учетом равенства $T_{SR}(t) = T_S(t) + T_R(t)$ при обмене информацией между пунктами A и B из разностей $\hat{T}_{SR}^A(t) - \hat{T}_{SR}^B(t)$ непосредственно получают разности оценок шкал времени сравниваемых часов

$$\hat{T}_R^{A-B}(t) = \hat{T}_{SR}^A(t) - \hat{T}_{SR}^B(t). \quad (5)$$

Повышение точности и достоверности оценок $\hat{T}_R^{A-B}(t)$ расхождения шкал времени часов в пунктах A и B достигается при обмене протоколами измерений CGGTTS, полученных в этих пунктах. В этом случае используется вся радиовидимая в течении суток орбитальная группировка НС [6].

Аналогичный алгоритм осуществляется для оценивания уходов шкал времени нескольких навигационных спутников, сигналы которых принимается одной наземной станцией.

Основная трудность при решении рассматриваемой системы уравнений связана с задержкой сигнала в ионосфере, которая входит в уравнения (3) и (4) с противоположными знаками – поправка к кодовой псевдодальности отрицательная, в то время как к фазе - положительная. В силу этого при определении фазовой неоднозначности из разности кодовых и фазовых измерений, в число неизвестных входит и удвоенная ионосферная задержка. В соответствии с вышеизложенными для решения системы уравнений целесообразно представлять ионосферную задержку в качестве параметрической модели, на основе которой и рассчитываются поправки рассматриваемого фактора.

Проблема разрешения фазовой неоднозначности решается путем компенсации ионосферной задержки за счёт применения двухчастотных фазовых псевдодальномерных измерений.

При обработке двухчастотных измерений используется свойство частотной зависимости ионосферной задержки. Для формирования линейных комбинаций кодовых фазовых измерений, так называемая безионосферная комбинация $D_3(t)$ и $\varphi_3(t)$ [2]

$$D_3(t) = \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_{RA}) + \Delta T_{SR}(t) \cdot c + \sum_{i=1}^N p_{iA}(t), \quad (6)$$

$$\varphi_3(t) = \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_R) + \Delta T_{SR}(t) \cdot c - K \cdot \lambda + \sum_{i=1}^N p_{iA}(t), \quad (7)$$

где

$$D_3 = \frac{(77^2 D_1 - 60^2 D_2)}{(77^2 - 60^2)}; \varphi_3 = \frac{(77^2 \varphi_1 - 60^2 \varphi_2)}{(77^2 - 60^2)}, \quad (8)$$

и число циклов для безионосферной комбинации равно $K_3 = 77K_1 - 60K_2$.

Эквивалентная длина волны (см) безионосферной комбинации

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{77\lambda_2 - 60\lambda_1} \approx 0,63. \quad (9)$$

Формируя первые разности по станциям получим:

$$\Delta D_3 = \Delta \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_R) + \Delta T_R(t) \cdot c + \sqrt{2} \sum_{i=1}^N p_{D_3}(t), \quad (10)$$

$$\Delta \varphi_3 = \Delta \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_R) + \Delta T_R(t) \cdot c + K_3 \cdot \lambda_3 + \sqrt{2} \sum_{i=1}^N p_{\varphi_3}(t).$$

Используя соотношения фазовых измерений

$$K_3 \cdot \lambda_3 = \lambda_3(77K_1 - 60K_2) = \lambda_3(17K_1 + 60K_4) = \lambda_6 K_1 + 60K_4 \cdot \lambda_3, \quad (11)$$

получаем

$$\Delta \varphi_3 = \Delta \rho(\mathbf{u}_S, \mathbf{u}_R) + \Delta T_R(t) \cdot c + \lambda_6 K_1 + 60 \cdot \Delta K_4 \cdot \lambda_3 + \sqrt{2} \sum_{i=1}^N p_{\varphi_3}(t), \quad (12)$$

где ΔK_4 - разность неизвестного числа циклов для двух станции для широкой комбинации [7].

Повышение точности синхронизации пространственно разнесенных часов на основе применения навигационных сигналов ГЛОНАСС обеспечивается за счет применения фазовых измерений, как более точных по сравнению с кодовыми.

При этом возникает необходимость в предварительной подготовке исходных данных кодовых и фазовых измерений. В режиме обработки данных по каждому треку необходимо исключение аномальных данных, связанных с многолучевостью прохождения навигационного сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проблемы обеспечения точности координатно-временных определений на основе применения ГЛОНАСС технологий / А. С. Толстикова, В. А. Ащеулова, К. М. Антонович, Ю. В. Сурнин // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 2 (18). – С. 3–11.

2. Сличение шкал времени с использованием сигналов ГНСС в режиме Common View с разрешением фазовых неоднозначностей / И. О. Скакун, В. В. Митрикас // Полет. - 2014. - № 1. - С. 50-57.
3. Юношев Л. С. О сличении эталонов времени по сигналам навигационных спутников. // Измерительная техника. – 1994. – № 7. – С. 30–33.
4. Defraigne P., Bruyninx C. Time Transfer for TAI using a geodetic receiver, An Example with Ashtech ZXII-T. // GPS Solutions. – 2001. – № 5. – P. 43-50.
5. Использование спутниковой радионавигационной системы NAVSTAR для синхронизации шкал времени / И.А. Новиков, В.С. Рабкин, С.В. Филатченков, А.А. Шебанов, В.С. Шебшаевич // Зарубежная радиоэлектроника. – 1987. – № 11. – С. 3-15.
6. Толстиков А. С., Безродных А. Р. Синхронизация пространственно-разнесенных часов на основе псевдодальномерных фазовых измерений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 36–40.
7. Delporte J., Mercier F., Laurichesse D., Galy O. GPS carrier-phase time transfer using single-difference integer ambiguity resolution // International journal of navigation and observation. 2008.

© А. С. Толстиков, А. С. Томилов, А. Р. Безродных, 2015

ТЕХНОЛОГИЯ СПИСАНИЯ ДЕВИАЦИИ КУРСОВОЙ СИСТЕМЫ ГМК-1А НА ВЕРТОЛЁТЕ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Владимир Александрович Райдугин

Бердский политехнический колледж, 633004, Россия, Новосибирская область, г. Бердск, ул. Островского, 97, мастер производственного обучения, тел. (953)777-83-19, e-mail: raydugin@mail.ru

Оптимизирован порядок списания девиации курсовой системы ГМК-1А в полевых условиях, обеспечивающий минимальную погрешность.

Ключевые слова: девиация, курс, пеленгатор, продольная ось, коррекционный механизм.

TECHNOLOGY OF WRITE-OFF OF DEVIATION OF COURSE SYSTEM GMK-1A BY THE HELICOPTER IN FIELD CONDITIONS

Vladimir A. Raydugin

Berdsy polytechnical college, 633004, Russia, the Novosibirsk region, Berdsk, 97 Ostrovsky's St., the master of inservice training, tel. (953)777-83-19, e-mail: raydugin@mail.ru

The order of write-off of deviation of course system GMK-1A in the field conditions, providing the minimum error is optimised.

Key words: deviation, a course, a direction finder, a longitudinal axis, the correctional mechanism.

В условиях жёсткого дефицита времени, неблагоприятного жаркого климата и ограниченного размера площадок базирования вертолётов в различных регионах при выполнении специальных миссий необходимо постоянно поддерживать стопроцентную исправность вертолётов. Решающее значение имеет точность курсовой системы. При этом выполнение девиационных работ, обеспечивающих устранение или минимизацию погрешностей курсовой системы, связано с большим объёмом подготовительных работ и времени на выполнение всех операций.

Условие удаления проверяемого вертолёта от других летательных аппаратов, сооружений и техники на расстояние 50 метров в идеале невыполнимо. Для устранения девиации используется метод пеленгования продольной оси вертолёта. После установки вертолёта на площадку для списания девиации необходимо снять защитную ленту с лекального устройства коррекционного механизма КМ-8, установить регулировочные винты в нейтральное положение. Для установки вертолёта на магнитный курс пеленгованием продольной оси следует развернуть вертолёт на заданный магнитный курс по указателю курса, установить пеленгатор в 30-50 м впереди вертолёта по направлению продольной оси вертолёта. Далее необходимо отрегулировать пеленгатор по уровню и совместить линию 0-180° с магнитной стрелкой, развернуть визирную рамку (алидаду)

так, чтобы линия визирования совпала с продольной осью вертолѐта, и против индекса визирной рамки на шкале лимба отсчитать магнитный курс. С помощью водила устанавливаем вертолѐт на курс 0° , при этом один специалист с помощью девиационного пеленгатора, находясь перед вертолѐтом на максимально возможном удалении в пределах 30-35 метров, определяет курс, визируя продольную ось вертолѐта (рис. 1. Определение магнитного курса продольной оси вертолѐта).

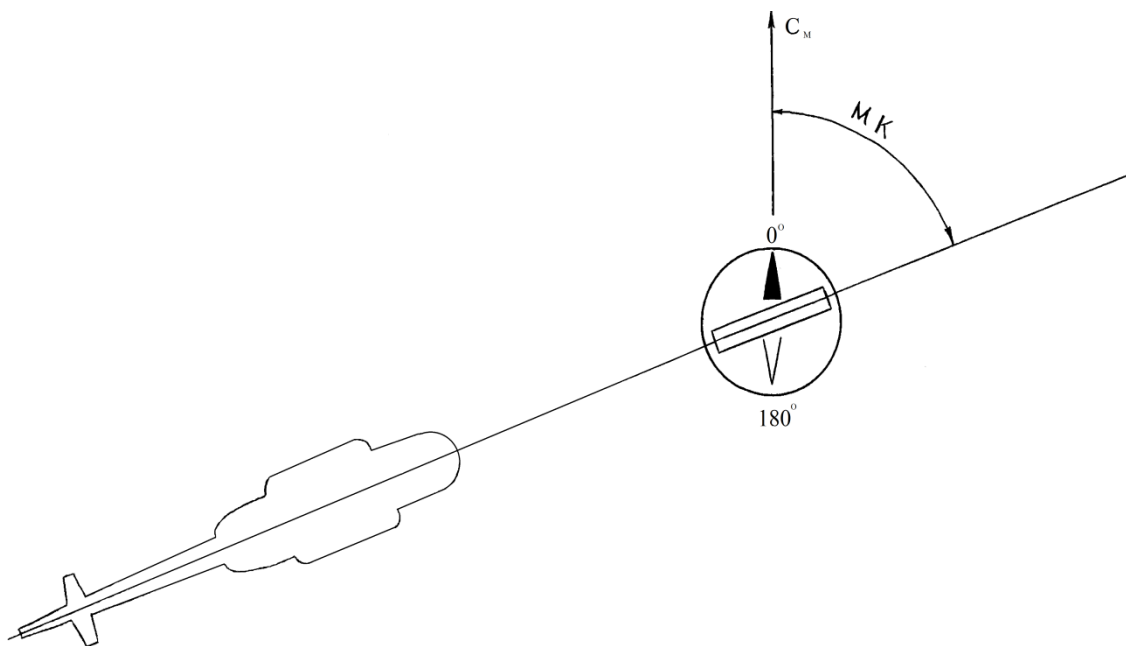


Рис. 1. Определение магнитного курса продольной оси вертолѐта

Подключив вертолѐт к источнику питания, включаем курсовую систему, и определяем погрешности курса на отметках $0, 90, 180, 270^\circ$. Если погрешности имеют один знак и превышают 2° , то устраняют круговую девиацию путѐм поворота корпуса датчика ИД-3 на величину установочной погрешности. Далее проверяем погрешности курса на тех же отметках. Если погрешности на курсах $0, 180^\circ$ и $90, 270^\circ$ имеют один знак соответственно, то устраняют полукруговую девиацию путѐм вращения регулировочных валиков на датчике ИД-3. Проанализировать и устранить погрешности возможно и при выполнении одного прогона вертолѐта по курсам $0, 90, 180, 270^\circ$.

После этого для устранения четвертной девиации вертолѐт устанавливают последовательно на магнитные курсы $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ и т.д. через 15° . Специальный ключом, прикладываемым к коррекционному механизму вращением регулировочного винта, соответствующего магнитному курсу, доводят показания указателя УГР-4УК до значения магнитного курса, на который установлен вертолѐт (рис. 2. Коррекционный механизм КМ-8).

Результаты такого упрощѐнного метода списания девиации курсовой системы ГМК-1А на вертолѐте Ми-8МТ обеспечивают на практике нулевую погрешность по курсу при последующей проверке лѐтным составом на вертолѐте

после запуска двигателей и выруливания на стартовую площадку, а также при выполнении последующих полётов.

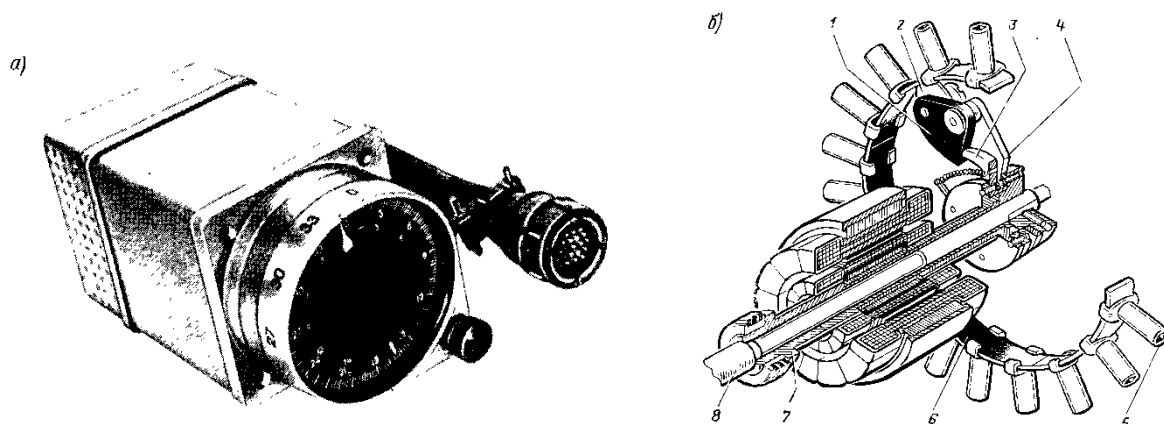


Рис. 1. Коррекционный механизм КМ-8:
а - указатель; б - лекальное устройство коррекционного механизма:
1, 3, 4 - рычаги; 2 - ролик; 5-винт; 6-лента; 7 - втулка; 8 - ось

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система курсовая ГМК-1А [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://skyjumper.ru>

© В. А. Райдугин, 2015

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Алена Алексеевна Марач

ООО «Семейное здоровье», 630048, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 7, фельдшер-лаборант, тел. (913)704-67-24, e-mail: Maratch_a_a@mail.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Владимир Витальевич Коваленко

ГБОУ СПО НСО «Новосибирский приборостроительный техникум им. Б. С. Галушцака», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Дмитрия Донского, 23/2, корп. 45, заведующий комплексной лабораторией оптических и оптико-электронных приборов и систем, тел. (923)197-01-71, e-mail: optic.rem@mail.ru

В статье представлена классификация приборов для измерения расстояний, построенная на общности метода измерения переменного параметра в приборе. Приведена сравнительная характеристика технических возможностей этих систем.

Ключевые слова: дальномер, линейные измерения.

GEOMETRIC METHODS TO MEASURE DISTANCES

Alena A. Maratch

LLC «Family health», 630048, Russia, Novosibirsk, Karl Marx, 7, paramedic assistant, tel. (913)704-67-24, e-mail: Maratch_a_a@mail.ru

Maxim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor in the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Vladimir V. Kovalenko

GBOU SPO NSO «Novosibirsk instrument-making of the College. B. S. Galushchaka», 630049, Russia, Novosibirsk, 23/2 Dmitry Donskoy str., Bldg. 45, head of integrated laboratory for Optical and optoelectronic devices and systems, tel. (923)197-01-71, e-mail: optic.rem@mail.ru

The article presents the classification of instruments for measuring distances, built-tion on the generality of the method of measuring a variable parameter in the device. Given comparative characteristics of the technical capabilities of these systems.

Key words: distance unit of linear measurement.

Методы измерения линейных размеров объектов, измерение больших расстояний с высокой точностью бесконтактными способами занимают центральное место в науке и технике. Прогресс не стоит на месте - системы техническо-

го зрения [1], электронно-оптических комплексы успешно работают во многих областях [2,3,4,5].

Дальномеры широко используются во многих отраслях: геодезия для измерений больших расстояний; для наводки на резкость, в фотографии; для наведения на цель в военном деле; для измерения размера линейной деформации в приборостроении и машиностроении; при строительстве зданий и сооружений.

По принципу действия все дальномеры поделены на активные и пассивные. К активным относятся: звуковые, лазерные и световые. К пассивным дальномерам: дальномеры, использующие оптический параллакс, (например дальномерный фотоаппарат) и дальномеры, использующие сопоставление объекта какому-либо образцу.

В дальномерах активного типа расстояние определяют через измерение времени, за которое электромагнитные колебания проходят расстояния до объекта и обратно. Скорость распространения посланного сигнала (скорость света или звука) считается известной.

Принципиальные схемы интерференционных дальномеров строятся на простом и на дифференциальном способе измерения, который предложил У.О. Шварц (в работах [6, 7, 8] подробно рассмотрен вопрос чувствительности оптических интерферометров).

В основу работы дальномеров геометрического типа заложен измерительный треугольник, и вся система построена на его свойствах. Дальномеры геометрического типа разделены на дальномеры с базой в точке цели и на дальномеры с базой в приборе. [9, 10].

Измерение расстояний дальномерами пассивного типа основано на определении высоты h равнобедренного треугольника ABC , например по известной стороне $AB = l$ (базе) и противолежащему острому углу β (см. рис.). Одна из величин, l или β , обычно является постоянной, а другая - переменной (измеряемой). По этому признаку различают дальномеры с постоянным углом и дальномеры с постоянной базой.

На рис. $AB = l$ — расстояние между объективами дальномера (база дальномера); C - объект, до которого надо определить расстояние; h - расстояние между дальномером и объектом наблюдения.

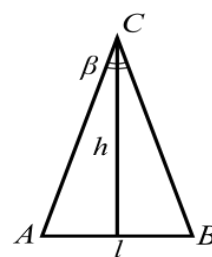


Рис. Принцип измерения расстояния дальномером

Все виды дальномеров с базой в точке цели являются визуальными, дальномеры с базой в приборе – проекционными [11].

В дальномерах физического типа основным параметром является величина скорости распространения света или длина его волны. В дальномерах геометрического типа, таких параметров два – это визирные направления, при помощи

которых определяется величина параллактического угла и соответственно базы. Данный вопрос подробно рассмотрен в работе [12].

Таблица

Принципы построения дальномеров

Методы взаимодействия пространства предметов с пространством изображений	Общий принцип построения дальномер	Измеряемые переменные параметры	Способ измерения переменного параметра
Дальномеры физического типа, использующие одно направление	Светолокационные дальномеры. Основным параметром является скорость распространения света	Амплитуда, частота или модуляция света	Непрерывная модуляция
			Прерывистая или импульсная модуляция
	Интерференционные дальномеры. Основным параметром является длина волны света	Число волн света	Простой или абсолютный способ измерений с одной ветвью
			Дифференциальный или относительный способ измерений с двумя ветвями
Дальномеры геометрического типа, использующие два направления	Дальномеры с базой в точке цели	База	Простой способ измерений, используемый в нитяном дальномере
			Косвенный способ измерений, применяемый в дальномере с оптическим микрометром
			Прямой способ измерений, применяемый в дальномере с базной рейкой
	Дальномеры с базой в приборе	Обе базы одновременно	Косвенный способ измерений, применяемый в дальномере с двумя штриховыми мерами (при приборе и в точке цели)
			Общий параллактический угол

Два направления, которые составляют параллактический угол, устанавливаются последовательно во времени по системе одинарного изображения и параллельно одновременно по системе двойного изображения. При создании новых модификаций прибора, первоочередное значение имеет число определяе-

мых параметров и характер их взаимосвязи, определяемый видом соединения – параллельный или последовательный [13]. Следующей величиной, которую следует учитывать - визирные направления [14] измерения.

Использование в дальномере геометрического типа третьего направления, он из оптического компенсатора преобразуется в оптический микрометр, который позволит производить измерения по двойному параллактическому углу, контролировать точность измерения угла [15].

Четыре направления (два параллактических угла) позволяют измерять отрезки, расположенные в плоскости цели, отбросив расстояние между целью и прибором. Зная соотношение между двумя углами и хорду, стягивающую второй угол. Применение двух параллактических углов и одного известного отрезка в плоскости цели, дает возможность производить измерения других отрезков в той же плоскости, независимо от расстояния этой плоскости от средства измерения [16, 17].

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что наибольший интерес представляют оптические дальномеры как наиболее простые в конструкции и надежные в работе приборы в области геодезии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов М. М., Комбаров М. С. Система технического зрения // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 1. – С. 166–167.
2. Комбаров М. С., Кузнецов М. М. Перспективы развития оптико-электронных измерительных приборов на российском рынке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 290–292.
3. Системы оптической локации технологического контроля интегральных схем : монография / М. Я. Воронин, И. Н. Карманов, М. М. Кузнецов, И. В. Лесных, А. В. Синельников; под общ. ред. М. Я. Воронина. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 239 с.
4. Грейм И. А. Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. – М., Недра, 1983. – 320 с.
5. Пашенков В. З. Радио- и светодальномеры. 2-е изд., перераб. и доп. – М., Недра, 1980, 333с.
6. Носков М. Ф., Кузнецов М. М. Двухлучевой интерферометр повышенной чувствительности для регистрации сверхмалых подвижек тектонических плит // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 4. – С. 58–61.
7. Носков М. Ф., Кузнецов М. М. Чувствительность оптических интерферометров // Естественные и технические науки. – 2009. – № 2(40). – С. 302–305.
8. Кузнецов М. М., Носков М. Ф. Метод выделения экстремумов полос путем нелинейной фоторегистрации интерференционной картины // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 5, ч. 2. – С. 185–187.
9. Новиков Ю. П. О повышении точности определения расстояния дальномером ОДД // Геодезия и картография. – 1971. – № 4. – С. 42–45.
10. Колков Д. Д. Влияние внешних условий на при измерениях оптическими дальномерами Д-54 и Д-59 // Геодезия и картография. – 1966. – № 2. – С. 24–29.

11. Грубер О. Оптическое измерение длин и полигонометрия. М., Углетехиздат, 1959
12. Ильин Н. С., Грейм И. А. Исследование вертикальной дифференциальной рефракции в приземном слое атмосферы. – Труды ОмСХИ, т.80, 1972, с.80-88.
13. Деймлих Ф. Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1970.
14. Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальномеры, М., Недра, 1973.
15. Захаров А. И., Зуйков И. И. Теодолиты средней точности и оптические дальномеры. М., Недра, 1965.
16. Грейм И. А., Махов Е. М. Разделение поля зрения в оптических системах двойного изображения. – Оптико-механическая промышленность, 1967, №8, с.20-22.
17. Чуриловский В. Н. Теория оптических приборов. Л., Машиностроение, 1966.

© А. А. Марач, М. М. Кузнецов, В. В. Коваленко, 2015

ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ВЗРЫВНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ГИПЕРКУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДА

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Рассмотрено устройство выключателя электрического тока взрывного типа на основе гиперкумулятивного заряда, формирующего диэлектрическую кумулятивную струю с повышенной скоростью и разрушающей способностью.

Ключевые слова: диэлектрическая кумулятивная струя, гиперкумулятивный заряд.

THE SWITCH OF EXPLOSIVE TYPE ON THE BASIS OF THE HYPERCUMULATIVE CHARGE

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

The device of switch electrical current on the basis of the explosive hypercumulative charge, forming dielectric cumulative jet at high speed and destructive power are considered.

Key words: a dielectric cumulative jet, a hypercumulative charge.

В промышленности необходимы устройства для экстренного отключения высоковольтных и сильноточных цепей. Известно взрывное устройство выключателя электрического тока [1], содержащее диэлектрическую подложку ци-

линдрической формы с кольцевой выемки поверхности, аналогичной поверхности однополосного гиперполоида вращения, наложенной на ее поверхность металлической фольги, подключенной к источнику импульсного тока, а поверхность фольги облицована покрытием из электроизоляционного газообразующего синтетического полимерного материала, например, полиэтилена, капролактама.

Действие выключателя взрывного типа основано на явлениях высокоэнергетического воздействия в виде электрического взрыва проводника при протекании по нему высоковольтного тока большей силы и кумулятивного эффекта с образованием газовой кумулятивной струи из материала облицовки.

Достоинством данного устройства является использование в качестве энергетического материала металлическую фольгу, безопасность его использования. Недостатком устройства является недостаточная разрушающая способность потока газообразных продуктов, обусловленная ее малой плотностью и малое быстродействие устройства, вызванное медленным процессом сгорания облицовки.

Известен выключатель взрывного типа [2] содержащий полую токоведущую шину, детонатор, дисковый заряд взрывчатого вещества с кольцевой кумулятивной выемкой по периферии заряда облицованной диэлектриком и расположенного внутри токоведущей шины. При иницировании заряда взрывчатого вещества из диэлектрической облицовки формируется пест и диэлектрическая кумулятивная струя имеющая форму дисков и со скоростью струи порядка 10 км/с, которая пробивает токоведущую шину. Однако этот выключатель взрывного типа имеют недостаточные быстродействие и разрушающую способность.

В данной работе решается техническая задача по созданию устройства, формирующего диэлектрическую кумулятивную струю с повышенной скоростью и разрушающей способностью, при этом осуществляется повышение быстродействия выключателя взрывного типа [3].

Технический результат достигается путем использования выключателя взрывного типа, содержащего полую токоведущую шину, детонатор, дисковый заряд взрывчатого вещества с кольцевой кумулятивной выемкой по периферии заряда облицованной диэлектриком и расположенного внутри токоведущей шины. В устройстве [3], в отличие от известных устройств, предложено выполнять кумулятивную выемку со сферически-цилиндрической формой в сечении и с облицовкой выполненной в виде трубчатой части из диэлектрика и составного дна, выполненного из пластины с диаметром не менее максимального диаметра трубчатой облицовки и присоединенной к ней выпуклой пластины в сторону противоположной токоведущей шины, с диаметром равным диаметру плоского дна и с максимальным прогибом по оси не более 0.2 диаметра трубчатой облицовки, при этом плотность материала плоской части дна превышает плотность материала выпуклой части дна. Кроме того, кумулятивная выемка может иметь форму усеченного конуса.

Из технической литературы хорошо известно, что глубина пробития преграды кумулятивной струей пропорционально длине кумулятивной струи

и корню квадратному из плотности материала струи [4], а диаметр кратера пропорционален энергии кумулятивной струи, т.е. квадрату ее скорости и плотности материала струи [4].

Кроме того, для каждого материала кумулятивной облицовки существует максимальная газодинамическая скорость формируемой кумулятивной струи, превышение которой ведет к разлету материала струи по ее радиусу, или к «внутреннему взрыву». Максимальная скорость конденсированной КС, которая может быть достигнута, составляет согласно [4]:

$$V_c \leq 2.41c_0, \quad (1)$$

где c_0 скорость звука в материале кумулятивной облицовке.

Создание необходимой повышенной скорости кумулятивной струи за счет энергии составного дна до столкновения элементов облицовки на оси симметрии заряда, и во время формирования струи, позволяет снять это ограничение. Это позволяет образовывать сверхскоростную без пестовую кумулятивную струю без её разрушения.

На рис. 1 показана конструкция выключателя взрывного типа в разрезе. Выключатель взрывного типа содержит токоведущую шину 1, детонатор 2, дисковый заряд взрывчатого вещества 3 с кумулятивной выемкой 4, диэлектрическую кумулятивную облицовку 5 с составным доньшком 6-7, выполненного из пластины 6 с диаметром не менее максимального диаметра трубчатой облицовки 5 и присоединенной к ней выпуклой пластины 7 в сторону противоположной токоведущей шины 1. Диаметр выпуклой пластины 7 равен диаметру плоского дна и с максимальным прогибом по оси не более 0.2 диаметра трубчатой облицовки, при этом плотность материала плоской части дна 6 превышает плотность материала выпуклой части дна 7. Кроме того, кумулятивная выемка может иметь форму усеченного конуса. При выполнении вышеприведенных соотношений обеспечивается эффективное функционирование устройства.

При срабатывании детонатора 2 детонационная волна распространяется по взрывчатому веществу 3, при этом выпуклая часть доньшка 7 ускоряется продуктами детонации взрывчатого вещества в падающей волне и материал доньшка 7 падает на плоскую часть доньшка 6. Материал трубчатой диэлектрической облицовки 5 ускоряется продуктами детонации взрывчатого вещества в скользящей волне. Это обеспечивает более скоростной режим движения дна.

Выполнение пластины доньшка 6 с диаметром не менее максимального диаметра облицовки 5 предотвращает попадания продуктов детонации во внутрь облицовки и разрушения формируемой кумулятивной струи. Диаметр выпуклой пластины доньшка 7 выполняется равным диаметру плоского доньшка 6. Пластина доньшка 7 выполняется с небольшим прогибом по высоте в центральной части и выпуклой в сторону противоположной токоведущей шины 1, в форме, например, сферического или конического сегмента. Прогиб пластины доньшка 7 больший чем 0.2 диаметра трубчатой облицовки 5, приводит к струеобразованию из материала доньшка 7 и разрушению плоской части до-

нышка 6. Плотность материала плоской части доньшка 6 превышает плотность материала выпуклой части доньшка 7, в этом случае выпуклая часть доньшка 7 может ускориться до большей скорости и не разрушит плоскую часть доньшка 6.

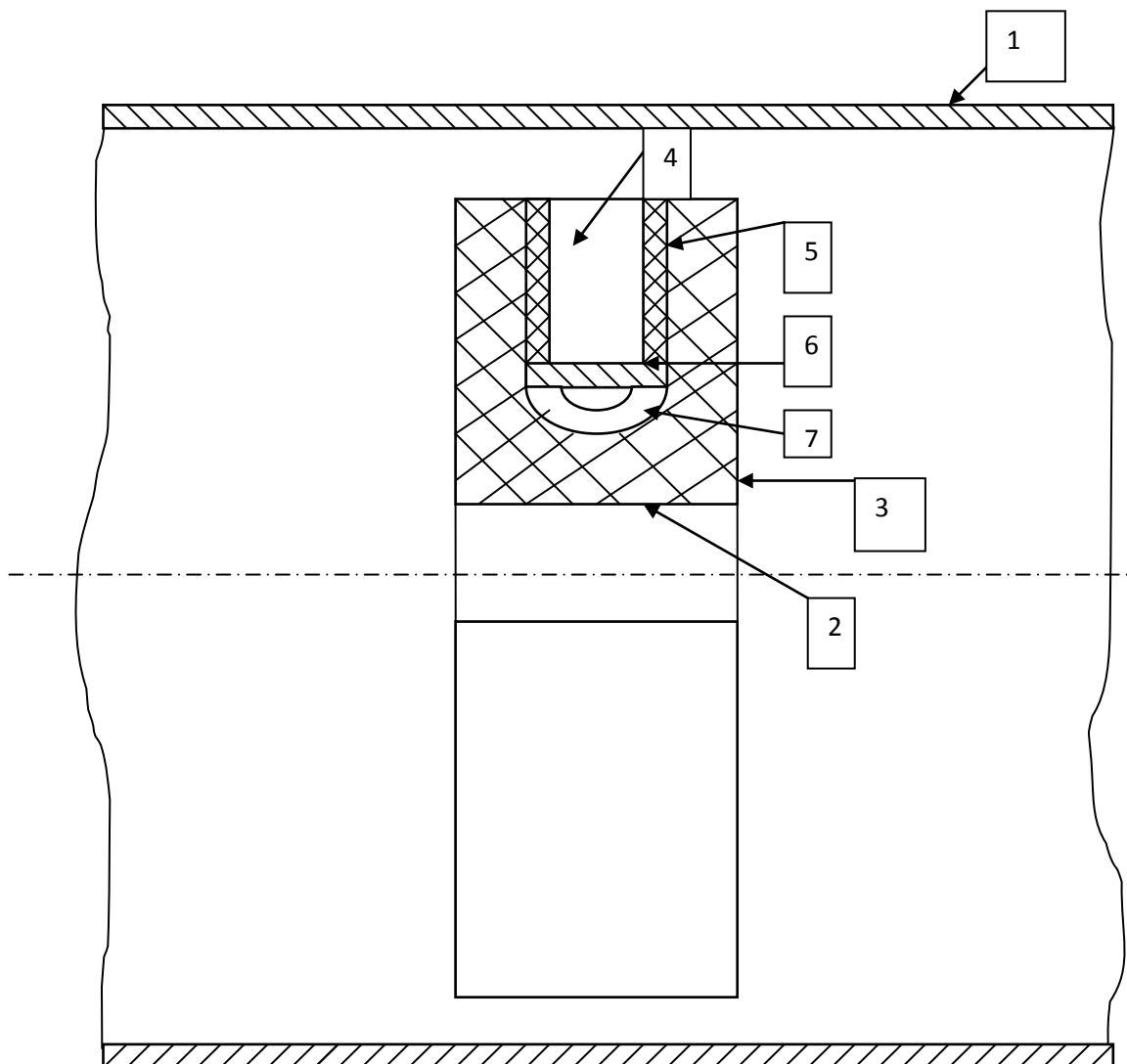


Рис. Устройство выключателя взрывного типа на основе гиперкумулятивных зарядов

При сжатии и метании продуктами детонации диэлектрической облицовки 5 ее материал взаимодействует с материалом составного доньшка 6-7 и увеличивает угол схлопывания материала, что ведет к увеличению массы формируемой кумулятивной струи, одновременно с приобретением дополнительной осевой скорости метания. Имея большую плотность материала составного дна 6-7 по сравнению с плотностью продуктов детонации процесс передачи энергии материалу облицовки 5 происходит более длительное время.

В качестве материала облицовки 5 могут применяться различные диэлектрические материалы, например, полиэтилен, парафин, органическое стекло,

фторопласт и т.д. В качестве материалов составного дна могут использоваться различные инертные материалы, например, металлы и сплавы металлов, например, железо, медь, алюминий, магний, висмут, титан или пористые композитные материалы, например, пористого железа или их смеси, например, песка и нитроклетчатки, песка и парафина.

Подобрав параметры кумулятивной выемки 4 (диаметр), диэлектрической облицовки 5 (материал, толщину стенок), составного доньшка 6-7 (радиус полусферической части, толщину, материал доньшка 7 и толщину и материал доньшка 6), можно получить высокоскоростную без пестовую диэлектрическую кумулятивную струю с плотностью материала струи порядка плотности материала облицовки и с максимальной скоростью превышающей газодинамический предел для этого материала. Например, максимальная скорость струи из органического стекла может превышать 20-25 км/с и минимальной скоростью порядка 10 км/с [5-8].

Таким образом, решается задача создания устройства, формирующего диэлектрическую кумулятивную струю с повышенной по сравнению с известными техническими решениями скоростью и разрушающей способностями.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2479062.
2. А.С. СССР № 418141.
3. Патент РФ 148766, «Выключатель взрывного типа».
4. Минин И. В., Минин О. В. Максимальная скорость сплошной кумулятивной струи // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 128–137.
5. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.
6. Патент 2412338 Российская Федерация, МПК E43/117, F42B1/02. Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром / Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В.; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5. – 46 с.
7. Computational fluid dynamics. Technologies and applications / Ed. By Igor V. Minin and Oleg V. Minin. Croatia: INTECH- 2011. – 396 p. V. F. Minin, I.V. Minin, O.V. Minin Calculation experiment technology, pp. 3- 28.
8. Минин И.В., Минин О.В. Кумулятивные заряды / Новосибирск, СГГА, 2013, 199 с.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

ПЕРСПЕКТИВЫ ОСП С РАЗДЕЛЕННЫМИ ПОРОХОВЫМИ ЗАРЯДАМИ

Михайл Александрович Кислин

ОАО «Новосибирский механический завод "ИСКРА"», 630900, Россия, г. Новосибирск, ул. Чекалина, 8, кандидат технических наук, ведущий инженер-технолог отдела главного технолога, тел. (913)785-78-85, e-mail: kislin60@yandex.ru

Екатерина Михайловна Хрубилова

ОАО «Новосибирский механический завод "ИСКРА"», 630900, Россия, г. Новосибирск, ул. Чекалина, 8, инженер-конструктор отдела новых разработок; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры наносистем и оптотехники, тел. (923)240-20-34, e-mail: yurkevich.k@mail.ru

В этой статье вашему вниманию предлагаются выкладки о пулевых охотничьих патронах с бинарным зарядом и тринарным зарядом производства «НМЗ «Искра». На специальном полигоне проведены стрельбы принципиально новых конструкций высокоскоростных пулевых патронов «Искра-М», которые обеспечили сверхвысокую скорость полета пули. Описана новая разработка конструкции капсюля-воспламенителя и гильзы для повышения безотказности срабатывания.

Ключевые слова: капсюль-воспламенитель, скорость, конструкция, пороховой заряд.

PERSPECTIVES OCP FROM THE AXIS SEPARATED POWDER CHARGE

Mikheil A. Kislin

JSC «Novosibirsk Mechanical Plant "Spark"», 630900, Russia, Novosibirsk, ul. Chekalin, 8, chief engineer technologist department chief technologist, Ph. D., tel. (913)785-78-85, e-mail: Kislin60@yandex.ru.

Catherine M. Hrubilova

JSC «Novosibirsk Mechanical Plant "Spark"», 630900, Russia, Novosibirsk, ul. Chekalin, 8, design engineer of new developments; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student nanosystems and optical engineering, tel. (923)240-20-34, e-mail: yurkevich.k@mail.ru

In this article, your attention is invited to the calculations of the bullet hunting cartridges with binary and ternary charge charge of production «"NMP" Spar». Conducted on a special testing ground firing fundamentally new designs of high-speed bullet cartridges «Iskra-M», which provided sverhskorost bullet. New development design primer and igniter-liners to improve reliability of operation.

Key words: cap-igniter, speed, design, powder charge.

Боевые качества оружия – прежде всего его эффективность определяются баллистическими характеристиками выбранного патрона. Патрон вместе со стволом непосредственно определяет баллистические характеристики оружия, в том числе величину начальной скорости пули, необходимую для преодоления

пулей расстояния до цели и последующего поражения цели. С увеличением начальной скорости сокращается полетное время пули, что способствует улучшению точности стрельбы вследствие уменьшения влияния ошибок подготовки исходных данных. Рост начальной скорости пули сопровождается улучшением настильности траектории и увеличением дальности прямого выстрела, облегчающим использование оружия вследствие возможности стрельбы на постоянном прицеле. При этом одновременно увеличивается скорость и кинетическая энергия пули у цели и улучшается ее убойное и пробивное действие.

Для увеличения скорости полета пули за счет увеличения массы порохового заряда без повышения максимального давления пороховых газов в гильзе патрона размещена дополнительная часть порохового заряда, отделенная от основного порохового заряда диафрагмой с отверстием. При этом диафрагма размещена внутри гильзы с натягом и имеет первоначальный диаметр на 0,1-0,2 мм больше внутреннего диаметра гильзы. В связи с тем, что для патронов к гладкоствольным ружьям хорошо изучены принципы увеличения скорости полета метаемого элемента за счет разделения порохового заряда на части диафрагмами с отверстиями (см. патенты РФ №2102693, №102103, №2301954, №143745, №2512815, № 2522753), то можно предположить, что данный принцип увеличения скорости полета пули будет применим и к нарезным патронам. В качестве обоснования этого утверждения можно привести результаты баллистических испытаний пулевого патрона калибра 410, который по калибру близок к патронам нарезного оружия (см. статью «Кучность. Точность» ж. Арсенал Охотника, г. Москва, №9, 2006 г). ОАО «НМЗ «Искра» совместно ЗАО «Барнаульский патронный завод» провел работу по модернизации пулевого патрона 410-го калибра со стальной гильзой. Модернизированный патрон 410-го калибра отличается от штатного тем, что имеет на 30% усиленный по массе пороховой заряд, состоящий из пороха «Сунар-410». Прокладка, разделяющая заряд на части, представляла собой кружок толщиной 1,5 мм, диаметром 11,3 мм, с центральным отверстием диаметром 1,8 мм. Остальные элементы патрона прежние, за исключением того, что разделяющая прокладка и добавочный заряд пороха заняли определенный участок внутри гильзы, пыж-компенсатор был укорочен на длину этого участка: со стороны контакта с пулей у пыжа-компенсатора была отрезана секция длиной 5,5 мм. [1].

Патроны, у которых пороховой заряд разделен на две части (бинар) или на три части (тринар) картонной прокладкой с отверстием небольшого диаметра представлены на рис. 1. При разделенном пороховом заряде воспламенение каждой следующей находящейся за картонной перегородкой, части порохового заряда, происходит с запрограммированной задержкой, что «растягивает» верхнюю полку кривой давления в канале ствола, обеспечивая сверхвысокую скорость снаряда до недостижимой для штатного порохового заряда скорости. На устройство конструкции патрона получены патенты РФ на изобретения [2, 3, 4].

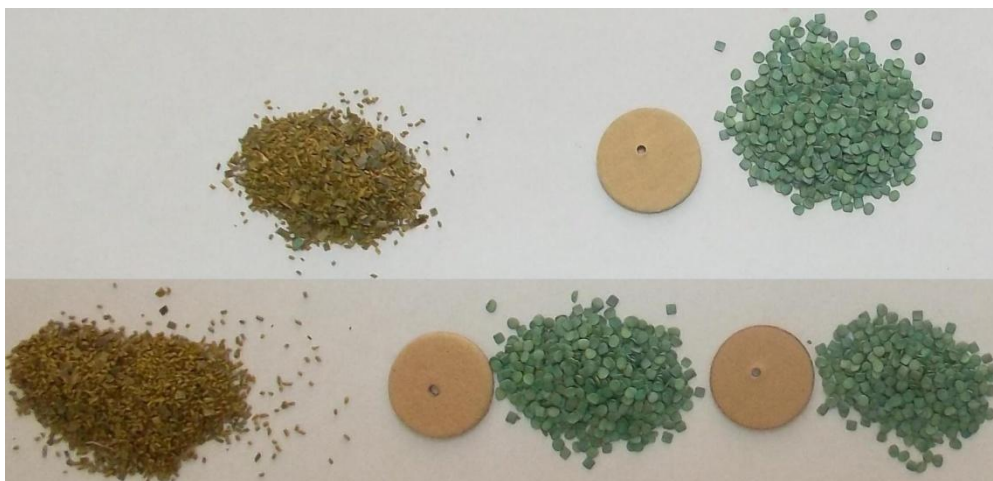


Рис. 1. Состав патрона «Искра-М» с бинарным или тринарным зарядом.

Отечественный порох «Сунар 42» располагается в заряде первым и воспламеняется непосредственно формирующимся форсом пламени капсюля

По аналогии с результатами подобной модернизации пулевого патрона 12-го калибра ожидалось, что средняя скорость возрастет на 70 – 80 м/с, среднее максимальное давление возрастет незначительно, снижение траектории на дистанции 100 м будет меньше, чем у штатного патрона, а кучность стрельбы будет выше. Серийные патроны снаряжались порохом «Сунар-410» партии 1-05К. Масса заряда 1,39 г. Общий заряд для опытных модернизированных патронов калибра 410 с разделенным пороховым зарядом составил $1,39 \times 1,3 = 1,8$ г.

Масса основного порохового заряда составила $1,8 \times 2/3 = 1,2$ г. Масса дополнительной части порохового заряда – соответственно $1,8 \times 1/3 = 0,6$ г. Разделяющую картонную прокладку вставляли с усилием 2 – 5 кг. Количество испытанных патронов: 10 штук на скорость и давление; 10 штук на кучность на дистанции 35 м; 10 штук на кучность на дистанции 100 м, параллельно с серийными патронами от образцовой партии ОБ-01 штатных патронов 410-го калибра.

Анализ результатов стрельб показал следующее:

- для модернизированных патронов калибра 410 с разделенным пороховым зарядом: скорость на расстоянии 10 м от дульного среза 580 м/с; разброс скорости пули 33 м/с; максимальное давление 929 кгс/см²; кучность стрельбы на 35 м – 11,5 см; кучность стрельбы на 100 м – 31 см;

- для серийных штатных патронов калибра 410: скорость на расстоянии 10 м от дульного среза 496 м/с; разброс скорости 19 м/с; максимальное давление 825 кгс/см²; кучность стрельбы на 35 м – 15 см; кучность стрельбы на дистанции 100 м – 64,5 см. Таким образом, модернизированный патрон с разделенным пороховым зарядом при практически одинаковом максимальном давлении с серийным патроном превосходит его в скорости на 17%, а в кучности на 100 м – в 2 раза.

Из обычных охотничьих гладкоствольных ружей калибра 12/76 с применением бинара и тринара уже достигнута сверхвысокая начальная скорость пули (масса пули 23-26 г) 600 - 650 м/с.

При такой сверхвысокой скорости полета пули получен блестящий результат – едва заметное относительно «нуля» понижение траектории от отметки 50 м к отметке 100 м менее 5 см.

Можно сказать, что на дистанции 100 метров выглядит вполне достойно и на фоне современных пуль «Совестра» и высокоскоростных «магнум» с пулей «Бреннеке» 21-граммовая бессвинцовая «Совестр» долетает до 100-метрового рубежа на скорости 391 м/с (данные производителя).

Следует отметить, что капсюль-воспламенитель во многом определяет скорость воспламенения порохового заряда, а значит и баллистику выстрела. Существующие капсюли-воспламенители можно условно разделить на два типа. Первый – собственно капсюль-воспламенитель, состоящий из металлического, чаще латунного, корпуса, называемого колпачком, с запрессованным в него воспламенительным составом ударного действия. Сверху состав закрыт герметизирующим покрытием, защищающим его от воздействия, в первую очередь, атмосферной влаги и кислорода. Пример такого капсюля-воспламенителя – ЦБО, также называемый «центробой». Второй тип имеет в своей конструкции дополнительные детали, и обязательно наковаленку. Примером таковых являются «Жевело», «Боксер», «Винчестер» и его аналоги: КВ-22, производившийся на ОАО «НМЗ «Искра» (г. Новосибирск), и КВ-209 производства МПЗ (г. Муром). В части производства для обеспечения высокой надежности срабатывания они требуют практически часовой точности изготовления деталей, особенно наковаленки и оболочки. Другой недостаток – удаленность воспламенительного состава от порохового заряда.

При сравнении конструкции капсюля-воспламенителя КВ-Б по патенту РФ №2256148 и общепринятой капсюлированной гильзой (см. рис. 2) было вырабатано новое техническое решение: убрать оболочку капсюля-воспламенителя КВ-Б и изменить конструкцию капсюльного гнезда гильзы. Такое изменение удешевит производство не только капсюля-воспламенителя, но и гильзы, т. к. отпадает необходимость прокола калиброванных запальных отверстий и формирования наковаленки. Это позволит использовать гильзу многократно, вследствие простоты извлечения корпуса использованного КВ из гильзы, без нарушения конструкции последней, и обеспечит рабочие характеристики, присущие капсюлю-воспламенителю КВ-Б. А именно наковаленка капсюля-воспламенителя за счет ее пружинных свойств даже при реально больших допусках на размеры элементов капсюля-воспламенителя и глубины капсюльного гнезда гильзы всегда жестко упирается на специальный кольцевой выступ (поз. 10 рис. 3), так же как и в капсюле-воспламенителе КВ-Б. Это обеспечивает более высокую надежность и чувствительность капсюля-воспламенителя, а также уменьшает время от момента удара бойка по капсюлю-воспламенителю до момента его срабатывания.

Новая конструкция капсюлированной гильзы в составе снаряженного высокоскоростного патрона для нарезного оружия приведена на рис. 3 [5].

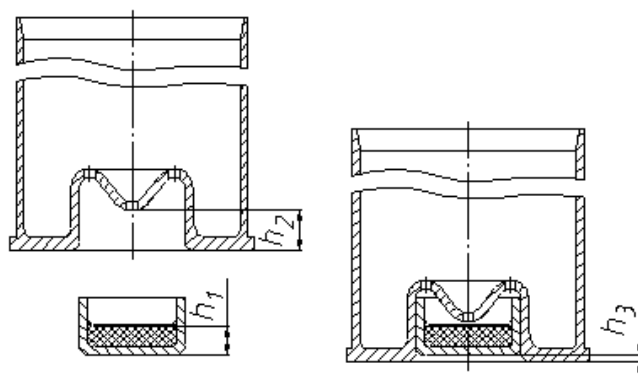


Рис. 2. Общепринятая конструкция гильзы капсюлированной

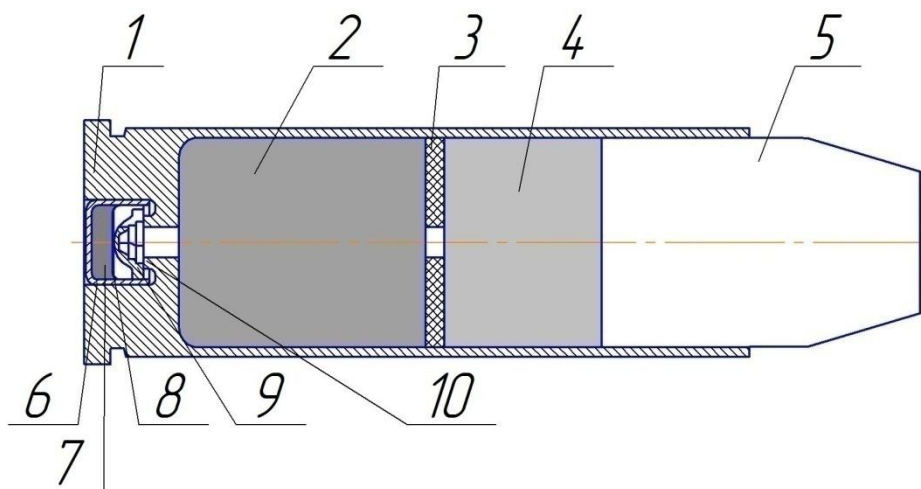


Рис. 3. Новая конструкция гильзы капсюлированной в составе снаряженного патрона для нарезного оружия. Где: 1 гильза; 2- основной пороховой заряд; 3- диафрагма с отверстием; 4- дополнительная часть порохового заряда; 5- пуля; 6- колпачок капсюля-воспламенителя; 7- ударно-воспламенительный состав, покрытый герметизирующей мембраной 8; 9-трехлепестковая наковаленка куполообразной формы; 10 - специальный кольцевой выступ, расположенный в капсюльном гнезде

Данная конструкция гильзы обеспечивает простоту извлечения корпуса использованного капсюля-воспламенителя из гильзы, без нарушения конструкции последней, и обеспечивает рабочие характеристики, присущие капсюлю-воспламенителю КВ-Б. Новая конструкция капсюлированной гильзы, которая защищена патентом РФ № 2525595, повышает вероятность безотказного срабатывания капсюля-воспламенителя и существенно уменьшает время его срабатывания при стрельбе из стрелкового оружия. Уменьшение времени срабаты-

ния капсюля-воспламенителя напрямую увеличит точность стрельбы стрелкового оружия на больших дистанциях как по не подвижным целям, так и подвижным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дягтерев М.Е. «Высокоскоростные пулевые патроны «Искра-М» для гладкого ствола». Российский оружейный журнал «КАЛАШНИКОВ. Оружие, боеприпасы, снаряжение», № 4, Санкт-Петербург: ООО «Азимут», 2014, с. 62-67.
2. Зыков В.А, Кислин М.А., Сысков С.П. Патрон для гладкоствольных ружей // патент на изобретение RU 2512815, 28.12.2012.
3. Кислин М.А. Патрон для гладкоствольных ружей // патент на изобретение RU 2301954, 18.10.2005.
4. Кислин М.А. Патрон для гладкоствольных ружей // патент на полезную модель RU 102103, 04.10.2010.
5. Кислин М.А., Маликов А. А., Пеньков В. А. Капсюль-воспламенитель для охотничьих и спортивных патронов для гладкоствольного оружия // патент на изобретение RU 2256148, 24.03.2004.

© М. А. Кислин, Е. М. Хрубилова, 2015

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Николай Николаевич Бардачевский

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат географических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий; Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, доцент кафедры, тел. (383)361-07-31, (383)332-50-45, e-mail: bardachevskiy@ngs.ru

Алексей Николаевич Ефимов

Военно-космическая академия им. Можайского, 197110, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Пионерская, 20, старший преподаватель кафедры топогеодезического обеспечения, тел. (981)680-91-30, e-mail: efima777@mail.ru

Гусейн Мамедович Мамедов

Новосибирское высшее военное командное училище, 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, доцент кафедры, тел. (383)332-50-45, e-mail: aslan121275@mail.ru

Разработан алгоритм оптимизации выбора маршрута движения колонн транспортных средств с использованием геоинформационных систем двойного назначения.

Ключевые слова: геоинформационные системы, выбор маршрута, проходимость местности.

ALGORITHM FOR TRAFFIC ROUTES USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Nikolai N. Bardachevsky

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., assistant professor of special devices and technologies; Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., associate professor, tel. (383)361-07-31, (383)332-50-45, e-mail: bardachevskiy@ngs.ru

Alexey N. Efimov

Military Space Academy named Mozhaiskogo, 197110, Russia, St. Petersburg, 20 Pioneer St., a senior lecturer in survey support, tel. (981)680-91-30, e-mail: efima777@mail.ru

Huseyn M. Mamedov

Novosibirsk Higher Military Command School, 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanova St., associate professor, tel. (383)332-50-45, e-mail: aslan121275@mail.ru

An algorithm for optimizing the choice of the route of the columns of vehicles using GIS dual purpose.

Key words: geographic information systems, route selection, cross-country terrain.

Боевые действия в наше время характеризуются размахом и динамичностью. В ходе выработки командиром решения на ведение боя особое внимание

уделяется изучению обстановки, которая может влиять на объём и содержание организационных и военно-технических мероприятий. Важнейшей составляющей оценки обстановки является оценка районов действий войск, которая включает в себя изучение данных о характере рельефа, защитных и маскирующих свойствах местности, состоянии путей маневра, подвоза, эвакуации и проходимости вне дорог, о наличии и характере инженерных заграждений.

Для информационной поддержки деятельности командиров по оценке обстановки используются ГИС. Их внедрение в практику управления войсками особенно важно в связи со значительным увеличением объёма и качественным изменением содержания мероприятий по управлению войсками, а также резким сокращением сроков их осуществления.

Однако активному внедрению ГИС в практику управления войсками препятствует несовершенство алгоритмов, применяемых для решения возникающих задач. Возникает противоречие между потребностью использования ГИС для информационной поддержки принятия решений по управлению войсками и несовершенством методик обработки и представления геопространственной информации в среде ГИС.

В этом направлении работает целый ряд исследователей. Наибольший интерес представляют труды Г.Г. Азгальдова, Н.В. Арефьева, Б.М. Балина, В.В. Дмитриева, М.П. Долговой, Е.Г. Капралова, А.Г. Осипова, Г.К. Осипова, Т. Саати, В.С. Тикунова, Ричарда Беллмана, Лестера Форда.

Анализ работ [1-4], посвященных вопросам комплексной оценки местности с использованием геоинформационных систем и представлению ее результатов в виде электронных карт, позволил сформулировать общие принципы проводимого исследования, основными из которых являются: 1) принцип системности; 2) принцип единства геоинформационного обеспечения; 3) принцип комплексности; 4) принцип взаимосвязи; 5) принцип учета приоритетности факторов, участвующих в оценке; 6) принцип однородности; 7) принцип наглядности; 8) принцип единства оценки; 9) принцип сомасштабности.

На основе сформулированных принципов была разработана методика выбора маршрутов прокладки колонных путей в лесисто-болотистой местности с использованием геоинформационной системы военного назначения. Кратко рассмотрим ее основные блоки.

Первый блок. Включает в себя подготовительные работы. Они начинаются со сбора и изучения фондовых, литературно-справочных, статистических, аэрокосмических и картографических материалов, характеризующих физико-географические условия исследуемого региона. При специальном картографировании возникает важная и сложная проблема по отбору той информации, которая необходима и достаточна для решения поставленной задачи. Желательно, чтобы ее отбор производился не интуитивно, а являлся следствием расчета с применением объективных количественных критериев.

Второй блок. Для решения задачи по определению условий проходимости местности необходимо формализовать на уровне концептуального представления (независимо от технического и программного обеспечения) информацион-

ное содержание предметной области. Такое формализованное представление будем называть концептуальной моделью, которая обеспечивает наиболее эффективную связь между решаемой задачей и информацией необходимой для ее решения, а также возможность унификации методов ее обработки в средствах автоматизации. По своей сущности концептуальная модель отражает данные и связи между ними. Если совокупность данных характеризует объем обрабатываемой информации, то связи между ними – алгоритм решения задачи.

В основу формирования предметной области закладываются результаты анализа решаемой задачи с целью определения набора данных о местности, который требуется для оценки ее условий проходимости. Для этого осуществляется деление задачи на отдельные операции, для каждой из которых определяется необходимое информационное обеспечение.

Одним из итогов концептуального моделирования является графическое представление модели, которое дает возможность визуально исследовать не только вид и содержание модели, но и ее поведение в случае изменения внешних (изменение задачи, ввод дополнительных данных) и внутренних (изменение граничных условий) факторов. Поэтому графический язык описания концептуальной модели должен быть наглядным, простым и содержательным. Например, конструктивно концептуальную модель можно представить в виде схемы. Процесс получения обобщенной концептуальной модели сводится к разбивке предметной области на ряд локальных участков, получению локальных моделей и объединения их путем абстрагирования в обобщенную модель. Исходной информацией для концептуального моделирования служат результаты исследования предметной области, отражающие взаимосвязи между операциями и данными, которые используются при их решении.

Третий блок. Основным источником информации для оценки оперативно-тактических свойств местности предлагается использовать топографическую карту масштаба 1:50000. Тогда оптимизация информационного обеспечения будет заключаться в определении степени соответствия содержания карты информационному обеспечению оценки оперативно-тактических свойств местности по заданному критерию и в случае невыполнения данного условия использование информации из других источников, до достижения наивысшего значения по критерию оптимальности информационного обеспечения. Пусть известны m операций и n элементов местности, отображенных на карте, которые необходимы для их реализации. В процессе анализа образца карты с привлечением экспертов любому из элементов карты может быть дана оценка Z_{ij} , характеризующая в какой степени i -тый элемент по своей информативности (детальности) может удовлетворять реализации j -той операции. Тогда, пользуясь предлагаемыми формулами, можно получить три важных характеристики содержания карты, характеризующих ее соответствие требованиям информационного обеспечения оценки оперативно-тактических свойств местности:

– степень удовлетворения любой из операций совокупности элементов содержания карты:

$$Z_j = \frac{1}{n} \sum_1^n Z_{ij} \quad (1)$$

– степень удовлетворения совокупности операций любым из элементов содержания карты:

$$Z_i = \frac{1}{m} \sum_1^m Z_{ij} \quad (2)$$

– степень соответствия карты информационному обеспечению оценки оперативно-тактических свойств местности:

$$Z = \frac{1}{mn} \sum_1^{mn} z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_1^m Z_j = \frac{1}{n} \sum_1^n Z_i \quad (3)$$

При этом карту можно считать полностью удовлетворяющей информационное обеспечение оценки оперативно-тактических свойств местности, если для каждого элемента содержания будет соблюдено условие:

$$z_{ij} = Z_0 \geq 0 \quad (4)$$

где: Z_0 – некоторое заданное значение оценки элементов содержания карты (нижний предел ее соответствия требованиям информационного обеспечения).

Из условия (4) вытекает, что любая из оценок соответствия элементов содержания карты требованиям информационного обеспечения должна быть не ниже заданной величины Z_0 . Идеальным является случай, когда $z_{ij} = Z_{max}$, т.е., когда любая из оценок получит максимально возможное значение, например, единица, при интервале оценок $\{0; 1\}$. Однако такие случаи маловероятны, поскольку не все элементы содержания карты максимально информативны с точки зрения информационного обеспечения оценки оперативно-тактических свойств местности. Поэтому оптимизация информационного обеспечения будет заключаться в дополнении информации из других источников об отдельных элементах местности, отображенных на карте, которое позволило бы получить оценки z_{ij} , удовлетворяющие условию (4) и максимально приближенные к значению Z_{max} , т.е. соблюсти следующее требование:

$$\frac{1}{mn} \sum_1^{mn} (Z_{max} - z) = \min \quad (5)$$

В наиболее общем виде предложенная модель может быть реализована в виде следующих операций:

- 1) составление программы испытаний и оценочных анкет, подготовка экспертов;
- 2) установление величины Z_0 ;
- 3) испытание и оценка карты: определение значений z_{ij} (экспертным методом), вычисление Z_i , Z_j и Z ;
- 4) проверка оценок по условию (4), принятие решения по оптимизации информационного обеспечения;

5) выявление наименьших значений z_{ij} , определение слабых сторон информационного обеспечения; корректировка информационного обеспечения путем дополнения информации из других источников об отдельных элементах местности, отображенных на карте;

б) определение степени соответствия откорректированного информационного обеспечения условию (4). Показатели Z_i и Z_j позволяют выявить слабые стороны информационного обеспечения и определить порядок действий по его улучшению. Показатель Z , выражает степень оптимальности информационного обеспечения для оценки оперативно-тактических свойств местности.

Четвертый блок. Построение «дерева свойств». В основу построения «дерева свойств» закладываются следующие принципы:

- деление в пределах каждой отдельной группы должно выполняться по единому признаку, т.е. по равному основанию;
- каждое комплексное свойство должно быть разделено на ближайшем вышестоящем уровне на такие свойства, число и характер которых соответствуют требованиям необходимости и достаточности;
- в пределах группы не могут одновременно находиться родовые и видовые свойства;
- количество уровней в дереве свойств должно быть таким, чтобы в каждой группе находилось минимальное количество свойств (в идеале два);
- разбиение свойств должно быть продолжено до тех пор, пока не будет достигнут, самый высокий уровень, на котором находятся элементарные и квазиэлементарные свойства.

Пятый блок. Определение ненормированных и нормированных весовых коэффициентов. Определение ненормированных весовых коэффициентов для показателей, вошедших в «дерево свойств» предлагается осуществлять экспертным методом парных сравнений. Его выбор был обусловлен простотой проведения экспертизы и достоверными результатами экспертного анализа. При реализации данного метода экспертам предъявляется матрица с парами оцениваемых показателей, и предлагается в каждой паре выбрать более предпочтительное решение. Далее определяются компоненты собственного вектора матрицы. После чего рассчитываются ненормированные векторы приоритета.

Шестой блок. Определение эталонных значений показателей. Эталонные значения показателей, соответствуют, лучшим показателям, характеризующим оперативно-тактические свойства в пределах изучаемой территории. Для их определения используются фондовые, нормативные материалы, данные полевых обследований и аэрокосмическая информация.

Седьмой блок. Включает в себя создание электронных аналитических (факторных) карт, под которыми понимается графическое отображение пространственно-привязанной информации о проходимости оцениваемого компонента местности для боевой техники вне дорог. В основу оценки проходимости компонента местности заложены показатели, характеризующие анализируемый компонент

При этом, если показатель поддавался методам физических измерений, его абсолютное значение выражается в каких-либо физических единицах, а в противном случае в баллах, для определения которых используются методы моделирования и экспертного анализа. После этого, производится определение относительных значений показателей.

В зависимости от значения показателя, характеризующего проходимость компонента ландшафта боевой техникой, объекты факторной карты объединяются в три группы

- 1) проходимые;
- 2) ограничено-проходимые;
- 3) непроходимые.

После чего каждой выделенной группе присваивается балл, характеризующий степень ее проходимости для боевой техники вне дорог: для первой группы 10 баллов, для второй 5 баллов, а для третьей 2 балла.

В процессе создания синтетической карты должно быть создано несколько аналитических факторных карт характеризующих: проходимость рельефа по крутизне скатов и расчлененности, проходимость леса по расстоянию между деревьями и толщине стволов, проходимость грунтов по заболоченности и механическому составу.

Восьмой блок. Деление изучаемой территории средствами ГИС на расчетные участки. Деление территории на расчетные участки осуществляется путем суммирования аналитических факторных карт с использованием операции «топологический оверлей», в результате чего изучаемая территория делится на совокупность однородных элементарных ареалов, в пределах, которых каждый из анализируемых показателей имеет только одно значение. В качестве примера на рис. приведено деление территории на расчетные участки по пригодности рельефа и грунтов.

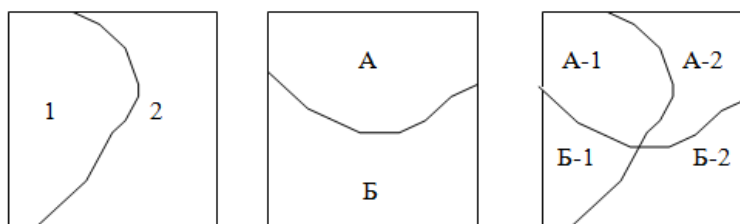


Рис. Деление изучаемой территории средствами ГИС на расчетные участки

(Условные обозначения: 1, 2 – ареалы, имеющие различные значения пригодности рельефа; А, Б – ареалы, имеющие различные значения пригодности грунтов; А-1, А-2, Б-1, Б-2 – элементарные ареалы, однородные по значению пригодности рельефа и грунтов).

При его реализации осуществляется суммирование аналитических факторных карт в результате чего изучаемая территория делится на расчетные участки, представляющие собой однородные элементарные ареалы, в пределах, которых каждый из анализируемых показателей имеет только одно значение. Затем все показатели, характеризующие проходимость расчетного участка, суммируются и получают синтетический показатель проходимости.

Девятый блок. Определение степени проявления изучаемого оперативно-тактического свойства местности в пределах расчетного участка и создание синтетических оценочных карт. Для определения степени проявления изучаемого оперативно-тактического свойства местности в пределах расчетного участка все показатели его, характеризующие с учетом их важности (веса) суммируют и получают синтетический показатель.

Наиболее пригодным для ведения боевых действий по изучаемому оперативно-тактическому свойству местности является тот расчетный участок, у которого показатель имеет самое большое значение. Индекс «0» при показателе означает, что оценка дается применительно к самому низкому (нулевому) уровню в иерархии свойств. При этом соотношение оценок пригодности будет точно отражать действительность только в том случае, когда оценка расчетных участков производится по полному дереву свойств, без исключения из него свойств одинаковых в сравниваемых расчетных участках.

После получения для каждого расчетного участка синтетического показателя проявления, в его пределах изучаемого оперативно-тактического свойства расчетные участки группируют по степени их влияния на ведение боевых действий и на этой основе создают синтетические карты. При этом под синтетической картой понимается целостное пространственное отображение изучаемого явления путем интерпретации, соединения и обобщения наиболее существенных показателей, с учетом связей между ними.

Десятый блок. Дискретизация изображения синтетических карт оперативно-тактических свойств местности на расчетные участки для комплексной оценки их влияния на решение задач управления воинскими частями и подразделениями. В существующей системе управления войсками заложен основополагающий принцип, в соответствии с которым необходимо на каждом уровне управления учитывать информацию, характеризующую обстановку для частей и подразделений на две ступени вниз, кроме того обязательно учитывать регламентируемые боевыми уставами оперативно-тактические показатели. Очевидно, что чем выше уровень управления и больше площадь оценивания местности, тем меньше степень детализации оценки местности и больше степень её обобщения. Вместе с тем, в настоящее время необходимо в основу оценки, выполняемой на более высоком уровне управления закладывать детализацию, соответствующую более низкому уровню. Следовательно, возникает необходимость обоснования размеров расчетных участков не в общем виде, а конкретно для каждой из задач управления воинскими частями и подразделениями с учётом оперативно-тактических нормативов. В основу дискретизации изображения синтетических карт оперативно-тактических свойств местности целесообразно

закладывать прямоугольную матрицу, элементарная ячейка которой будет являться расчетным участком. Его размер может корректироваться в зависимости от оперативного построения войск и условий местности.

Одиннадцатый блок. Определение весовых коэффициентов влияния оперативно-тактических свойств местности на решение задач управления воинскими частями и подразделениями.

Деление территории на расчетные участки осуществляется путем суммирования матрицы с синтетическими картами оперативно-тактических свойств местности с использованием операции «топологический оверлей», в результате чего изучаемая территория делится на совокупность однородных элементарных ареалов, в пределах, которых изучаемому оперативно-тактическому свойству местности присваивается его средневзвешенное значение.

Двенадцатый блок. Прокладка в автоматизированном режиме в среде геоинформационной системы маршрутов колонных путей и создание соответствующих специальных карт.

Средневзвешенным показателям однородных элементарных интервалов присваивается значение обратное полученным на предыдущем этапе, т.е. наилучшая проходимость приравнивается единице, наихудшая десяти. Это делается для того чтобы сумма ребер движения по маршруту стремилась к минимуму. Задаются начальная и конечная точки маршрута, при этом рассматривается девять вариантов положения начальной точки: в правом верхнем углу карты, в левом верхнем, правом нижнем, левом нижнем; на правой, левой, верхней и нижней границ карты и в центре карты.

Для нахождения минимального пути в нагруженном орграфе D из v_1 в v_i ($i_1 \neq 1$) используется алгоритм Форда-Беллмана:

Шаг 1. Пусть мы уже составили таблицу величин $\lambda_i^{(k)}$, $i=1,2, \dots, n$, $k=0, 1, \dots, n-1$. Если $\lambda_{i_1}^{(n-1)} = \infty$, то вершина v_{i_1} не достижима из v_1 (предполагаем, что все величины $l(x)$, $x \in X$, конечны). В этом случае работа алгоритма заканчивается.

Шаг 2. Пусть: $\lambda_{i_1}^{(n-1)} < \infty$ (6)

Тогда число $\lambda_{i_1}^{(n-1)}$ выражает длину любого минимального пути из v_1 в v_{i_1} в нагруженном орграфе D . Определим минимальное число $k_1 \geq 1$ при котором выполняется равенство:

$$\lambda_{i_1}^{(k_1)}(k) = \lambda_{i_1}^{(n-1)} \quad (7)$$

По определению чисел $\lambda_i^{(k)}$ получаем, что k_1 — минимальное число дуг в пути среди всех минимальных путей из v_1 в v_{i_1} в нагруженном орграфе D .

Шаг 3. Последовательно определяем номера i_2, \dots, i_{k_1+1} такие, что

$$\lambda_{i_2}^{(k-1)} + c_{i_2, i_1} = \lambda_{i_1}^{(k_1)} \quad (8)$$

$$\lambda_{i_3}^{(k-2)} + c_{i_3, i_2} = \lambda_{i_2}^{(k_1)} \quad (9)$$

$$\lambda_{k1+1}^{(0)} + c_{i_{k1+1}, i_{k1}} = \lambda_{k1}^{(1)} \quad (10)$$

Эти номера найдутся в силу (4.15); докажите что $i_2 \neq 1, \dots, i_{k1} \neq 1$

С учетом того, что $\lambda_i^{(k)} = \lambda_{i1}^{(n-1)} < \infty$, имеем

$$c_{i_2, i_1} < \infty, \dots, c_{i_{k1+1}, i_{k1}} < \infty, \lambda_{k1+1}^{(0)} + 1(0) < \infty \quad (11)$$

откуда, получаем:

$$(v_{i_1}, v_{i_2}), \dots, (v_{i_{k1+1}}, v_{i_{k1}}) \in X, l(v_{i_2}, v_{i_1}) = c_{i_2, i_1}, \dots, l(v_{i_{k1+1}}, v_{i_{k1}}) = \quad (12)$$

$$c_{k1+1, i_{k1}}; \lambda_{k1+1}^{(0)} = 0, i_{k1+1} = 1, v_{i_{k1+1}} = v_1$$

Учитывая это, имеем:

$$L(v_1, v_{i_{k1}} \dots v_{i_2} v_{i_1}) = \lambda_{i_1}^{(k1)} \quad (13)$$

т. е. $v_1, v_{i_{k1}} \dots v_{i_2} v_{i_1}$ — искомый минимальный путь из v_1 в v_{i_1} нагруженном орграфе D . Заметим, что в этом пути ровно $k1$ дуг. Следовательно, мы определили путь с минимальным числом дуг среди всех минимальных путей из v_1 в v_{i_1} нагруженном орграфе D .

Геоинформационные и автоматизированные системы принятия решений есть большой шаг в развитии в сфере информационного обеспечения ВС РФ. Создание и использование синтетических карт оценки местности может стать неотъемлемой частью процесса оценки обстановки, однако для их создания необходимо провести большой комплекс по созданию баз данных, налаживанию процессов обработки и анализа данных, в них содержащихся, изменению системы защиты хранения и передачи информации, обучению личного состава. Всё это требует реформирование системы ТС ВС РФ в целом. Реформирование системы обороны страны и топогеодезического обеспечения в частности требует определения конкретно видимой перспективы в области развития геоинформационных систем военного назначения. В настоящий момент необходимо планировать геоинформационное обеспечение войск на шаг вперед относительно создания современных систем вооружения, чтобы к моменту реализации технологии, она не была уже заведомо отстающей.

В ходе выполнения исследования были получены следующие результаты:

1. Сформулированы принципы оценки местности с использованием геоинформационных систем. Основными, из которых являются: системность; единство геоинформационного обеспечения; комплексность; взаимосвязь; приоритетность факторов, участвующих в оценке; однородность; наглядность; единство оценки; сомасштабность.

2. Разработана структурно-логическая схема методики выбора маршрутов для прокладки колонных путей в среде ГИС, включающая в себя 12 блоков, реализующих как процедуру оценки проходимости местности, так и процедуру автоматизированного выбора маршрутов для прокладки колонных путей с учетом пригодности территории.

3. Сформирована концептуальная информационная модель оценки проходимости местности вне дорог и обосновано ее информационное обеспечение.

4. Выполнена апробация разработанной методики на территории расположенной на северо-востоке Ленинградской области. Результаты апробации доказали ее работоспособность и возможность реализации с использованием геоинформационной системы военного назначения «Интеграция».

5. Разработанные научно-методические основы могут быть использованы для решения широкого круга военно-прикладных задач с использованием геоинформационных систем военного назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арефьев Н.В. Основы формирования природно-аграрных систем. Теория и практика / Н.В. Арефьев, В.П. Бреусов, Г.К. Осипов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 533 с.

2. Балин Б. М., Иванов В. И., Сеницкий С. В. Применение многофакторного дисперсионного анализа при обосновании содержания специальных (тематических) карт // Геодезия и картография. – № 10. – 1988. – С. 30–36.

3. Карманов Д.В., Осипов А.Г. Метод автоматизированного формирования системы пространственно-распределенных трасс линейно-протяженных объектов на неосвоенных или малоосвоенных территориях с использованием геоинформационных технологий // Информация и космос № 4 – 2013 – С. 96-100.

4. Осипов А.Г. Многокритериальная оценка земельных ресурсов на основе квалиметрического анализа // Региональная экология № 1-2 – СПб.: 2003 – С. 31-39.

© Н. Н. Бардачевский, А. Н. Ефимов, Г. М. Мамедов, 2015

СОЕДИНЕНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ НА КОРПУСЕ СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

Анатолий Васильевич Гуськов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, профессор кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: conf_npo@craft.nstu.ru

Константин Евгеньевич Милевский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, профессор кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65

Мария Сергеевна Хребтова

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, студентка кафедры газодинамических импульсных устройств

Рассмотрены процессы, протекающие во время соединения кольцевой заготовки на корпусе сваркой взрывом и выведены зависимости для оценки вида плоскости соединения и температур в материалах, прилегающих к плоскости соединения.

Ключевые слова: сварка взрывом, метаемые устройства, ведущие узлы, сварное соединение.

THE INSTALLATION OF ANNULAR WORKPIECE ON MISSILE DEVICE WITH EXPLOSION WELDING

Anatoly V. Guskov

Novosibirsk Siberian technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks avenue, 20, Candidate of science, Prof. of Department Hydrodynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: conf_npo@craft.nstu.ru

Konstantin E. Milevsky

Novosibirsk Siberian technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks avenue, 20, Candidate of science, Prof. of Department Hydrodynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: conf_npo@craft.nstu.ru

Maria S. Hrebtova

Novosibirsk Siberian technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks avenue, 20, student of Department Hydrodynamic impulse devices

The reviewing of explosion welding and it's special processes during installation of annular workpiece on missile device. Received dependences can be used for estimation of welding and welded surface's features.

Key words: explosion welding, missile devices, annular workpieces, welded surfaces.

Одним из важных элементов метаемого устройства, обеспечивающих дальность и правильность полета, является ведущий узел. Способ установки ве-

дущего узла сваркой взрывом обеспечивает прочное соединение пары «медь – сталь», обладающее рядом специфических характеристик.

Процесс установки ведущего узла на корпус метаемого устройства сваркой взрывом заключается в следующем (рис. 1). На заранее подготовленном корпусе под углом $\alpha = 3 - 10^\circ$ фиксируется медная кольцевая заготовка, которую разгоняют взрывчатым веществом (далее - ВВ). При высокоскоростном соударении кольцевой заготовки и корпуса происходит деформация их приповерхностных слоёв, ведущая к образованию соединения.

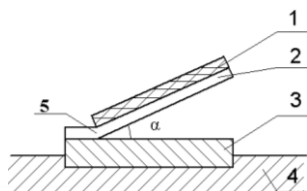


Рис. 1. Сварка взрывом

1 – заряд ВВ; 2 – медный узел; 3 – корпус метаемого устройства;
4 – неподвижное основание; 5 – точка изгиба узла

Соединение формируется в две стадии. [1, 2] На первой, в момент образования контакта происходит сближение атомов соединяемых материалов, а также их незначительное химическое взаимодействие. Вторая стадия заключается в возникновении контактных поверхностей с образованием активных центров, в результате чего обеспечивается сцепление металлов. Решающую роль играет пластическая деформация приповерхностных слоёв металлов в зоне шва, которая распределена по толщине свариваемых заготовок и достигает максимума вблизи плоскости соединения [3]. Ударно-волновая нагрузка обеспечивает волнообразный профиль соединения, что увеличивает поверхность контакта. Высокая скорость сварки объясняет отсутствие диффузии материалов. Эта особенность позволяет получать соединения металлов, которые при других способах скрепления оставались бы непригодными к использованию. Для осуществления качественного соединения важным условием являются хорошо зачищенные свариваемые поверхности.

Выведено несколько теорий, объясняющих волнообразный характер сварного соединения. [4]

Например, модель Абрахамсона, базирующаяся на примере взаимодействия метаемой под углом к поверхности водной струи и мягкой пасты в качестве основания. Также известна теория Ханта, основанная на предположении Абрахамсона о взаимодействии водной струи с преградой и её разделении на прямую и обратную. Известна теория Кована и Хольцмана, предлагающая зависимость амплитуды волны от характерного линейного размера для профиля горизонтальной скорости свободных плоских струй (d), а также теория поверхностного натяжения, связывающая поведение металлического материала при сварке взрывом с поведением жидкости.

Несмотря на большое количество физических и математических моделей волнообразования и на различные подходы авторов к трактовке полученных экспериментальных результатов, механизм этого явления до конца не изучен. Единой общепризнанной теории волнообразования не создано.

Для проведения эксперимента авторами данной статьи была выбрана пара «сталь – медь» (рис. 2 а). Как видно из рисунка, соединение имеет чётко выраженный волнообразный характер. Можно предположить, что данный вид обусловлен тем, что сам процесс метания происходит сегментарно (рис. 2 б).

Рассмотрим движение отдельного элемента (рис. 2 б). Под действием ударной волны ВВ, он падает на основание 2 и происходит абсолютно неупругий удар с выделением большого количества энергии, которая идёт на нагревание сталкивающихся поверхностей. Так как нагрев происходит до высоких температур, приповерхностные слои материала переходят в жидкое состояние, образуя волнообразное соединение.

Допустим, минимальная масса двумерного метаемого сегмента определяется по следующей формуле:

$$dm = \rho \cdot dl \cdot h ,$$

где ρ - плотность материала, dl - длина сегмента, h - толщина метаемой пластины.

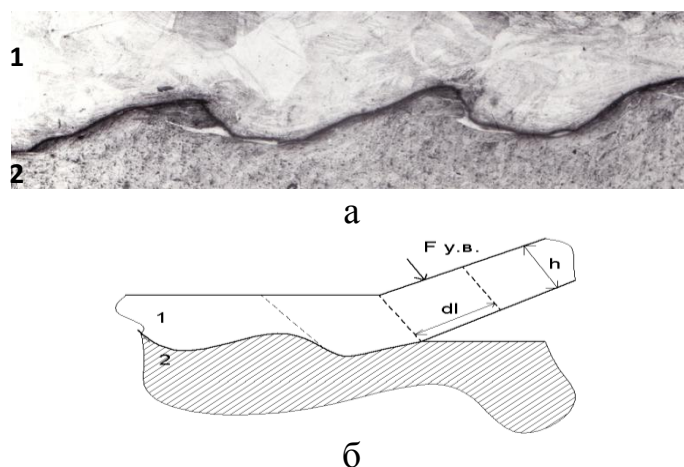


Рис. 2. Соединение при сварке взрывом

а – фотография при увеличении в 50 раз; б – схема ступенчатого процесса;
1 – медь; 2 – сталь

Получим выражения для расчета длины сегмента dl . Используя теорему Карно, выразим энергию, которая теряется при абсолютно неупругом соударении двух тел. Из закона сохранения энергии:

$$Q = \Delta E + A ,$$

считая, что работа, совершённая системой $A = 0$, а изменение кинетической энергии выражается как

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{(dm + M)u_{\text{общ}}^2}{2} - \frac{dm \cdot u^2}{2} = \frac{M \cdot dm \cdot u^2}{M + dm} \cdot \frac{1}{2},$$

где u – скорость метания пластины, M – масса основания, $u_{\text{общ}}$ – скорость тел после соударения.

Используя полученные выше соотношения, получаем:

$$dm = \frac{2QM}{Mu^2 - 2Q},$$

$$dl = \frac{dm}{\rho \cdot h} = \frac{2QM}{\rho \cdot h \cdot (Mu^2 - 2Q)}$$

Данные зависимости устанавливают связь между параметрами минимального метаемого сегмента и характеристиками свариваемых материалов и выделяющейся в ходе соударения энергии Q . На основе полученных формул можно прогнозировать, как будет выглядеть сварное соединение, а также, зная распределение температур, определять, какую структуру имеют материалы, прилегающие к соединению.

Используя экспериментальные данные, проверим выведенные формулы. Если считать, что скорость метания пластины $u=1500$ м/с, масса сегмента толщиной $a = 1$ см $dm = \rho \cdot dl \cdot h \cdot a = 8,92 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 0,144 \text{см} \cdot 0,3 \text{см} \cdot 1 \text{см} = 0,3853 \text{г}$, погонную массу соответствующего участка основания $M = \rho \cdot dl \cdot h \cdot a = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot 0,144 \text{см} \cdot 1,9 \text{см} \cdot 1 \text{см} = 2,1341 \frac{\text{г}}{\text{см}}$ то энергия, выделившаяся при соударении:

$$Q = \frac{M \cdot dm}{M + dm} \cdot \frac{u^2}{2} \approx 367,207 \text{кДж}$$

Полученная энергия распределяется между метаемой кольцевой заготовкой и основанием, вызывая нагрев прилегающих к поверхности областей. Рассмотрим задачу о теплопроводности заготовки и основания, чтобы определить, какие температуры можно получить в области контакта. Количество переданного тепла теплопроводностью через плоскую стенку можно рассчитать по уравнению

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{\text{cm1}} - t_{\text{cm2}}) \cdot F \cdot \tau,$$

где λ - коэффициент теплопроводности материала стенки, δ - толщина стенки, $t_{\text{cm1}} - t_{\text{cm2}}$ - разность температур поверхностей стенки, F – площадь поверхности стенки, τ - время. На рисунке 3 показана схема для решения задачи о теплопроводности стенки. Температура на внешних границах пластин считалась равной 25°C , коэффициенты теплопроводности меди и стали брались как $\lambda_{\text{меди}} = 380 \text{Вт/м}^*\text{К}$, $\lambda_{\text{стали}} = 47 \text{Вт/м}^*\text{К}$, площадь поверхности соприкосновения сегментов равна $0,144 \text{см}^2$.

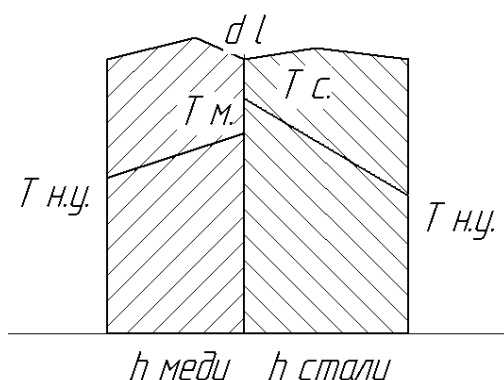


Рис. 3. Схема поверхности контакта

Для нашего случая: T меди = 2107 К, T стали = 11 750К. Данные значения получены для начального периода времени, без учёта оттока тепла вглубь материала.

В реальном процессе энергия распределяется между поверхностями меди и стали в зависимости от их теплопроводности и формы поверхности соприкосновения, однако приведенная выше оценка результата не противоречит действительности и подтверждает, что выведенные формулы можно использовать для прогнозирования вида сварного соединения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Локтюшин В.А., Арисова В.Н. Некоторые физические процессы, протекающие при сварке взрывом двух металлических пластин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2007 год, выпуск №5, С 37-39.
2. Гуськов А. В. Исследование влияния способа обработки на механические характеристики и микроструктуру материала марки М1 / А. В. Гуськов, Н. О. Драньков, К. Е. Милевский // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. - 2012. – № 4(57). – С. 56–62.
3. Букатников П.А., Гуськов А.В., Милевский К.Е., Оголихин В.М. Механизм упрочнения области контакта при сварке взрывом. – Наука. Промышленность. Оборона. Труды XV всероссийской научно-технической конференции, г. Новосибирск, 23-25 апреля 2014 г. – С. 117-120.
4. Дерибас А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1981 г.
5. Годунов, С. К. О влиянии вязкости материала на процесс образования струй при соударении металлических пластин / С. К. Годунов, А. А. Дерибас, В. И. Мали // Физика горения и взрыва. – 1975. – Т. 11. – № 1. – С. 3 – 18.
6. Структура и механические свойства многослойных материалов, сформированных по технологии сварки взрывом тонколистовых заготовок / А. А. Батаев, И. А. Батаев, В. И. Мали, А. Б. Карпов, М. А. Есиков, Н. А. Морева, Е. А. Приходько // Сборник тезисов докладов Международной конференции «XIII Харитоновские тематические научные чтения», Саров, РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2011. – С. 320-323.

© А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, М. С. Хребтова, 2015

ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПРОЦЕССЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РАЗГОНА ТИПОВОГО ВЕДУЩЕГО ПОЯСКА ПО КАНАЛУ АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ УСТАНОВКИ

Анатолий Васильевич Гуськов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Константин Евгеньевич Милевский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Надежда Федоровна Чайка

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры наносистем и оптотехники, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Ярослав Сергеевич Зезюлинский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, студент группы МБ-11 факультета летательных аппаратов, тел. (383)225-24-64, e-mail: stroncyi@yandex.ru

Выполнено экспериментальное исследование процесса высокоскоростного разгона в паре «артиллерийская установка – ведущий поясок», проведено математическое моделирование распределения температурных полей в материале ведущего пояса.

Ключевые слова: артиллерийская установка, высокоскоростной разгон, ведущий поясок, трение, теплоперенос.

HEAT TRANSFER IN HIGH-SPEED MODEL LEADING BELT FOR CHANNEL GUN MOUNT

Anatoly V. Guskov

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks st., Ph. D. associate professor of department of gas-dynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Konstantin E. Milevskyi

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks st., Ph. D. associate professor of department of gas-dynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Nadegda F. Chayka

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630018, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo Str. 10, Ph. D., associate professor of nanosystems and optical engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

An experimental study of the process of high-speed acceleration in a pair of «gun mount – leading belt», the mathematical modeling of the distribution of temperature fields in the material leading belt.

Key words: Gun mount, high acceleration, leading belt, friction, heat transfer.

Трение в канале артиллерийской установки (АУ) при скоростях скольжения снаряда (С) 500 – 700 м/с представляет собой недостаточно изученный вариант. Отличительной особенностью работы системы «канал АУ – С» является интенсивная пластическая деформация в процессе формирования ведущего пояса (ВП), который обеспечивает герметизацию при высокоскоростном движении С по профильной поверхности АУ [1]. Основная проблема связана с повышением работоспособности ВП при значительном увеличении параметров взаимодействия АУ с С. Известно [2, 3, 4, 5, 6], что при движении снаряда по каналу артиллерийской установки контактные температуры на поверхности ВП достигают значительных величин, что приводит к плавлению приповерхностных слоев материала ведущего пояса. В общем случае ВП представляет собой кольцо из меди М1, закрепленное механическим способом (запрессовка, сварка) на снаряде (рис. 1).

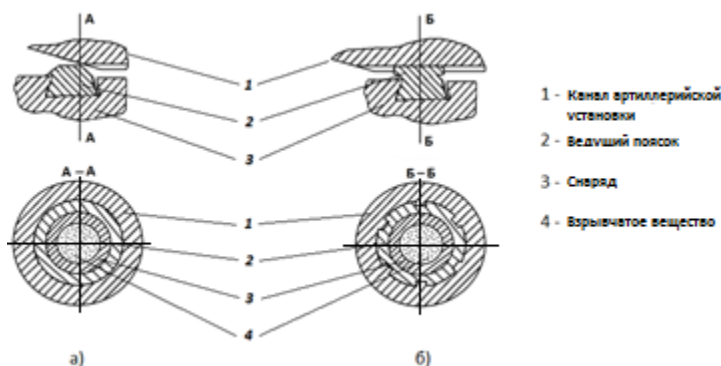


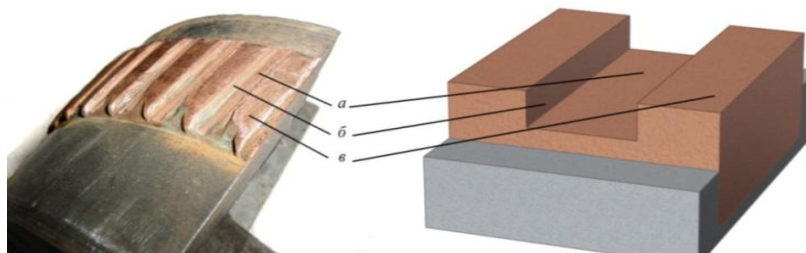
Рис. 1. Схема расположения снаряда с ведущим пояском в канале артиллерийской установки: а) исходное состояние; б) при движении снаряда по каналу артиллерийской установки

Закономерности изменения температуры в области контакта ВП по поверхности АУ можно установить с помощью математической модели теории температуры вспышки [7]:

$$T_{\max} = 2fp\left(\frac{BV}{\pi k \rho c}\right)^{1/2} \quad (1)$$

P – среднее контактное давление; k – теплопроводность; ρ – плотность; c – удельная теплоемкость; V – скорость скольжения ведущего пояса по каналу

артиллерийской установки согласно [2]; B – характерный размер источника в направлении скольжения $B = 19 \cdot 10^{-3}$ м; f – коэффициент трения [4]. Выделено три участка поверхности контакта ВП (рис. 2): R_1 – сформирован полем нареза, R_2 – гранью нареза, R_3 – дном нареза.



Участки поверхности контакта с каналом АУ, сформированные: а) полем нареза (R_1); б) гранью нареза (R_2); в) дном нареза (R_3)

Рис. 2. Фотография и модель С после высокоскоростного разгона

Для решения задачи теплопроводности [8, 9] выбрана область, представленная на рис. 3. Начало координат располагалось на пересечении оси симметрии выступа и поверхности сопряжения ВП с корпусом снаряда.

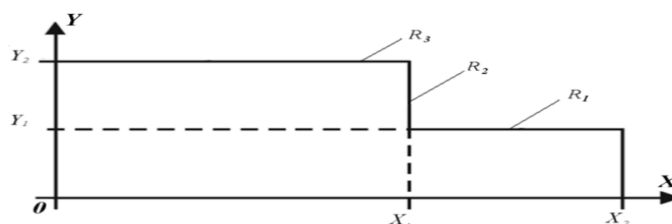


Рис. 3. Область решения рассматриваемой задачи

Решена двумерная задача теплопроводности [7, 8]: $\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$,

где ρ – плотность материала ведущего пояска, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала ВП, Вт/(м·К); C_p – удельная теплоемкость, соответственно, материала ВП Дж/(кг·К); t – время, с;
 Плотность материала М1: $\rho = 8920$ кг/м³; удельная теплопроводность: $\lambda = 387$ Вт/(м·град), удельная теплоемкость: $C_p = 390$ Дж/(кг·К).

Начальные ($t = 0$) и граничные условия:

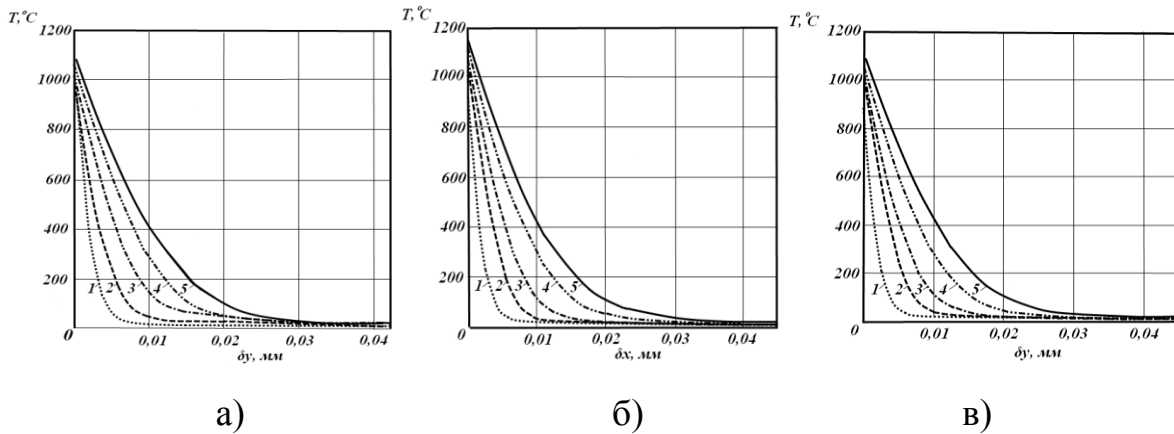
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0, \text{ при } \begin{cases} X = 0, 0 \leq Y \leq Y_2 & T = T_{R_1}(t) \text{ при } Y = Y_1, X_1 \leq X \leq X_2 \\ X = X_2, 0 \leq Y \leq Y_1 & T = T_{R_2}(t) \text{ при } X = X_1, Y_1 \leq Y \leq Y_2 \end{cases}$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = 0, \text{ при } Y = 0, 0 \leq X \leq X_2 \quad T = T_{R_3}(t) \text{ при } Y = Y_2, 0 \leq X \leq X_1$$

где: Y_1 – толщина медного ведущего пояска под полем нареза канала АУ; Y_2 – толщина медного ВП под дном нареза бокового нареза снаряда; X_2 –

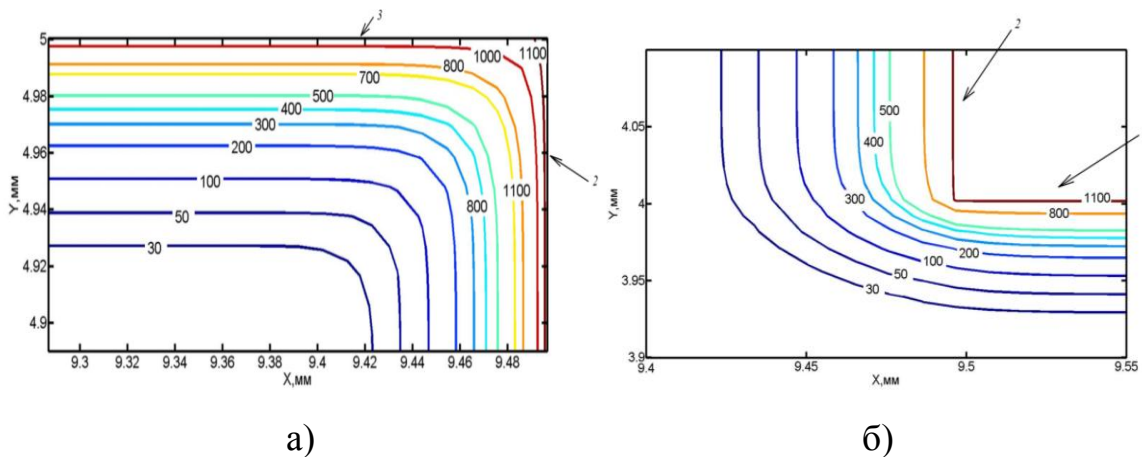
канала РУ; X_1 – половина ширины
расстояние от середины выступа С до
 X_2 , Y_1) – граница участка,
 $R_2 (X_1, Y_2; X_1, Y_1)$ - граница участка,
нареза, $R_3 (0, Y_2; X_1, Y_2)$ – граница
нареза. Результаты численного решения

середины впадины; $R_1(X_1, Y_1;$
сформированная полем нареза,
сформированная боковой гранью
участка, сформированная дном
приведены на рис. 4.



1) $t = 0,0023$ с; 2) $t = 0,0057$ с; 3) $t = 0,0114$ с; 4) $t = 0,029$ с; 5) $t = 0,04$ с

Рис. 4. Профили температур по толщине δ_y приповерхностного слоя материала ведущего пояска снаряда под границей участка: а) R_1 ; б) R_2 ; в) R_3



а) участков R_3 и R_2 ; б) участков R_1 и R_2 ; где 1, 2, 3 – границы участков R_1, R_2, R_3

Рис. 5. Распределение температуры в момент времени $t = 0,04$ с в приповерхностном слое ведущего пояска

На основании анализа полученных результатов прогретый слой металла можно условно разделить на три подслоя (в зависимости от температуры):

а) $T \geq T_{п}$, толщина 10 – 15 мкм;

б) $T \geq T_p$ (температура рекристаллизации), толщина 25 – 40 мкм (от 200°C до 1060°C);

в) $T < T_p$ (до 200°C), толщина 15 – 45 мкм.

Таким образом можно сделать следующие выводы: Во время высокоскоростного разгона С под действием фрикционного контакта «канал АУ – ВП – С» происходит интенсивный нагрев приповерхностного деформированного ($\epsilon \geq 40\%$) слоя медного ведущего пояска. В результате интенсивного нагрева материал приповерхностного слоя рекристаллизуется и частично переходит в расплавленное состояние, что приводит к увеличению относительного удлинения ($\delta = 50 - 60\%$) и снижению предела прочности с $\sigma_b \approx 450$ МПа до 80 МПа, в результате чего происходит перенос тонких приповерхностных слоев меди на поверхность канала артиллерийской установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуськов, А. В. Анализ существующих конструкций ведущего пояска снарядов / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева // Вестник академии военных наук. – 2012. – № 2 (39) – С. 152 – 158.
2. Балакин, В. А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения / В. А. Балакин. – Москва : Машиностроение, 1980. – 136 с.
3. Montgomery, R. S. Surface Melting of Rotating Bands / R. S. Montgomery // Wear. – 1976. – Vol. 38. – pp 235 – 243.
4. Эттлс, С. М. Влияние тепловых эффектов на трение при высоких скоростях скольжения / С. М. Эттлс // Проблемы трения. – 1986. – № 1. – С. 71 – 78.
5. Гуськов, А. В. Исследование процесса движения ведущего пояска артиллерийского снаряда в тепловой машине / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Е. Ю. Слесарева // Известия вузов. Физика – 2013. – Т. 56, № 6/3. – С. 14 – 16.
6. Гуськов А.В. Распределение температуры в материале ведущего пояска при функционировании / Н.Н. Горелова, А.В. Гуськов, К.Е. Милевский, А.О. Сильченко // Труды XIV всероссийской научно-технической конференции «Наука Промышленность Оборона». – 2013. – С. 123 – 127.
7. Blok, H. Theoretical study of temperature rise at surfaces of actual contact under oiliness lubricating conditions / H. Blok // Proc. Inst. Mech. Eng. – 1937. – № 2. – pp 222 – 235.
8. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. / Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
9. Юдаев, Б. Н. Теплопередача / Б. Н. Юдаев. – Москва : Высшая школа, 1973 г. – 359 с.

© А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский, 2015

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ НА МИКРОСКОПАХ ИМЦЛ

Михаил Сергеевич Комбаров

ОАО «Швабе – Оборона и Защита», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 179/2, начальник управления программ развития, тел. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Михаил Евгеньевич Титаренко

ОАО «Швабе – Оборона и Защита», 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 179/2, заместитель главного метролога, тел. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

В статье рассказывается о практике применения разработанного предприятием программного обеспечения для обработки результатов измерений на микроскопах ИМЦЛ.

Ключевые слова: программное обеспечение, микроскоп.

THE PRACTICE OF APPLICATION SOFTWARE FOR PROCESSING THE RESULTS OF MEASUREMENTS ON MICROSCOPES IMCL

Mikhail S. Kombarov

JSC «Schwabe – defense», 630049, Novosibirsk, St. D. Kovalchuk at 179/2, head of management development programmes, tel. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Mikhail E. Titarenko

JSC «Schwabe – defense», 630049, Novosibirsk, St. D. Kovalchuk at 179/2, Deputy chief metrologist, tel. (965)829-49-83, e-mail: npz36@ngs.ru

Maxim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor, associate Professor of the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

The article describes the practice of application of the developed enterprise Pro-software for processing the results of measurements on microscopes IMCL.

Key words: software, microscope.

Обеспечение выпуска современной конкурентоспособной продукции в современных условиях невозможно без всестороннего контроля качества на всех этапах производства. Решение этой задачи невозможно без повышения точности измерений [1]. При этом необходимо оптимизировать затраты на метрологическую составляющую обеспечения качества. Это невозможно без применения современного высокоточного и производительного оборудования. Нельзя

не отметить, что эффективность и производительность это, что отличает производственный контроль от метрологии в чистом виде. Современные средства измерения, применяемые в производстве, должны обеспечивать не только высокую точность, но их высокую производительность, а в сочетании со стоимостью иметь высокую экономическую эффективность. И если речь идет об оснащении метрологических служб предприятия, то можно говорить о том, что средство измерения должно иметь максимально высокую точность, быть эргономичным и иметь, по возможности, минимальную цену, то в производственном контроле на первое место выступает экономическая эффективность. Особенно остро вопрос производительности при выполнении контрольных операций и экономической эффективности применения контрольных средств встает в производственном контроле непосредственно в производственных подразделениях [2, 3].

Одним из путей повышения производительности труда при проведении контрольных операций является применение современных программно-аппаратных средств – это могут быть как полностью автоматизированные системы, так и системы с автоматизацией отдельных процессов – обработки результатов измерения, наведения на край или других.

Рассмотрим возможности современных программно-аппаратных средств автоматизации процесса измерений на примере линейно-угловых измерений.

И так стоит задача производственного контроля плоской детали типа «кулачок».

Необходимо провести контроль параметров угловых пазов, их взаимное расположение, межцентровые расстояния отверстий, смещение центра кривизны наружного радиуса 26 относительно центра радиуса 17. Контроль производится для небольших партий 25-50шт. в месяц.

Контроль до настоящего времени проводился на микроскопе типа ИМЦЛ150х50,Б с последующее обработкой результатов измерения в ручном режиме.

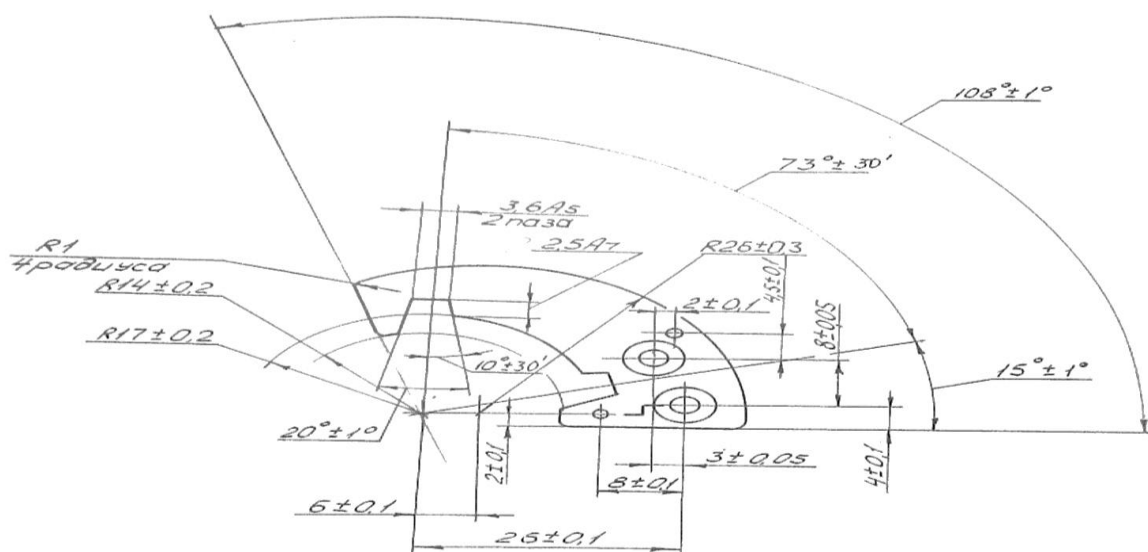


Рис. 1

Процесс контроля состоит из определения положения 30 точек, 12 из которых, 4 группы из трех точек, должны иметь определенное взаимное расположение, в противном случае резко возрастает погрешность измерения диаметров и положения центра отверстия. Последующая обработка проводится вручную. Время обработки составляет 1,2 нормо-часа.

Для сравнения был проведен контроль на сканирующем микроскопе Tesa Visio время предварительного сканирования, выбора элементов для контроля и параметров, измерение и формирование протокола с его распечаткой составило – 12 минут, причем чистое время измерения и печати протокола составило 4 минуты.

Стоимость сканирующего микроскопа TESA Visio составляет 65000 евро, что по сегодняшнему курсу примерно 4,5 млн.руб.

В 2013г. на АО «Швабе – Оборона и Защита» была проведена модернизация микроскопов ИМЦЛ используемых службой ОТК. В ходе модернизации были замены блоки цифровой индикации на блоки УЦО-209С с цифровым выходом и установлены персональные компьютеры с программным обеспечением для обработки результатов измерения [4]. Стоимость модернизации одного рабочего места составила, в ценах 2015 г, 65 тыс. руб.

Что же дала модернизация? Блок УЦО производит автоматический захват координат текущей измерительной точки и их передачу в ПК, программное обеспечение производит накопление данных о координатах измерительных точек и расчет параметров отдельных элементов (отрезков, прямых, окружностей) принадлежащих контролируемому объекту, расчет дополнительных параметров элементов контролируемого объекта (центров кривизны дуг, отверстий, точек пересечения, середины отрезков, биссектрис углов), редактирование элементов (удлинение, обрезка) [5, 7].

Первичный массив точек, полученный при «захвате» отдельных элементов детали, показан на рис. 2, для наглядности отдельные точки уже объединены по объектам. Обратите внимание, что на дугах взяты не три точки, как при классическом методе, а больше, при этом программа, рассчитывая параметры дуги по трем точкам, делает усреднение параметров и тем повышает точность измерения.

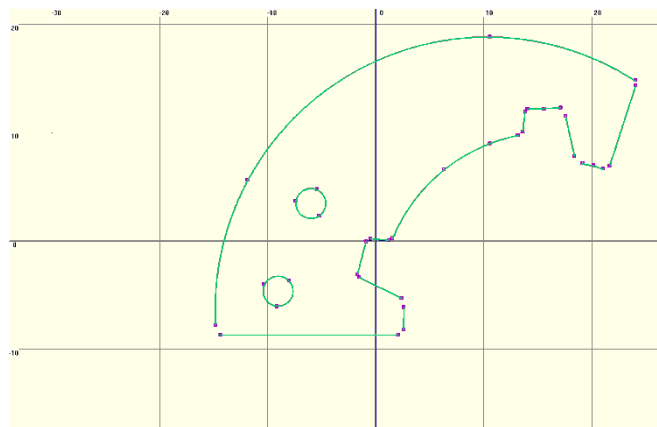


Рис. 2

На рис. 3, показан восстановленный контур детали, предназначенный для формирования измерительного протокола, полностью выполнен расчет геометрических параметров по действительным размерам.

На рис. 4, показан вид рабочего экрана с дополнительными объектами построения – продленной нижней гранью детали и биссектрисой угла одного из пазов, а также «расчетными» углами. В результате получен протокол измерения, представленный в табл.

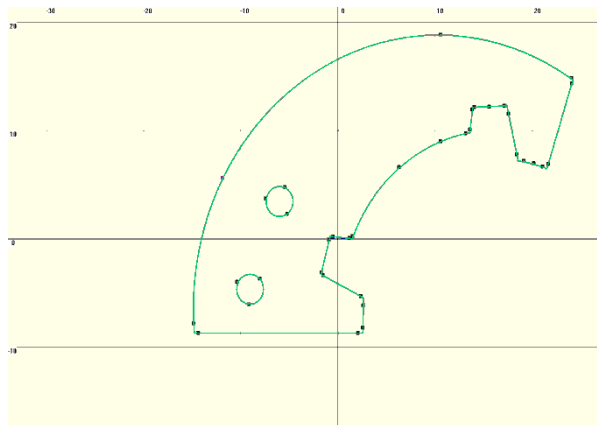


Рис. 3

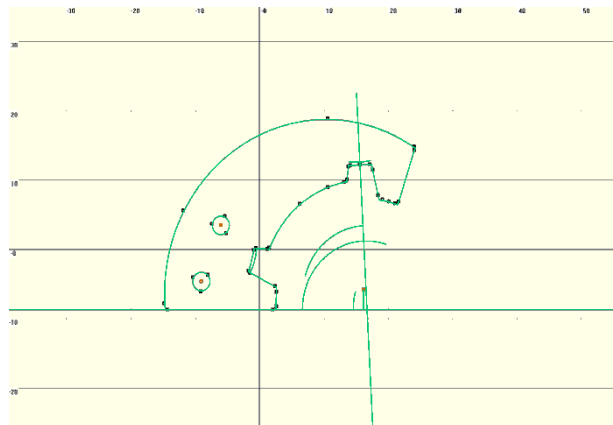


Рис. 4

Таблица

№	Чертежные размеры	Действительные размеры	Разность размеров
1	R26.0000	R25.2660	R-0.7340
2	D3.0000	D2.8452	D-0.1548
3	D3.0000	D2.8523	D-0.1477
4	A20°	A 21°34'50"	A-1°34'50"
5	A 20°	A 19°31'55"	A-0°28'05"
6	R17.0000	R15/8489	R-1.1511
7	A 108°	A 108°03'48"	A-0°03'48"
8	A 73°	A 71°26'58"	A-1°33'02"
9	A 15°	A 15°33'01"	A 0°33'01"

Полный обмер с обработкой результатов измерений занял 35 минут. Таким образом, применение программного обеспечения позволило сэкономить 37 минут рабочего времени инженера-метролога, т.е. сократить время контроля параметров детали почти в 2 раза. Следует отметить, что применение более совершенного микроскопа фирмы TESA сокращает время контроля еще значительно – в 18 раз, однако при этом требуется покупка нового прибора, что в реалиях российских предприятий крайне маловероятно, а вот модернизация уже имеющегося измерительного микроскопа вполне возможна.

Немаловажным фактором применения программного обеспечения является еще и возможность компенсации систематической ошибки микроскопа – по эталонной шкале проводится калибровка микроскопа и последующая компенсация.

сация измерительных ошибок, что значительно повышает точность измерения. Серьезным преимуществом применения программного обеспечения является архивация не только измерительных протоколов с результатами измерения, но исходной информации с расположением измерительных точек, что дает возможность без дополнительного обмера на микроскопе получение дополнительной измерительной информации по тем размерам объекта, которые ранее не обрабатывались, при условии, что геометрия этих объектов была ранее снята [6].

Таким образом, практика применения программного обеспечения для измерительных микроскопов показывает что его использование позволяет значительно сократить затраты времени на проведение измерений, повысить их точность, а также оптимизировать затраты на приобретение новых средств измерения за счет модернизации уже имеющихся.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комбаров М. С., Кузнецов М. М. Перспективы развития производства российских измерительных микроскопов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5; URL: www.science-education.ru/119-15200 (дата обращения: 03.01.2015).
2. Кузнецов М. М., Комбаров М. С. О технологии на ФГУП ПО НПЗ // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 1. – С. 193–196.
3. Кузнецов М. М., Комбаров М. С. Применение программного обеспечения для измерительных микроскопов в производстве // Сб. научных трудов аспирантов и молодых ученых СГГА, 2009 г., г. Новосибирск, вып. 6. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 25–28.
4. Кузнецов М. М., Марач А. А., Комбаров М. С. Программа utso209c для УЦО серии 209 // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск: СГГА, 2008. Т. 4. – С. 60–63.
5. Кузнецов М. М., Комбаров М. С. Система технического зрения // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 1. – С. 166–167.
6. Кузнецов М. М., Соснова Н. К., Марач А. А. Оптика современных микроскопов // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 5, ч. 1. – С. 112–115.
7. Кузнецов М. М., Соснов А. Н., Соснова Н. К. Система автоматизированной обработки результатов измерений для инструментального микроскопа // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 5, ч. 1. – С. 132–135.

© М. С. Комбаров, М. Е. Титаренко, М. М. Кузнецов, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ СУММАРНОЙ ДИАГРАММЫ АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ НЕКОНТАКТНОГО ДАТЧИКА ЦЕЛИ

Виталий Сергеевич Кулик

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 2-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

Валерий Борисович Ромодин

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

В статье исследована зависимость суммарного коэффициента усиления антенной системы неконтактного датчика от расстояния до цели. Выполнено экспериментальное подтверждение расчётных характеристик.

Ключевые слова: антенная система, диаграмма направленности, суммарный коэффициент усиления.

STUDY OF SUMMARY DIRECTIVITY PATTERN OF ANTENNA SYSTEM OF NONCONTACT TARGET SENSOR

Vitaly S. Kulik

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

Valery B. Romodin

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, laboratory chief, tel. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

In this paper has been investigated the dependence of the total gain of the antenna system of non-contact sensor from the distance to the target. Calculated characteristics have been confirmed experimentally.

Key words: antenna system, directivity pattern, total gain.

При проектировании антенной системы неконтактного датчика цели обычно предъявляются достаточно противоречивые требования. Датчик должен обеспечивать работу по большому парку целей с эффективной отражающей поверхностью от одной сотой до десятков квадратных метров. При этом дальность до цели может изменяться практически от нуля до 30...40 м. Для обеспечения работы на малых дальностях импульс передатчика излучается при открытом приемнике. Необходимый уровень развязки определяется потенциалом датчика, который должен быть достаточно большим для уверенной работы датчика по целям с малой ЭПР на больших дальностях. Соответственно, передающая и приемная антенны должны быть достаточно далеко разнесены друг от друга для обеспечения требуемой развязки приемника от сигнала пролаза. С другой стороны, при этом появляется «мертвая зона», которая может привес-

ти к отказу при малых промахах. В данной статье исследована одна конкретная суммарная диаграмма неконтактного датчика. Задачей исследования является выявление зависимости суммарного коэффициента усиления (КУ) антенной системы от расстояния до цели.

Антенная система неконтактного датчика цели состоит из двух антенн А (передающая) и В (приемная) с воронкообразными диаграммами направленности. Антенны разнесены друг от друга на расстояние 825 мм, при этом достигается уровень развязки между входами антенн 100...110 дБ. Угол наклона главного максимума диаграмм направленности антенн А и В равняется 74° и 67° , ширина главного максимума по уровню -3 дБ составляет 25° и 8° соответственно. На рисунке (Рис. 1) схематично изображены лучи главных максимумов диаграмм направленности заданной ширины.

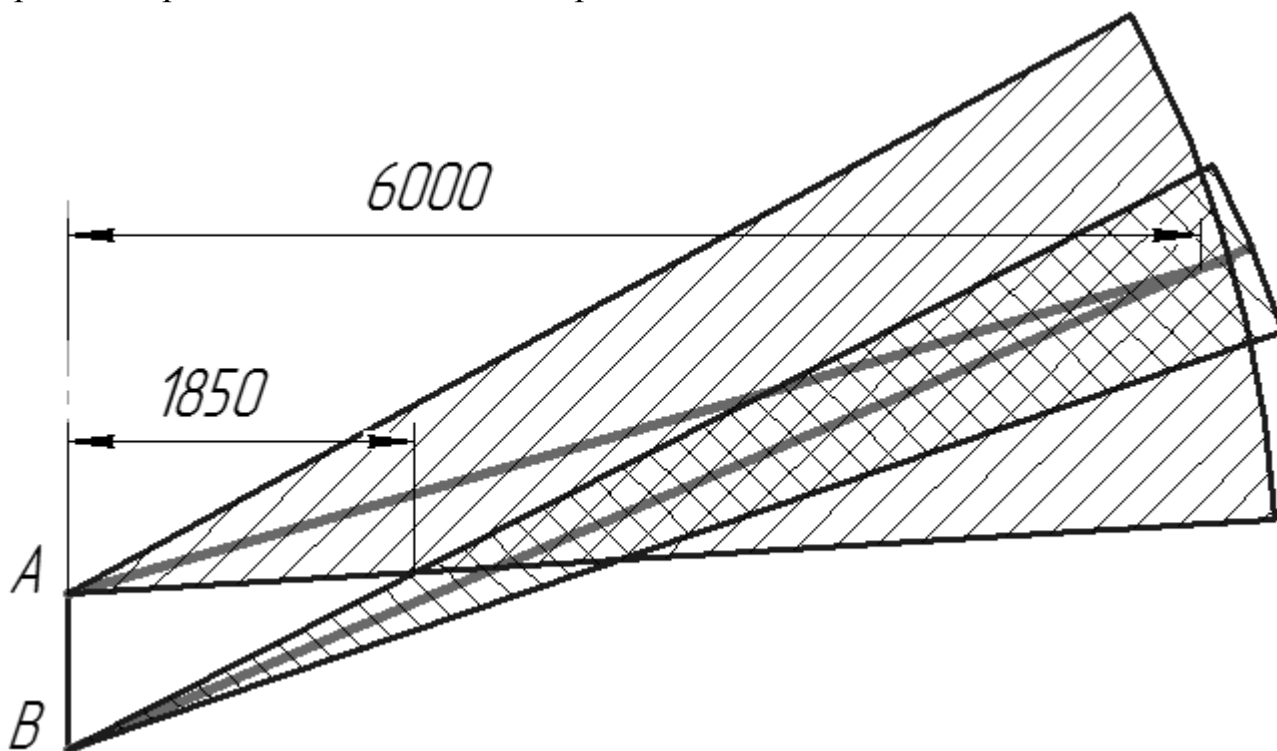


Рис. 1. Основные лучи диаграмм направленности

Геометрические построения позволяют предположить нахождение максимума суммарной диаграммы направленности на расстоянии 6 м и спадание уровня КУ на 6 дБ при уменьшении расстояния до 1,85 м.

Однако, простые геометрические соображения непригодны при дальнейшем уменьшении дальности. Для подробного изучения характеристик коэффициента усиления антенной системы на разных дальностях обе антенны смоделированы методом конечных элементов.

По результатам моделирования для каждой антенны выражены значения напряжённостей электрического поля на разных расстояниях от продольной оси антенной системы. Напряженности электрического поля переведены в коэффициенты усиления антенн А и В

$$G_{A,B}(\varphi) = \frac{4\pi}{P_{rad}} \cdot \frac{\vec{E}^2 r^2}{2 \cdot \eta_0}, \quad (1)$$

где r – дальность (м),

\vec{E} – напряженность электрического поля (В/м),

P_{rad} – мощность излучения (принята за 1 Вт),

η_0 – волновое сопротивление вакуума.

Суммарный коэффициент усиления антенной системы найден как произведение коэффициентов усиления отдельных антенн в заданной точке.

$$G(\varphi) = G_A(\varphi) \cdot G_B(\varphi), \quad (2)$$

где G_A, G_B – коэффициенты усиления антенн (дБ).

Используя полученные данные, можно проверить правильность ранее высказанных геометрических предположений, точный расчет дает значение снижения суммарного КУ

$$G(85\text{ м}) - G(2,5\text{ м}) = 5,7\text{ дБ}. \quad (3)$$

Предсказанное геометрически ослабление в 6 дБ оказались очень близко к расчётному результату.

При дальнейшем уменьшении дальности происходит значительное снижение суммарного КУ, связанное с расхождением главных максимумов антенн.

Проведена проверка полученных теоретических данных на практике. На вход антенны А подаётся зондирующий сигнал, который после отражения от металлической сферы диаметром 25 см с ЭПР $0,05\text{ м}^2$ измеряется на выходе антенны В. Все измерения проводились в безэховой камере с использованием векторного анализатора цепей "Микран Р4М-18". Значение полученного отражённого сигнала преобразовано в суммарный коэффициент усиления и нормировано к теоретическому значению на максимальной измеренной дальности 2,5 м.

$$G_{meas}(r) = 10 \cdot \log(r^4 \cdot 10^{\frac{S_{21}}{10}}), \quad (4)$$

где r – дальность (м),

S_{21} – значение принятого сигнала (дБ),

P_{rad} – мощность излучения (принята за 1 Вт).

На рис. 2 представлены результаты измерений диаграмм направленности антенн в сравнении с теоретическими расчётами.

Результатом данного исследования стало получение зависимости коэффициента усиления антенной системы от дальности, снижение КУ достигает 40 дБ, кроме того, наблюдается смещение главного максимума суммарной диаграммы направленности с 67° до 80° . Если такое поведение антенной системы не устраивает разработчика датчика, следует использовать меньшую базу между антеннами с соответствующим уменьшением потенциала системы.

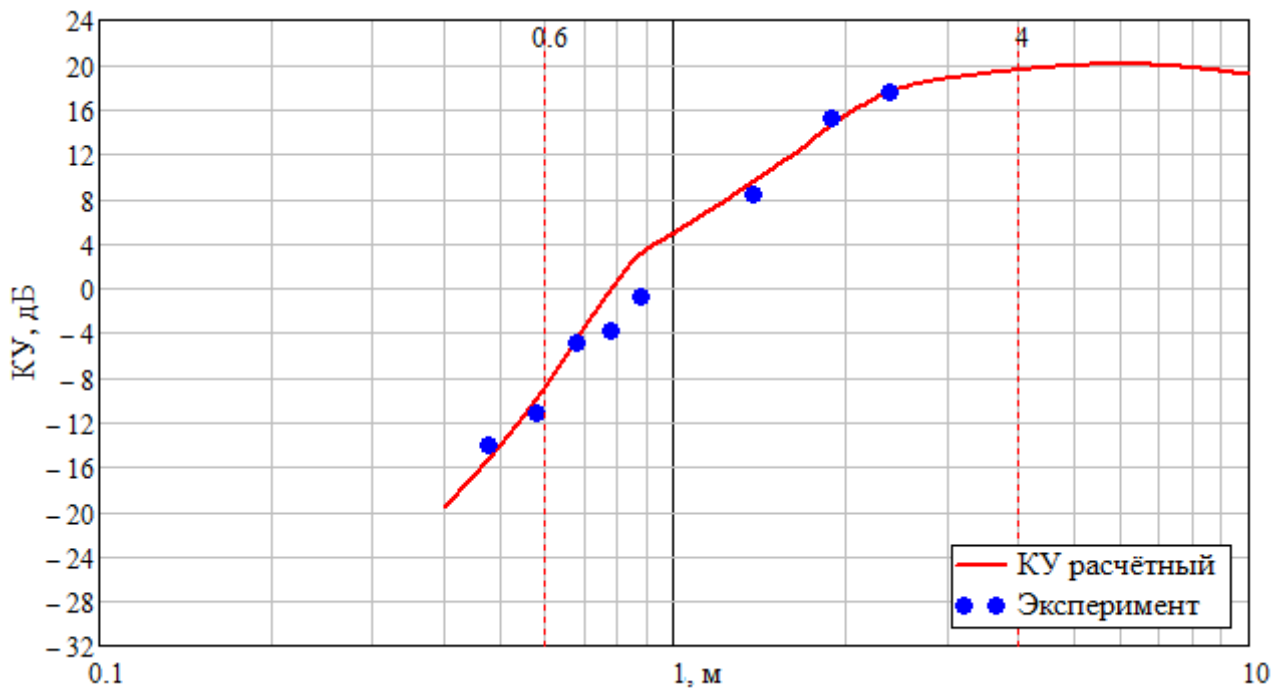


Рис. 2. Зависимость суммарного КУ от дальности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромодин В.Б. Матрица рассеяния волноводно-щелевой антенны // Системы и средства передачи информации / Сборник научных трудов учебных институтов связи.-Л.:1985. С.49-54.
2. Ключев В.М., Кордо А.Д., Ромодин В.Б. Проектирование волноводно-щелевых антенн на нерезонансных излучателях // Теория и техника антенн // Тезисы докладов 22 Всесоюзной научно-технической конференции.- М.: 1981. С.234.

© В. С. Кулик, В. Б. Ромодин, 2015

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПО МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИСТОЧНИКА В ОЧАГЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

Георгий Алексеевич Куриленко

Новосибирский государственный технический университет, 630092, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, доктор технических наук, профессор кафедры прочности летательных аппаратов, тел. (383)346-17-77, e-mail: teormech@ngs.ru

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: v.s.ayrapetyan@ssga.ru

Галина Витальевна Григорьева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-31, e-mail: sgga_55@mail.ru

Рассмотрен новый способ прогнозирования циклической долговечности деталей через расчет мощности теплового источника, как бы функционирующего в очаге повреждаемости, расположенного обычно в зоне концентратора напряжений. Мощность источника рассчитывается через параметры внутреннего трения материала и характеристики концентратора напряжений, которые практически всегда можно найти в справочнике. Параметры внутреннего трения материала определяются экспериментально по апробированной методике или также берутся из справочной литературы. Метод имеет достаточную точность и существенно сокращает время прогнозирования.

Ключевые слова: циклическая долговечность, тепловой источник, концентратор напряжений, параметры внутреннего трения материала, температура.

PREDICTION PRODUCT LIFE POWER OF HEAT SOURCES IN THE HEARTH DAMAGEABILITY

Georgiy A. Kurilenko

Novosibirsk state technical University, 630092, Russia, Novosibirsk, etc. K. Marksa 20, doctor of technical Sciences, Professor of Department of strength of aircrafts, tel. (383)346-17-77, e-mail: teormech@ngs.ru

Valerik S. Ayrapetian

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plachotnogo St., Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (913)462-10-75, e-mail: v.hayr100011@mail.ru

Galina V. Grigorieva

Siberian State University of Geosystems and Technology, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plachotnogo St., senior teacher of the Department of special devices and technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: sgga_55@mail.ru

A new method for predicting the cyclic durability of parts through the power calculation of the heat source, as it were functioning in the hearth of damage, usually located in the area of stress concentrator. The power source is calculated in terms of parameters of the internal friction of the material and the characteristics of a stress concentrator, which is almost always to be found in the directory. The parameters of the internal friction of the material are determined experimentally by approved methods or also taken from the literature. The method has sufficient accuracy and significantly reduces the time forecasting.

Key words: cyclic durability, heat source, stress concentrator, the parameters of the internal friction of the material temperature.

В настоящей работе показано, как можно рассчитать мощность теплового источника q в очаге концентрации напряжений через параметры внутреннего трения материала и концентратора напряжений [1,2] без учета кинетики температуры очага. Установлена связь между q и теоретическим коэффициентом концентрации напряжений K_n . Эта связь позволяет достаточно быстро и надежно определить величину q и через нее затем рассчитать циклическую долговечность.

Рассмотрим продольные колебания тонкостенной цилиндрической трубки с риской (концентратором напряжений) на наружной поверхности (рис. 1). Распределение напряжений в районе риски имеет весьма сложный характер как по радиусу, так и вдоль образующей [3].

На рис. 1-а показана эпюра напряжений σ по радиусу, которую в первом приближении можно представить как двухступенчатую (рис. 1-б). Будем считать, что максимальные напряжения в районе концентратора $\sigma_{\max} = K_n \sigma_n$ по радиусу действуют на глубину $h_k = \gamma_1$, а по образующей – на расстояние l_k .

Считая, что в поперечных сечениях регулярной части образца действуют нормальные напряжения σ , составим уравнение равновесия для элемента образца:

$$\sigma A_T = \sigma_{\max} A_k + \sigma_n (A_1 - A_k). \quad (1)$$

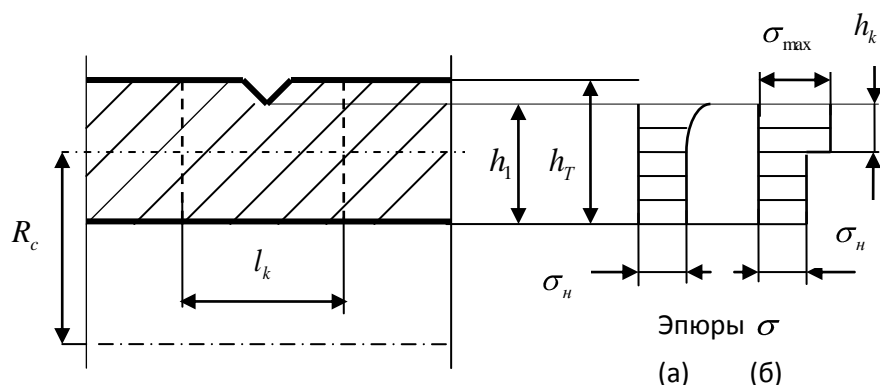


Рис. 1. Эпюры напряжений в районе концентратора напряжений:
а) – фактическая, б) – схематизированная

В уравнении (1) приняты следующие обозначения:

$A_T = 2\pi R_c h_T$ – площадь поперечного сечения регулярной части образца;

R_c – радиус срединной поверхности трубки;

h_T – толщина регулярной части трубки;

$A_x = \gamma A_1$ – часть площади поперечного сечения, в котором действует σ_{\max} ;

A_1 – площадь поперечного сечения без учета риски;

γ – коэффициент, учитывающий долю A_1 в A_x ;

$h_k = \gamma h_1$ – часть сечения по радиусу, в котором действует σ_{\max} ;

σ_n – номинальное напряжение в районе концентратора напряжений;

$\varphi = \frac{A_1}{A_T}$ – коэффициент, учитывающий долю A_1 в A_T .

Из формулы (1) выразим номинальное напряжение:

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{\varphi(\gamma K_n + 1 - \gamma)}. \quad (2)$$

Найдем теперь мощность q_T , рассеиваемую в единице объема регулярной части образца за цикл колебаний, через коэффициент поглощения энергии материала ψ_m :

$$q_T = \psi_m f \frac{\sigma^2}{2E}. \quad (3)$$

Коэффициент поглощения энергии есть получаемая экспериментально амплитудно-зависимая функция $\psi_m = \psi_m(\sigma)$, которая, как правило, является монотонно возрастающей [1,2]. Ее удобно представить в виде степенной зависимости

$$\psi_m = \alpha \left(\frac{\sigma}{E} \right)^\beta \quad (4)$$

Параметры внутреннего трения α и β определяются при обработке функции (4) по методу наименьших квадратов.

Подставляя в (3) выражение (4) и напряжение σ , выраженное из (2), получим

$$q_T = \frac{f \alpha \varphi \left(\gamma K_n + 1 - \gamma \right)^{\beta+2}}{2E^{\beta+1}}. \quad (5)$$

В формуле (5) α и β – параметры внутреннего трения в регулярной части образца.

Аналогичным образом рассчитаем мощность q , выделяющуюся в зоне концентратора напряжений. Коэффициент поглощения энергии в районе концентратора определяется формулой

$$\psi_k = \alpha_k \left(\frac{\sigma_{\max}}{E} \right)^{\beta_k} \quad (6)$$

и параметры внутреннего трения α_k и β_k могут отличаться от параметров α и β в регулярной части образца. Это происходит в тех случаях, когда напряжения в зоне концентратора напряжений превышают предел выносливости, поскольку в этом случае начинают развиваться усталостные трещины и рассеяние энергии резко увеличивается, а в регулярной части образца напряжения остаются ниже предела выносливости.

Выражение для мощности q с учетом формул (4), (5), (6) принимает вид

$$\begin{aligned}
 q &= f \left[\psi_k \gamma \frac{\sigma_{\max}^2}{2E} + \psi_m (1 - \gamma) \frac{\sigma_n^2}{2E} \right] A_1 l_k = \\
 &= \frac{f A_1 l_k}{2E} \left[\alpha_k \left(\frac{\sigma_{\max}}{E} \right)^{\beta_k} \sigma_{\max}^2 \gamma + \alpha \left(\frac{\sigma_n}{E} \right)^{\beta} \sigma_n^2 (1 - \gamma) \right] = \\
 &= \frac{\phi l_k A_T f \alpha \sigma_n^{\beta+2}}{2E^{\beta+1}} \left(\frac{\alpha_k \gamma K_n^{\beta_k+2} \sigma_n^{\beta_k-\beta}}{\alpha E^{\beta_k-\beta}} + 1 - \gamma \right). \tag{7}
 \end{aligned}$$

Найдем отношение q к q_T в соответствии с формулами (5) и (7):

$$\frac{q}{q_T} = \frac{l_k A_T}{\phi^{\beta+1} \left(K_n \gamma + 1 - \gamma \right)^{\beta+2}} \left(\frac{\alpha_k \gamma K_n^{\beta_k+2} \sigma_n^{\beta_k-\beta}}{\alpha E^{\beta_k-\beta}} + 1 - \gamma \right). \tag{8}$$

Пока максимальное напряжение в зоне концентратора напряжений не превышает предела выносливости σ_{-1} ($\sigma_{\max} < \sigma_{-1}$), отношение $\frac{q}{q_T}$ является величиной постоянной, т.к. параметры внутреннего трения в регулярной части образца и в зоне концентрации напряжений будут одинаковы: $\alpha_k = \alpha$ и $\beta_k = \beta$, поскольку зависимости (4) и (6) описываются одной функцией. В этом случае выражение (8) не зависит от напряжения, существенно упрощается и принимает вид:

$$\frac{q}{q_T} = \frac{l_k A_T \left(K_n^{\beta+2} + 1 - \gamma \right)}{\phi^{\beta+1} \left(K_n + 1 - \gamma \right)^{\beta+2}}. \tag{9}$$

Это отношение начинает увеличиваться при $\sigma_{\max} > \sigma_{-1}$, что связано с существенным возрастанием величины q в связи с ростом усталостной повреждаемости.

Для расчета циклической долговечности детали с начальными макротрещинами традиционно используют формулу Пэриса [4], связывающую скорость роста трещины с коэффициентом интенсивности напряжений. В рамках разрабатываемого нами термографического подхода для оценки повреждаемости металлов мы получили термодинамические аналоги формулы Пэриса, связывающие скорость роста трещины или с приращением за цикл колебаний удельной энтропии в очаге повреждаемости, либо с интенсивностью теплового источника

в очаге [5]. По скорости роста трещины затем рассчитывается долговечность детали.

Выводы. Таким образом, получены формулы, позволяющие рассчитывать мощность теплового источника q в очаге повреждаемости (формула (7)), удельную мощность q_T в регулярной части образца (формула (5)) и связывающие эти мощности формулы (8) и (9). В каждом конкретном случае можно выбрать наиболее удобный способ расчета мощности q , через которую рассчитывается циклическая долговечность.

Полученные формулы расширяют возможности термографического подхода, поскольку позволяют рассчитать долговечность без учета температуры очага повреждаемости и существенно сократить время расчета, т.к. необходимую информацию о концентраторе напряжений и о параметрах внутреннего трения материала можно, как правило, получить из справочной литературы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: «Наукова думка», 1981. – 343 с.
2. Kurilenko G.A. Quantitative infrared investigations through the intensity of thermal source in the domain of damaging // Proc. of the IV Intern. Workshop “Advanced Infrared Technology and Applications”. Firenze, 1997, pp. 177 – 188.
3. Савин Г.Н., Тульчий В.И. Справочник по концентрации напряжений. – Киев: «Вища школа», 1976. – 410 с.
4. Paris P.C. The fracture mechanics approach to fatigue. In: Fatigue and interdisciplinary approach. Syracuse University Press, 1964, pp.107-127.
5. Kurilenko G.A., Pshenichny A.B. The investigation of metal's damage through thermal fields kinetics // Proc. of Quantitative Infrared Thermography Conf. QIRT 92. Paris, 1992, pp. 145-149.

© Г. А. Куриленко, В. С. Айрапетян, Г. В. Григорьева, 2015

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Саид Насибуллович Шарифуллин

Филиал Казанского (Приволжского) федерального университета, 422980, Россия, Республика Татарстан, г. Чистополь, ул. Студенческая, 15, доктор технических наук, профессор кафедры механизации в агропромышленном комплексе, тел. (960)054-85-95, e-mail: Saidchist@mail.ru

Владимир Борисович Ломухин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)916-24-31, e-mail: dll91@mail.ru

Предлагаемая теория позволяет обеспечить объективное, в зависимости от текущего технического состояния, применение ремонтно-восстановительного покрытия (РВС), что приведет к увеличению ресурса механизма и экономии эксплуатационных расходов, а так же включение этой системы в процесс обучения позволит готовить специалистов на реальном материале с использованием современного оборудования.

Ключевые слова: ремонтно-восстановительное покрытие, пороговые значения, диагностирование механизмов.

SCIENTIFIC PROBLEM OF CHOOSING REPAIR AND RESTORATION COATINGS FOR MACHINES AND MECHANISMS

Said N. Sharifullin

The branch of Kazan (Volga region) Federal University, 422980, Russia, Tatarstan, Chistopol, Ul. Student, 15, doctor of technical Sciences, Professor of the Department of Mechanization in the agricultural sector, tel. (960)054-85-95, e-mail: Saidchist@mail.ru

Vladimir B. Lomukhin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (913)916-24-31, e-mail: dll91@mail.ru

The offered theory allows to provide objective, depending on the current technical condition, application is repair regenerative structures (RRS) that will lead to increase in a resource of the mechanism and economy of working costs and as inclusion of this system in process of training will allow to prepare for experts on a real material with use of the modern equipment.

Key words: Repair floor, threshold, detection mechanisms.

Особенности применения и эксплуатации нефтегазовых и горно-добывающих комплексов имеет свою специфику, похожую на периодическую эксплуатацию в сельском хозяйстве, строительстве и речном транспорте. Не происходит их ежедневного возврата к месту приписки – технического обслуживания. Этим вызваны не только особенности их эксплуатации, но и возможности применения специальных технологий.

Диагностирование по результатам анализа работающего масла известно и достаточно полно изучено многими учеными. Сам способ диагностирования хорошо зарекомендовал себя в практической работе, как по оценке текущего технического состояния деталей и систем (комплексов) машин в различных областях народного хозяйства (М/М).

Ремонтно-восстановительные препараты (РВС), ставшие популярными в последнее время исследуются и применяются учеными и практиками. Однако сведения о их практическом применении противоречивы. Приводятся исследования, как правило, одного РВС и разрабатываются методики применения именно исследованного препарата. Отсутствуют методики и алгоритмы выбора того или иного РВС. Это связано, в первую очередь с тем, что на сегодняшний день отсутствует однозначная теория механизма воздействия ремонтно-восстановительного состава (РВС) на поверхность узлов трения, что является главной помехой оптимизации РВС технологии и ее широкомасштабного внедрения в промышленности и ремонтном производстве. В связи с этим попытки применения РВС не всегда приводят к ожидаемому результату [1 – 3].

Цель и задача исследования:

В настоящей работе, выполненной в различных Новосибирских университетах, сделана попытка реализовать современные научные результаты в области диагностирования по анализу масла для объективного выбора РВС в зависимости от текущего технического состояния М/М. Целью настоящей работы является: получение научно обоснованной методики выбора РВС и ее экспериментальная проверка.

На рис. 1 показан алгоритм принятия решения по результату анализа смазочного масла по одному элементу-индикатору (диагностическому параметру). Обычно их несколько. Это и результаты физико-химического анализа масла (температура вспышки; кинематическая вязкость; механические примеси; щелочное число и др.), результаты спектрального анализа (количественное содержание металлов: железо; алюминий; олово; кремний и др.). В общем виде на рис. 1 элементы-индикаторы представлены как X_i так как предлагаемый подход един.

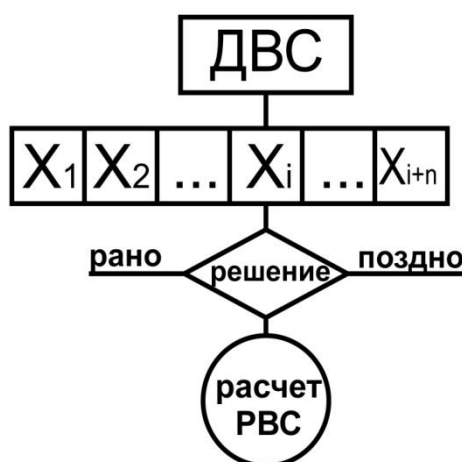


Рис. 1. Алгоритм принятия решения

Как следует из предлагаемого алгоритма, необходимо произвести сравнение с пороговыми значениями – нормативами. Способы определения пороговых значений могут быть различными. В настоящей работе предлагается следующий способ получения пороговых значений, изложенный в работах [4, 5].

Однотипные строительные машины (механизмы) эксплуатируются определенный эксплуатационный период, в течение этого периода через установленные промежутки времени производится отбор проб масла из них на анализ. Результаты анализа на данном этапе представляют единую выборку по типу строительных машин (механизмов).

После завершения накопительного периода, производится разборка и инструментальная дефектация СМ/М. По результатам дефектации можно разделить эксплуатируемые СМ/М на две выборки: исправных и не исправных СМ/М. Строя гистограммы по интервалам концентрации и учитывая количество СМ/М из различных выборок, при подборе распределения получим плотности распределения вероятностей по диагнозам: исправный и не исправный объект (рис. 2).

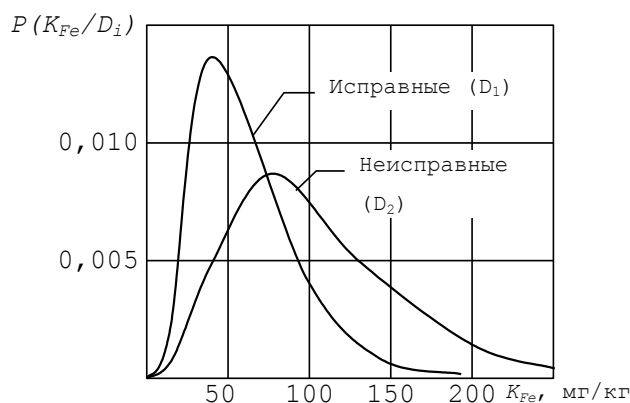


Рис. 2. Распределение вероятностей двух диагнозов

Для количества металлов в масле более подходит гамма–распределение. Именно это распределение позволяет предположить, что содержание металлов в масле в основном является функцией изнашивания.

Например, для гамма–распределения моделью является поток событий с постоянной интенсивностью, что в большей мере соответствует выносу продуктов изнашивания в масло при постоянной скорости последнего.

В полученных распределениях (Рис.2), при ложной тревоге исправный двигатель принимается неисправным (вместо диагноза D_1 принимается диагноз D_2). При пропуске дефекта (неисправности) неисправный двигатель принимается исправным (вместо D_2 принимается D_1). Если X – некоторый диагностический параметр и его статистические распределения плотности вероятности для исправного и неисправного состояния известны, $f\left(\frac{X_i}{D_i}\right)$ то вероятность гипоте-

зы ложной тревоги при постановке диагноза D_1 при действительном значении параметра, равном X , выразится как

$$P_{\alpha} = P_1 \int_{x_0}^{\infty} \left(\frac{X_i}{D_1} \right) dx \quad (1)$$

В этом же случае вероятность пропуска дефекта выразится

$$P_{\beta} = P_1 \int_{x_0}^{\infty} \left(\frac{X_i}{D_2} \right) dx \quad (2)$$

где P_{α} и P_{β} – вероятности ложной тревоги и пропуска дефекта;

P_1 и P_2 – априорные вероятности диагноза при рассмотрении данного признака;

X_0 – левая граница распределения вероятностей, для гамма распределения она равна нулю, для нормального распределения – минус бесконечности.

Интегрируя полученные на основе реального статистического материала распределения, получаем возможность построить пороги предельных значений элементов–индикаторов. При этом не важна физическая сущность исследуемого фактора, им может быть любой диагностический параметр.

Если принять величину надежности диагноза равной 0,95, что соответствует уровню необходимой надежности двигателей, то можно отложить уровень $1 - 0,95 = 0,05$ на интегральных кривых (рис. 3)

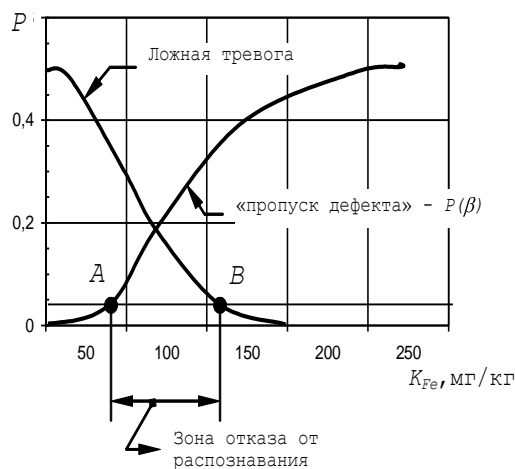


Рис. 3. Статистические пороги распознавания

Уровень пересечет эти кривые в точках А и В. Получим пороговые значения.

Видно, что при получении текущего анализа, попавшего левее точки А, диагностируем объект можно считать исправным с вероятностью большей 0,95; правее точки В – диагностируемый объект неисправен с вероятностью большей, чем 0,95. Между точками А и В находится зона отказа от распознавания (зона неопределенности), которая вполне естественна для всех методов распознавания образов.

Получив, таким образом, пороговые значения и проведя сравнение (см. рис. 1), следует приступить к выбору РВС.

Для этого предположим, что количество изношенного слоя следует компенсировать аналогичным количеством привнесенного слоя (материала РВС) (Рис. 4).

Теперь, на основании сделанного предположения (см. рис. 4), следует найти связь между концентрацией продуктов износа (диагностическим параметром) и массой необходимого РВС.

Рассмотрим известное уравнение Пахомова, для расчётов применительно к силовым установкам М/М:



Рис. 4. Баланс

$$K_i = K_0 \cdot e^{-\frac{q+q_\phi}{Q} \cdot t} + \frac{q}{q_\Delta + q_\phi} \cdot \left[1 - e^{-\frac{q_\Delta + q_\phi}{Q} \cdot t} \right] \quad (3)$$

где K_0 – начальная концентрация, г/т;

t – время от смены масла, час;

q – интенсивность поступления продуктов износа в масло, г/час;

Q – количество масла в картере, т;

q_Δ – интенсивность долива масла, т/час;

q_ϕ – интенсивность фильтрации масла, т/час.

Взаимосвязь массы и концентрации можно выразить, как:

$$G = K_i \cdot Q \quad (4)$$

где G – масса изношенных элементов в системе, г

K_i – текущая концентрация металла, г/т

Для учета ранее поступивших продуктов износа, необходимо добавить начальную концентрацию, K_0 , получим:

$$G = (K_i + K_0) \cdot Q \quad (5)$$

$$G = (K_i + K_0) \cdot Q = Q \cdot \left(\frac{q}{q_\Delta + q_\phi} \cdot \ln \left(1 - \frac{q_\Delta + q_\phi}{Q} \cdot t_i \right) \right) = \frac{q \cdot Q}{q_\Delta + q_\phi} \cdot \ln \left(1 - \frac{q_\Delta + q_\phi}{Q} \cdot t_i \right) \quad (6)$$

Имея выборку предшествующих значений по отобраным пробам масла, см. рис. 2, составим систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} K_1 = K_0 \cdot e^{-\frac{q_{\Delta} + q_{\phi}}{Q} \cdot t_1} + \frac{q}{q_{\Delta} + q_{\phi}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{q_{\Delta} + q_{\phi}}{Q} \cdot t_1} \right] \\ \dots \\ K_n = K_0 \cdot e^{-\frac{q_{\Delta} + q_{\phi}}{Q} \cdot t_n} + \frac{q}{q_{\Delta} + q_{\phi}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{q_{\Delta} + q_{\phi}}{Q} \cdot t_n} \right] \end{array} \right. \quad (7)$$

где n – объем выборки
обозначив:

$$\alpha_i = \frac{q_{\Delta} + q_{\phi}}{Q} \cdot t_i \quad (8)$$

Получим:

$$\sum_{i=1}^n K_i = K_0 \cdot \sum e^{-\alpha_i} + \frac{q}{Q} \cdot \sum \left(-e^{-\alpha_i} \right) \cdot \frac{t_i}{\alpha_i} \quad (9)$$

$$K_0 = \frac{\sum K_i + \frac{q}{Q} \cdot \sum \left(-e^{-\alpha_i} \right) \cdot \frac{t_i}{\alpha_i}}{\sum e^{-\alpha_i}} \quad (10)$$

$$G_j = \left(K_j + K_0 \right) \cdot Q = K_j \cdot Q + \frac{\sum K_i + q \cdot \sum \left(-e^{-\alpha_i} \right) \cdot \frac{t_i}{\alpha_i}}{\sum e^{-\alpha_i}} \cdot Q \quad (11)$$

Массу РВС, которую следует применить, если текущая концентрация элемента-индикатора соответствует K_j , а предшествующие значения концентраций известны, с учётом потерь.

Используя пороговые значения, можно рассчитать остаточный ресурс по выражениям:

$$G_{nop} = K_{nop} \cdot Q \quad (12)$$

где K_{nop} - может принимать значения А или В (см. рис. 3)

Соответственно остаточный ресурс определяется до момента применения РВС (порог А) или ресурс когда еще возможно применить РВС (порог В)

$$t_{ocm} = \frac{K_{nop}}{G_i} \cdot t_i - \left(+ t_1 \right) \quad (13)$$

$$t = \frac{K_{nop} \cdot Q}{\left(K_i + K_0 \right) \cdot Q} \cdot t_i - \left(+ t_1 \right) = \frac{K_{nop} \cdot t_i}{K_i + \frac{q}{Q} \cdot \left(\frac{\sum \left(-e^{-\alpha_i} \right) \cdot \frac{t_i}{\alpha_i}}{\sum e^{-\alpha_i}} \right)} - \left(+ t_1 \right) \quad (14)$$

Однако время, затрачиваемое на накопление статистического материала для расчета пороговых значений велико. Поэтому применение допорогового метода диагностирования ДВС, начиная со второй пробы, позволяет обосновать выбор необходимого РВС для М/М в текущем техническом состоянии [1, 6].

Проверка теоретических предпосылок по выбору РВС по результатам диагностирования ДВС по анализу смазочного масла:

Для экспериментальной проверки теоретических предпосылок изложенных выше, была произведена экспериментальная проверка. Цель проверки следующая: если применить методику допорогового метода диагностирования для выборки неисправных двигателей (см. рис.2), разделив ее повторно на исправные и не исправные, и проверив выборки на различие, рассчитать пороговые значения, то зона отказа от распознавания должна измениться. Это подтвердит правильность теоретических предпосылок.

Данные по расчетам для различных типов энергетических установок СМ/М, используемых в различных областях народного хозяйства РФ, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение «Зоны отказа от распознавания» для различных типов энергетических установок М/М, используемых в различных областях народного хозяйства РФ

№	Двигатель	Порог А ¹ до	Порог В ¹ до	Ширина ЗООР До	Порог А после	Порог В после	Ширина ЗООР после	Объем выборки тыс.ед.
1	Судовой Г 70-5 (плав.кран)	40	120	80	180	210	30	4,8
2	Судовой М-400(ДГ)	80	140	60	150	160	10	3,7
3	Автомобильный ЗМЗ 402.1 (авто.кран)	30	170	140	220	250	30	0,9
4	Дизель-генератор 6НФД-36	40	150	110	160	200	40	0,6

Как видно по приведенным в таблице данным, проверка теоретических предпосылок, приводит к существенному сужению «зоны отказа от распознавания» (ЗООР).

Очевидно, что и для выбора применяемых РВС, следует учитывать полученные деления. Например, (см. табл. 1 и рис. 5) на отрезке:

- {А¹ В¹} следует применять кондиционеры металла; (группа 1)
- {В¹ А} следует применять оптимизаторы шероховатостей поверхностей; (группа 11)
- {А В} следует применять ремонтно-восстановительные составы; (группа 111)
- до значения А¹ применять препараты не следует;

- за значением B , применять препараты не следует, нужно применить традиционный ремонт.

Таким образом, получим интервалы применения РВС по значению концентрации железа в работающем масле, см. табл. 2.

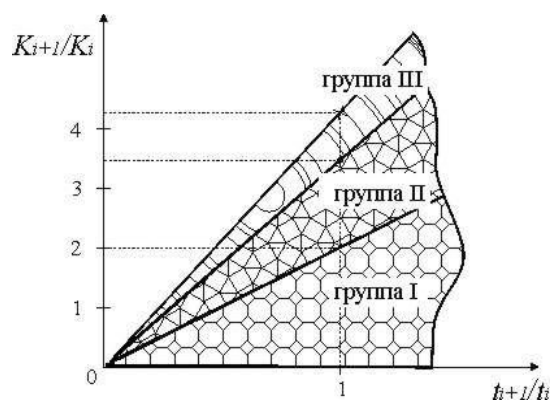


Рис. 5. Модель принятия решения при выборе препарата для М/М

Группа I –кондиционеры металла; группа II –оптимизаторы поверхности; группа III -РВС

Таблица 2

Интервалы применения РВС по значению концентрации железа в работающем масле

Наименование	Марка двигателя	Концентрация железа, г/т
Группа I	Судовой Г 70-5	40 - 120
	Судовой М-400	80 - 140
	Автомобильный ЗМЗ 402.1	30 - 170
	Дизель-генератор 6НФД-36	40 - 150
Группа II	Судовой Г 70-5	120 - 180
	Судовой М-400	140 - 150
	Автомобильный ЗМЗ 402.1	170 - 220
	Дизель-генератор 6НФД-36	150 - 160
Группа III	Судовой Г 70-5	180 - 210
	Судовой М-400	150 - 160
	Автомобильный ЗМЗ 402.1	220 - 250
	Дизель-генератор 6НФД-36	160 - 200

Как видно из вышеизложенного, предлагаемая теория выбора РВС по результатам диагностирования перспективна для строительных машин и механизмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. В.Б. Ломухин, Основы современной эксплуатации двигателей. Новосибирск: Наука. 2004.- 188 с.
2. Anatoly Dounaev. Friction Surfaces Modification Using Tribo-Compounds /Anatoly Dounaev and Said Sharifullin //World Applied Sciences Journal. ISSN 1818-4952, 2014. – Vol. 31 (2). – P. 272 – 276.
3. Sharifullin. New approach to investigating plasma processes occurring in friction units of machines and mechanisms /S. Sharifullin, N. Rogozhkin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2014. – V. 69. doi:10.1088/1757-899X/69/1/012039.
4. В.Б. Ломухин, Совершенствование системы диагностирования судовых дизелей по параметрам смазочного масла. Автореф. Дисс... канд. техн. наук. – Новосибирск, НГАВТ - 2002. – 1 с.
5. В.Б. Ломухин, Система диагностирования дизелей по методу комплексного анализа смазочного масла / Кононов А.Ф., Сорокин Н.Н., Шеромов Л.А. Стандарт предприятия. СТП 314.536.0-01-88. – Новосибирск, 1988. – С.79.
6. В.Б. Ломухин, Математическая модель оптимального подбора препаратов по состоянию двигателя на основе спектрального анализа картерного масла. //«Ползуновский вестник» № № 1 и 2, Алт.ГПУ, Барнаул, 2003. – С. 45 – 49

© С. Н. Шарифуллин, В. Б. Ломухин, 2015

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ

Алена Алексеевна Марач

ООО «Семейное здоровье», 630048, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 7, фельдшер-лаборант, тел. (913)704-67-24, e-mail: Maratch_a_a@mail.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Владимир Витальевич Коваленко

ГБОУ СПО НСО «Новосибирский приборостроительный техникум им. Б. С. Галушчака», 630049, г. Новосибирск, ул. Дмитрия Донского, 23/2, корп. 45, заведующий комплексной лабораторией оптических и оптико-электронных приборов и систем, тел. (923)197-01-71, e-mail: optic.rem@mail.ru

В статье рассматриваются оптико-электронные методы определения дальности. Делается вывод, что совершенствование технических возможностей оптико-электронных дальномеров, во многом зависят не только от новых открытий в оптической, радиотехнической, электронной областях, и автоматизации и робототехники, но и от производственных возможностей страны.

Ключевые слова: дальномер, измерение дальности.

OPTOELECTRONIC METHODS FOR DETERMINING THE DISTANCE

Alena A. Maratch

LLC «Family health», 630048, Russia, Novosibirsk, Karl Marx, 7, paramedic assistant, tel. (913)704-67-24, e-mail: Maratch_a_a@mail.ru

Maxim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor in the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Vladimir V. Kovalenko

GBOU SPO NSO «Novosibirsk instrument-making of the College. B. S. Galushchaka», 630049, Russia, Novosibirsk, Dmitry Donskoy str., 23/2, Bldg. 45, head of integrated laboratory for Optical and optoelectronic devices and systems, tel. (923)197-01-71, e-mail: optic.rem@mail.ru

The article deals with opto-electronic methods of determining range. It is concluded that the improvement of the technical capabilities of opto-electronic distance-rooms, largely depend not only on new discoveries in optical, radio, electronic fields, and automation and robotics, but also on the productive capacity of the country.

Key words: range finder, measuring range.

Выбор метода, для определения больших расстояний, сравним с решением задачи по перебору вариантов, где исходными и решающими величинами являются дальность и точность [19, 20].

Известное значение скорости электромагнитных колебаний, и учет внешних условий заложены в основу определения дальности. Определение расстояния светодальномерами и радиодальномерами сводится к измерению времени, затраченного на прохождение до объекта и обратно. Искомую величину получают из соотношения:

$$2 \times S = v \times \tau$$

τ - время, в течение которого колебания прошли двойное расстояние излучателя до объекта и обратно, (с);

S - расстояние до объекта, (м);

v - скорость распространения электромагнитных колебаний, (м/с).

При этом, объект (отражатель) принимающий излучение может быть как с активным действием, так и с пассивным. Активный отражатель, принимает сигнал, затем усиливает (или дополняет какой либо информацией) его и излучает ответный сигнал. Дальность действия оптической системы с активным отражателем значительно выше, чем с пассивным отражателем.

Использование лазера в качестве источника излучение позволило значительно увеличить дальность действия прибора, а также упростить его конструкцию и сделать портативным [1].

Классификация способов измерения расстояний представлена в схеме 1.



В интерференционных дальномерах рабочим эталоном служит период несущих электромагнитных колебаний [2, 3, 4]. При проведении измерений в вакууме, когда показатель преломления не нужен, то рабочим эталоном служит непосредственно длина волны монохроматических колебаний:

$$S = \lambda/2 \times (N + \Delta),$$

где λ -длина волны электромагнитных колебаний (м/с);

Δ - дробная часть фазового цикла;

N – число целых фазовых циклов.

Замеры проводят по изменению интенсивности принимаемого суммарного светового потока аналоговым способом в пределах фазового цикла, либо дискретно, используя специальные счетчики целых фазовых циклов (полос) [5,6]. Однако при высокой точности измерений дальность интерференционных дальномеров только несколько десятков метров. Увеличение дальности измерений получили путем использования двухчастотных лазеров [7].

Частотная модуляция (модуляция по свету), осуществляется путем внутренней частотной модуляции, основанной на изменениях параметров оптического резонатора лазера [8]. При изменениях частоты несущих колебаний, не превышающих 100 МГц, выделение разностной частоты $\Delta\omega$ можно осуществить непосредственно в приемнике излучения [9, 10, 11, 12, 13]. Измеряемое расстояние вычисляют по формуле:

$$S = v \times T \times \Delta\omega / 2 \times (\omega_{H \max} - \omega_{H \min}),$$

где T - время, за которое происходит однократное изменение частоты несущих колебаний от минимального до максимального значения ($T > t$).

В случае синусоидальной частоты модуляции несущих колебаний, среднее значение разностной частоты периода модуляции зависит от величины измеряемого расстояния. Если изменить частоту модуляции, то при некотором значении f разностная частота будет равна нулю, то есть величина расстояния определяется по формуле:

$$S = v \times N / 2 \times f$$

где $N = 1, 2, 3, \dots$ – целое число, для определения которого необходимо заранее знать приближенное значение величины измеряемого расстояния.

Для повышения точности и конструктивного упрощения дальномера вместо частотной модуляции используют фазовую модуляцию несущих колебаний при помощи внешнего электрооптического модулятора, установленного после лазера и ориентированного по отношению к плоскости поляризации входящего в него лазерного излучения [14].

В импульсных дальномерах излучения происходят прерывисто, время затраченное на прохождении двойного расстояния измеряется непосредственно. В качестве источника излучения используют твердотельные рубиновые и неодимовые лазеры с внутренней модуляцией. Величина измеряемого расстояния определяется по формуле:

$$S = v \times t / 2 \approx v \times N / 2 \times f_c$$

где, N – число калиброванных временных импульсов, зафиксированное счетчиком;

f_c – частота следования калиброванных временных импульсов.

Погрешность измерений составляет несколько наносекунд. Главным преимуществом импульсных дальномеров является простота функциональной схемы и быстродействие.

В фазовых дальномерах используется метод сравнением фаз излучаемого и принимаемого световых потоков.

$$S = v \times \varphi / 2 \times \omega$$

где φ – разность фаз;

ω – угловая скорость;

Частоту модуляции можно выбрать в зависимости от допустимой погрешности наименьшего расстояния измерения и от погрешности определения разности фаз.

Существуют дальномеры с непосредственным измерением разности фаз и компенсационным. В первых в качестве фазоизмерительного устройства используется электронно-лучевая трубка [15]. Отличие дальномера с компенсационным измерением разности фаз от предыдущего заключается тем, что фазоизмерительное устройство заменено на фазовращателем и добавлены демодулятор и индикатор.

Для повышения точности и дальности, следующим поколением дальномеров стали комбинированные дальномеры [16]. При переходе непрерывного излучения полупроводникового лазера к импульсному излучению мощность возрастает пропорционально скважности импульсов, в данном примере дальность возросла в 10-15 раз.

В дальномере – рефрактометре, где источником излучения служит ионный аргонный лазер, обеспечивающий излучение на двух волнах 458 и 514 Нм, а длительность работы 20 мкс, дальность составляет 30 километров с точностью 5×10^6 [17].

ВЫВОД

Совершенствование технических возможностей оптико-электронных дальномеров, во многом зависят не только от новых открытий в оптической, радиотехнической, электронной областях, и автоматизации и робототехники, но и от производственных возможностей страны [20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михеечев В. С. Геодезические светодальномеры. М., «Недра», 1979, с.222.
2. Забелин А. А., Рябова Н. В., Получение интерференции с большой разностью хода при использовании в качестве источника света газового ОКГ. – Оптическая промышленность, 1968, №4, с.9-12.
3. Земелеков Г.Г., Савельев В. А. Средства измерения линейных размеров с использованием ОКГ. М., Машиностроение, 1977.
4. Коломейцев Ю. В. Интерферометры. Л.Машиностроение, 1976.
5. Применение лазеров. М., Мир, 1974.
6. Speed of Light from direct frequency and wavelength measurement of the methane stabilized laser/Evenson K. M., Wells J.S., Petersen F.B., Danielson B.L., Day C.W., Barger B.L., Hall J.L. – «Phyls Rev. Lett», 1972, vol. 29, No 19, 1346-1349.

7. Прилепин М.Т., Голубев А. Н., Оптические квантовые генераторы в геодезических измерениях. М., Недра.,1972. 168 с.
8. Прилепин М. Т., Голубев А. Н. О построении лазерного дальномера с частотной модуляцией, несущей и оптическим гетеродированием // Известия вузов. Геодезия и аэрофото- съемка. – 1972, вып. 5. – С. 123–127.
9. Берковский А. Г., Гаванин В. А., Зайдель А. Н. Вакуумные фотоэлектронные приборы. М., Энергия, 1976.
10. Власов В. Г., Лазнева Э. В. Метод гетеродинного приема излучения амплитудно- модулированного в диапазоне 5-50 МГц, с помощью фотодиода. – Оптико-механическая промышленность, 1968, №10,с.5-8.
11. Власов В. Г., Попов Ю. В., Утенков Б. М., Оптимизация работы ФЭУ в режиме гетеродинного детектирования с внешним электродом. – Оптико-механическая промышленность, 1969, №9, с.59-60.
12. Попов Ю. В., Утенков Б. И., Методы управления режимом работы фотоэлектронных умножителей – Оптико-механическая промышленность, №2,1976, с.65-71.
13. Шилов А. Ф. Фазовые характеристики, ФЭУ-28, работающих в режиме гетеродирования. – Изв.вузов, Геодезия и аэрофото-съемка,1969, №2, с.147-152.
14. Голубева А. Н. О лазерном дальномере с фазовой модуляцией излучения. – Изв.вузов, Геодезия и аэрофото-съемка, 1976, вып.1.с.115-119.
15. Ковалев В. П. Измерение разности фаз. – Приборы и техника эксперимента.1958, №2, с.3-12.
16. Дерягин В. Р., Марасин Л. Е., Попов Ю. В. Малогабаритный импульсно-фазовый светодальномер ГДФИ-3 с цифровым выходом полупроводникового квантового генератора. – Оптико-механическая промышленность.1972, №3, с.23-27.
17. Bradsell R.H., Georan-I. A compact two-colour EDM instrument – «Surv. Rev.», 1976, N 179, 214-233.
18. Кузнецов М. М., Комбаров М. С. Система технического зрения // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 5, ч. 1. – С. 166–167.
19. Комбаров М. С., Кузнецов М. М. Перспективы развития оптико-электронных измерительных приборов на российском рынке // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 290–292.
20. Системы оптической локации технологического контроля интегральных схем: монография / М. Я. Воронин, И. Н. Карманов, М. М. Кузнецов, И. В. Лесных, А. В. Синельников; под общ. ред. М. Я. Воронина. – Новосибирск: СГГА, 2013. –239 с.

© А. А. Марач, М. М. Кузнецов, В. В. Коваленко, 2015

УДК: 623.541

МЕТОД ЗАКАНЧИВАНИЯ СКВАЖИНЫ

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Предложен новый метод заканчивания скважины, основанный на заносе активного вещества в скважину гиперкумулятивным зарядом.

Ключевые слова: гиперкумулятивная струя, химически активное вещество.

METHOD OF WELL COMPLETION

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

A new method of well completion based on the drift of the active substance into the well by hypercumulative charge.

Key words: a hypercumulative jet, chemically active substance.

При вскрытии продуктивных пластов в нефтяных и газовых скважинах существует проблема увеличения площади поверхности фильтрации и повышения проницаемости в зоне перфорационных каналов.

В технической литературе широко известен метод заканчивания скважин с помощью кумулятивных зарядов в обсадной колонне, цементном камне и окружающем продуктивном пласте. Формирование перфорационных каналов

происходит в результате воздействия на стенки и околоскважинную зону пласта кумулятивной струи, возникающей в результате взрыва заряда взрывчатого вещества (ВВ). Кумулятивный заряд перфоратора содержит оболочку с шашкой ВВ, в которой со стороны основания выполнена кумулятивная выемка, чаще всего конической формы, покрытая металлической облицовкой. На противоположном от основания торце шашки устанавливается детонатор [3]. В кумулятивную струю, которая собственно осуществляет пробитие преграды, переходит в среднем около 10-15% массы облицовки, а остальная ее часть формируется в пест не участвующий в процессе пробития.

К недостаткам метода заканчивания скважин, относится незначительные диаметр перфорируемого канала созданного кумулятивным зарядом перфоратора, его длина и возможность закупоривания его пестом, что снижает движение флюидов из пласта в скважину. Кроме того, кумулятивная струя, пробивая канал, производит уплотнение стенок образующегося канала, что снижает проницаемость пласта. Для восстановления проницаемости в зоне перфорационных каналов требуется проведение дополнительных мероприятий по воздействию на пласт.

Известен метод заканчивания скважины, включающий установку в обсадную колонну кумулятивного заряда и одновременно с ним – газогенерирующего заряда из твердого топлива с последующим их инициированием, выполнение перфорационного канала в обсадной колонне и окружающем продуктивном пласте и прирост площади его поверхности фильтрации. При этом инициирование газогенерирующего заряда производят кумулятивным зарядом, а прирост площади поверхности фильтрации продуктивного пласта осуществляют путем перемещения в перфорационный канал газа, образующегося при сгорании газогенерирующего заряда [1].

Преимуществом этого метода является увеличение площади поверхности канала за счет термического, газозерозионного и компрессионного воздействия газов, образующихся при сгорании газогенерирующего твердого топлива.

Недостатком метода является незначительные диаметр перфорируемого канала, его длины, недостаточное устранение уплотнения стенок образующихся перфорационных каналов по всей их длине.

Известен метод заканчивания скважины, включающий установку в обсадную колонну кумулятивного и газогенерирующего заряда из твердого топлива и кислотного реагента с последующим инициированием газогенерирующего заряда кумулятивным зарядом, выполнение перфорационного канала в обсадной колонне и окружающем продуктивном пласте и перемещение в перфорационный канал газа, образующегося при сгорании газогенерирующего заряда, и затем кислотного реагента [2].

Недостатком данного метода является незначительные диаметр перфорируемого канала, его длины, недостаточное устранение уплотнения стенок образующихся перфорационных каналов по всей их длине.

Известен метод заканчивания скважин, включающий установку в обсадную колонну кумулятивного и газогенерирующего заряда из твердого топлива,

совмещенного с источником кислотного реагента, с последующим инициированием газогенерирующего газогенерирующего заряда кумулятивным зарядом, выполнение перфорационного канала в обсадной колонне и окружающем продуктивном пласте, перемещение в перфорационный канал газа, образующегося при сгорании газогенерирующего заряда, и прирост поверхности фильтрации в окружающем перфорационный канал продуктивном пласте, при этом со стороны торца газогенерирующего заряда, обращенного к кумулятивному заряду, выполняют осесимметричную коническую выемку, при этом в качестве химически активного вещества газогенерирующего заряда может использоваться, для пластов, сложенных из карбонатных пород, смесь компонентов при их следующем соотношении, масс. %: перхлорат аммония 45-50, поливинилхлоридная хлорированная смола марки ПСХ-ЛС 50-55, для пластов, сложенных из терригенных пород, смесь компонентов при их следующем соотношении, масс. %: перхлорат аммония 34-35, фторопласт марки ФП-4 40-41, поливинилхлоридная хлорированная смола марки ПСХ-ЛС 24-25 (патент РФ № 2287667, МПК E21B43/117).

Химически активный элемент, способный при детонации совместно с продуктами детонации заряда ВВ генерировать плавиковую и соляную кислоты. Смесь плавиковой и соляной кислоты (глинокислота) в высокотемпературном и газообразном состоянии оказывает химическое воздействие на породу, увеличивая размеры перфорационного канала и пор.

К недостаткам способа заканчивания скважин с метаемым химически активным элементом относятся незначительные диаметр перфорируемого канала, его длина, невозможность занесения продуктов разложения химически активного элемента на всю глубину канала, что снижает движение флюидов из пласта в скважину, а также возможность закупоривания перфорационного канала пестом.

Наиболее близким прототипом является метод формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром известный кумулятивный заряд, который может быть использован для перфорации скважин [4-5], включающий инициирование бескорпусного или расположенного в корпусе заряда взрывчатого вещества цилиндрический, конический или иной формы, с расположенном в торце заряда с противоположной стороны инициирования заряда выемкой, облицованной металлом или иным инертным материалом, метание, ускорение и сжатие материала кумулятивной облицовки продуктами детонации взрывчатого вещества, его соударения на оси симметрии заряда и формирования кумулятивной струи, при этом в процессе метания и сжатия кумулятивной облицовки дополнительно воздействуют на кумулятивную облицовку за счет принудительного взаимодействия кумулятивной облицовки с одним или несколькими дополнительными телами, их соударения и скольжения частей материала кумулятивной облицовки относительно дополнительного тела с одновременным разворотом частей материала кумулятивной облицовки на угол схождения на ось симметрии заряда более 180 градусов и не превышающей 360 градусов, соуда-

рения частей материала кумулятивной облицовки на оси симметрии заряда под углом более 180 градусов и не превышающим 360 градусов с формированием кумулятивной струи, а дополнительное тело или несколько дополнительных тел выполняют в форме осесимметричной оболочки или системы осесимметричных оболочек, разделенных на разгонные промежутки, достаточные для их ускорения и достижения максимальной скорости метания, при этом дополнительное тело или несколько дополнительных тел размещают соосно с кумулятивной облицовкой на расстоянии от ее внешней поверхности, достаточным для ускорения до максимальных скоростей сжатия и метания материала кумулятивной облицовки, при этом дополнительное тело или несколько дополнительных тел изготавливают из материала с плотностью не более плотности материала кумулятивной облицовки, причем плотность материала дополнительных тел уменьшается с увеличением расстояния от внешней поверхности кумулятивной облицовки.

Достоинством способа является, большие диаметр перфорируемого канала и его длина, созданные кумулятивным зарядом перфоратора, что повышает движение флюидов из пласта в скважину.

Недостатком способа является то, что кумулятивная струя, пробивая канал, производит уплотнение стенок образующегося канала, что снижает проницаемость пласта. Для восстановления проницаемости в зоне перфорационных каналов требуется проведение дополнительных мероприятий по воздействию на пласт.

В предлагаемом изобретении решается задача увеличения продуктивности нефтяных скважин за счет повышения проницаемости стенок перфорационных каналов, способствующему приросту площади поверхности фильтрации продуктивного пласта.

Для решения поставленной задачи метод заканчивания скважин инициируют бескорпусной или расположенного в корпусе заряд взрывчатого вещества цилиндрической, конической или иной формы, с расположенном в торце заряда с противоположной стороны инициирования заряда выемкой, облицованной металлом или иным инертным материалом,-metaют, ускоряют и сжимают материал кумулятивной облицовки продуктами детонации взрывчатого вещества, его соударяют на оси симметрии заряда и формируют кумулятивную струю, при этом в процессе метания и сжатия кумулятивной облицовки дополнительно воздействуют на кумулятивную облицовку за счет принудительного взаимодействия кумулятивной облицовки с одним или несколькими дополнительными телами, их соударения и скольжения частей материала кумулятивной облицовки относительно дополнительного тела с одновременным разворотом частей материала кумулятивной облицовки на угол схождения на ось симметрии заряда более 180 градусов и не превышающей 360 градусов, соударения частей материала кумулятивной облицовки на оси симметрии заряда под углом более 180 градусов и не превышающим 360 градусов с формированием кумулятивной струи, а дополнительное тело или несколько дополнительных тел выполняют в форме осесимметричной оболочки или системы осесимметричных оболочек,

разделенных на разгонные промежутки, достаточные для их ускорения и достижения максимальной скорости метания, при этом дополнительное тело или несколько дополнительных тел размещают соосно с кумулятивной облицовкой на расстоянии от ее внешней поверхности, достаточным для ускорения до максимальных скоростей сжатия и метания материала кумулятивной облицовки, при этом дополнительное тело или несколько дополнительных тел изготавливают из материала с плотностью не более плотности материала кумулятивной облицовки, причем плотность материала дополнительных тел уменьшается с увеличением расстояния от внешней поверхности кумулятивной облицовки. При этом дополнительные тела выполняют из химически активного вещества, производят инициирование химически активного вещества дополнительного тела при его метании продуктами детонации взрывчатого вещества и взаимодействии с кумулятивной облицовкой, при этом кумулятивный заряд устанавливают в обсадную колонну, выполняют перфорационный канал в обсадной колонне и окружающем продуктивном пласте с одновременным занесением сформированной кумулятивной струей химически активного вещества и пророст поверхности фильтрации в окружающем перфорационный канал продуктивном пласте по всей его длине.

Для реализации предлагаемого метода используют устройство, представленное на рис. 1. На рис. 2 приведен последовательный процесс формирования кумулятивной струи в кумулятивном заряде и занос химически активного материала в перфорационный канал.

Устройство содержит 1 - инициатор, 2 – корпус кумулятивного заряда, 3 – заряд взрывчатого вещества с выемкой, 4 – дополнительное тело из химически активного вещества, 5 – кумулятивная облицовка. Устройство установлено в обсадную колонну 6 с окружающим ее цементным кольцом 7 и продуктивным пластом 8.

Предлагаемый метод с использованием варианта представленного устройства осуществляется следующим образом. В обсадную колонну 6 устанавливают кумулятивный заряд содержащий инициатор 1, корпус кумулятивного заряда 2, заряд взрывчатого вещества с выемкой 3, дополнительное тело из химически активного вещества, включающего твердое топливо 4 и кумулятивную облицовку 5. Производят инициирование кумулятивного заряда с помощью, например, электродетонатора.

Во взрывчатом веществе 3 формируется детонационная волна, которая метает и инициирует (воспламеняет) материал дополнительного тела 4. Дополнительное тело 4 соударяется с облицовкой 5 и передает ей дополнительный импульс. Дополнительное тело 4, совместно с разгонным промежутком между облицовками, может наиболее оптимально отбирать энергию от продуктов детонации ВВ и передавать импульс основной облицовке 5 и быть своеобразным «трансформатором» импульса и регулятором амплитуды и временем приложения его к основной облицовке 5.

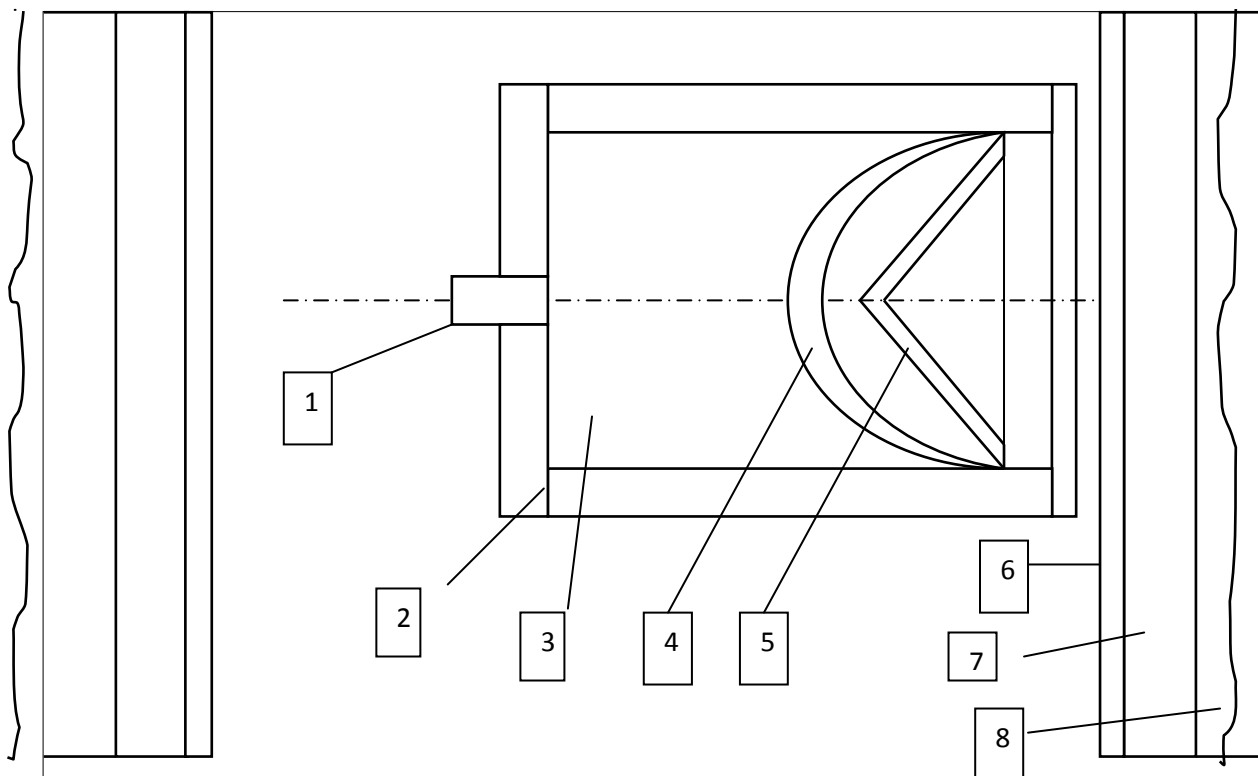


Рис. 1. Схема устройства по предлагаемому способу: 1 - инициатор, 2 – корпус кумулятивного заряда, 3 – заряд взрывчатого вещества с выемкой, 4 – дополнительное тело из химически активного вещества, 5 – кумулятивная облицовка. Устройство установлено в обсадную колонну 6 с окружающим ее цементным кольцом 7 и продуктивным пластом 8

Материал облицовки 5 схлопывается на оси симметрии заряда под углом более 180 градусов с формированием массивной высокоскоростной кумулятивной струей. Одновременно материал дополнительного тела 4 продолжает передавать свою энергию материалу облицовки 5 и перемещается вместе с кумулятивной струей. Этим самым увеличивается продолжительность и эффективность кумулятивного действия формирующейся кумулятивной струи, увеличивая ее скорость и длину, что ведет к увеличению диаметра и глубины перфорационного канала. Материал дополнительного тела заносится в перфорационный канал на всю глубину вместе с кумулятивной струей. Образовавшиеся в результате сгорания газа материала дополнительного тела в виде высокотемпературного потока химических реагентов химически и эрозионно взаимодействуют с уплотнением слоев стенок канала. Находясь под высоким давлением, газообразные и высокотемпературные кислотные реагенты проникают в окружающую перфорационный канал породу и путем химического взаимодействия с ней создают в пристеночных слоях канала разуплотнение слоя породы на всей длине перфорационного канала. Материал дополнительного тела может быть выбран, например, в соответствии с рекомендациями по патенту РФ № 2287667, плотность этого материала менее плотности материала облицовки.

На рис. 2 представлены последовательные этапы результатов вычислительного эксперимента по заносу вещества кумулятивной струей в перфорационный канал, созданный этой же кумулятивной струей. В кумулятивном заряде используется основная облицовка, выполненная из меди и дополнительное тело – облицовка из вещества, которое необходимо занести в перфорируемый объем.

Техническим результатом предлагаемого метода является увеличение продуктивности скважин за счет существенного прироста входного отверстия в обсадной колонне, перфорационного канала и поверхности фильтрации в окружающем канал продуктивном пласте на всю глубину канала, а так же разуплотнение стенок перфорационного канала.

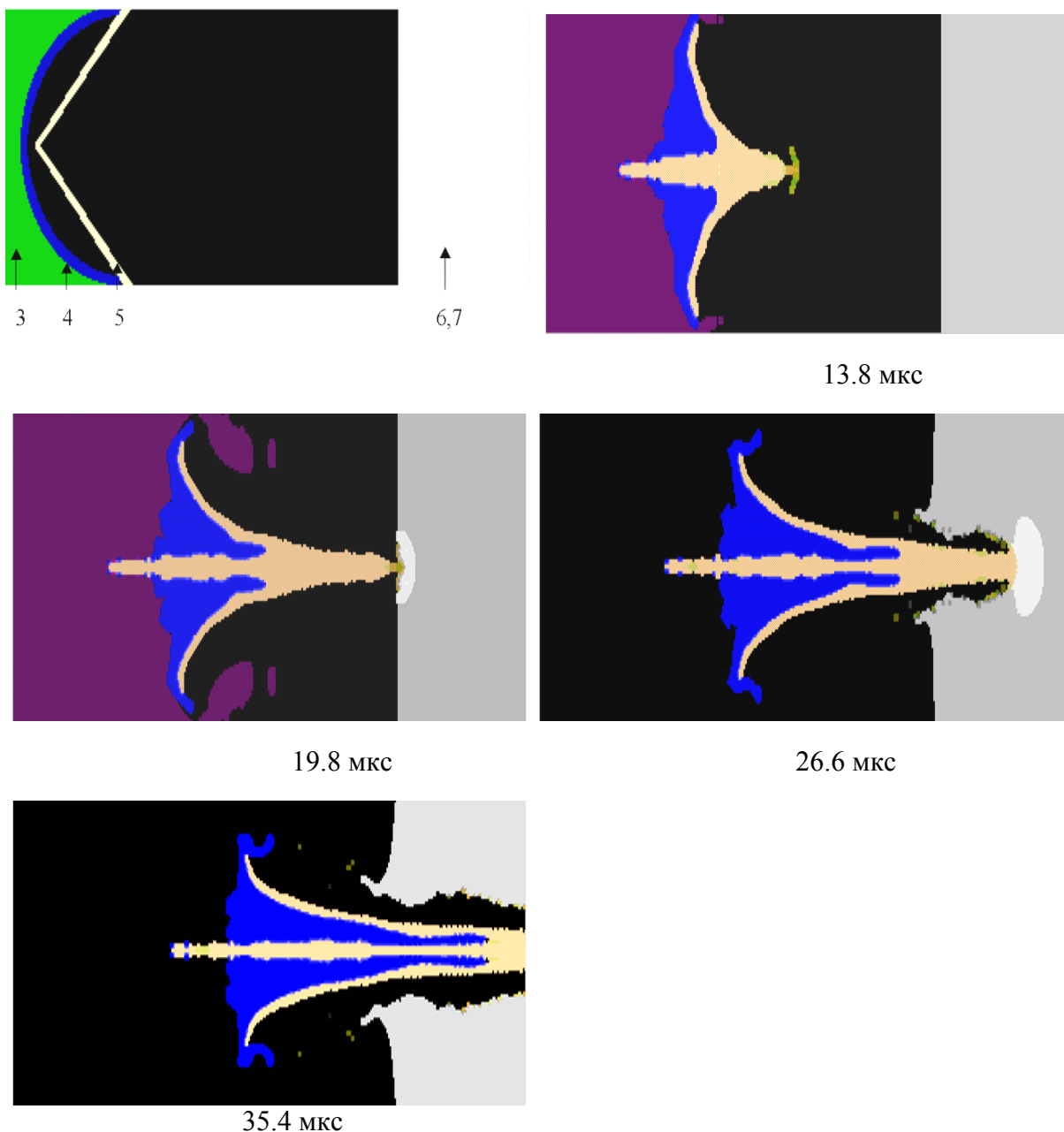


Рис. 2. Последовательные этапы результатов вычислительного эксперимента по заносу вещества кумулятивной струей в перфорационный канал

Работоспособность и эффективность метода оценивалась по известной методике определения характеристик канала, образуемого при действии устройства с кумулятивным зарядом с химически активным дополнительным телом и инертным дополнительным телом, в комбинированной мишени, имитирующей скважинные условия. Было получено, что заряд с дополнительным химически активным телом имеет диаметр перфорационного канала на всем протяжении канала больше на 20-25% и длину канала на 10-15%, по сравнению с кумулятивным зарядом с инертным дополнительным телом.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ №2119045, МПК E21B43/117
2. Патент РФ № 2138623, МПК E21B43/11, E21B43/117
3. Н. Г. Григорян и др. Прострелочные и взрывные работы в скважинах. – М.: Недра, 1972 г., с. 81-84
4. Патент РФ № 2412338, МПК E43/117, F42B1/02. Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром / Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В.; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5. – 46 с.
5. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ОБЪЕКТА ОБНАРУЖЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ФОНЕ ОТРАЖАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Андрей Геннадьевич Батури

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории;
НГТУ, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, соискатель, тел. (383)216-05-93,
e-mail: rock_@mail.ru

В статье приведен анализ информативных признаков, позволяющих оптоэлектронному датчику различить искомый объект и фоновую поверхность.

Ключевые слова: оптико-электронные устройства, обнаружение объектов, пространственная селекция, информативные признаки.

ANALYSIS OF INFORMATIVE FEATURES INHERED TO THE OBJECT LOCATED AGAINST BACKGROUND SURFACE

Andrey G. Baturin

Joint Stock Company «Research institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, head of laboratory; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Karl Marks, external PhD student, tel. (383)216-05-93, e-mail: rock_@mail.ru

This paper presents an analysis of informative features that allow discrimination of the object and the background surface by the optoelectronic sensor.

Key words: optical-electronic devices, object detection, spatial selection, informative features.

С точки зрения оптоэлектронного датчика (далее – ОД) различие между двумя отражающими объектами, один из которых является фоновой поверхностью, а другой обнаруживаемым объектом, выражается в отличии одного или нескольких физических признаков:

- отражательная способность объекта;
- размеры отражающего объекта;
- модуль вектора скорости движения отражающего объекта относительно ОД;
- направление вектора скорости движения отражающего объекта относительно ОД;
- расстояние до отражающего объекта.

На выбор используемых информативных признаков накладывают жёсткие ограничения условия применения системы обнаружения, ее малые габаритные размеры, требования по энергопотреблению и др. В ходе рассмотрения этих информативных признаков установлены их особенности, касающиеся их применения в системах обнаружения.

В решаемой задаче различие в отражательной способности фоновой поверхности и цели может отсутствовать, поскольку диапазон возможных коэф-

коэффициентов отражения фоновой поверхности лежит в диапазоне 0,1 – 0,9 (земля – снег), а сами коэффициенты отражения обнаруживаемого объекта и фоновой поверхности могут совпадать, что делает невозможным использование данного информативного признака. Кроме того, определение отражательных свойств поверхности требует наличия априорной информации о дальности до неё [1].

Использование различия в размерах обнаруживаемого объекта и фоновой поверхности также практически невозможно без наличия дополнительной информации. Это связано с тем, что обнаруживаемый объект располагается на фоне какой-либо поверхности. В этом случае сигнал принимается либо от одного из отражающих объектов (дискретно-лучевые ОД или большие угловые размеры обнаруживаемого объекта в дискретно-веерных ОД), либо от обоих отражающих объектов одновременно (дискретно-веерные ОД).

Различия в модуле и направлении вектора скорости движения обнаруживаемого объекта и фоновой поверхности относительно ОД позволяют с высокой достоверностью отсементировать объект на фоне поверхности в большинстве случаев, за исключением ситуации, в которой обнаруживаемый объект неподвижен относительно фоновой поверхности. Несмотря на то, что лазерные доплеровские измерители скорости [2] давно известны, практическая реализация ОД с непосредственным измерением скорости движения отражающего объекта относительно ОД сопряжена со значительными трудностями. Это связано с тем, что выделение доплеровского сдвига частоты оптической несущей требует высокой пространственной когерентности лазерного излучения, отсутствующей у полупроводниковых лазеров из-за малой длины резонатора и, как следствие, многомодового режима его работы. Более того, мощные лазерные излучатели представляют собой матрицу из нескольких независимых лазерных диодов, что исключает возможность использования свойств когерентности лазерного излучения. Модуляция непрерывного лазерного излучения высокочастотным колебанием (единицы – десятки ГГц), на котором также будет наблюдаться доплеровский сдвиг частоты, успешно решена в волоконно-оптических линиях связи. В то же время высокочастотная модуляция мощных лазерных излучателей, применяемых в ОД, также сопряжена со значительными трудностями, что связано с высоким значением тока накачки лазерного диода. Системы, работающие по принципу измерения скорости по изменению дальности [3], непригодны из-за низкого быстродействия и возможности измерения только скорости сближения. По причине невозможности селекции неподвижного относительно фоновой поверхности объекта, а также из-за сложности построения оптоэлектронной ОД с непосредственным измерением скорости, использование в качестве информативного признака скорости движения обнаруживаемого объекта и фоновой поверхности нецелесообразно.

Использование расстояния до отражающей поверхности позволяет отсементировать объект на фоне отражающей поверхности при наличии у ОД информации о текущей дальности до объекта, а также априорной информации о расстоянии до фоновой поверхности. При этом минимально разрешимая ОД

разница расстояний должна быть меньше расстояния между обнаруживаемым объектом и фоновой поверхностью. Также в дискретно-веерных ОД дополнительным информативным признаком наличия малоразмерного объекта на фоне фоновой поверхности служат различающиеся расстояния до отражающей поверхности по ширине диаграммы чувствительности. Рациональным представляется построение таких ОД с использованием амплитудно-базового метода обнаружения. Особенности применения этого метода для решения данной задачи изложены в [4].

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В оптоэлектронных датчиках предпочтительным является использование расстояния до отражающей поверхности в качестве информативного признака объекта, расположенного на фоне поверхности.
2. Рационально осуществлять селекцию объекта на фоне поверхности с помощью амплитудно-базового метода обнаружения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Novotny P.M., Ferrier N.J. Using infrared sensors and the Phong illumination model to measure distances // Robotics and Automation, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference on. - IEEE. 1999. Vol. 2. pp. 1644-1649.
2. Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники. - 2-е изд., перераб. и доп. К.: Выща шк. Головное издательство, 1988. - 383 с.
3. Абазадзе Ю.В., Лицарев Н.А., Почтарев В.Л., Пашков В.А., Хачиев А.Ю., Казаков А.А., Коваль Ю.П., Симаков В.А., Неуструева В.Н., Егорова Г.С., Залевский И.Д., Бородкин А.А., Сапожников С.М. Особенности построения лазерного измерителя скорости и дальности ЛИСД-2М // Квантовая электроника. 2002. Т. 32. № 3. С. 247-250.
4. Батури́н А.Г. Применение амплитудно-базового метода обнаружения в оптоэлектронных датчиках // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 223–227.

© А. Г. Батури́н, 2015

УДК: 623.541

МЕТОД СОЗДАНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ АНТЕННЫ

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Предложен новый принцип формирования импульсной плазменной антенны на основе применения гиперкумулятивных зарядов.

Ключевые слова: гиперкумулятивный заряд, плазма, антенна.

METHOD OF CREATION OF THE PULSE PLASMA ANTENNAS

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

The new principle of the pulse plasma antennas formation on the basis of application of hypercumulative charges is offered.

Key words: a hypercumulative charge, plasma, antennas.

Известен метод создания плазменных антенн и устройство для его осуществления [1], заключающийся в формировании в ионосфере плазменного столба путем возбуждения плазменно-волнового высокочастотного разряда с формированием ускоряющего поля в ускоряющем промежутке, к которому прикладывают импульсное высоковольтное напряжение. Недостатками этого метода являются небольшие размеры искусственной апертуры, создаваемой в атмосфере

Земли и следовательно, степень сужения диаграммы направленности антенны оказывается незначительной.

Известен метод создания плазменной антенны [2], основанный на использовании лазерного излучения, в котором излучающим элементом является ионизированный столб воздуха, создаваемый лазерным лучом и аналогичный излучающему металлическому стержню. Метод включает следующие операции: формирование импульса лазерного излучения, формирование ионизированного воздушного канала и одновременно формирование радиоимпульса, излучение радиоимпульса вдоль ионизированного канала, распространение радиоимпульса вдоль ионизированного канала и формирование диаграммы направленности антенны. Недостатками описанного метода являются большие энергозатраты на формирование ионизированного канала, которые получаются из-за необходимости создания и воздушном канале избыточной ионизации, так как в связи с небольшим временем релаксации ионизированный канал сравнительно быстро (единицы, десятки микросекунд) нейтрализуется, малая длина формируемой плазменной антенны, большие габариты устройства реализующего способ.

Известен метод создания импульсной плазменной антенны [3]. Метод создания импульсной плазменной антенны в окружающем пространстве, включает внесение в заряд взрывчатого вещества (ВВ) легкоионизирующих добавок, например, Mg, Li, $CzNO_3$ и др., размещения заряда ВВ в камере сгорания, инициирования заряда ВВ (пиропатрона), формирования плазменного образования из продуктов детонации ВВ в камере сгорания, дальнейшего истечения плазмы через сопло Лавалля в окружающее пространство с формированием рабочего тела плазменной антенны (плазменной струи). Недостатками способа являются малая скорость постановки плазменной антенны – около 600 м/с и малая длина формируемой антенны, около 0.6-0.8 м.

Известен метод создания импульсной плазменной антенны [4], включающий облицовку металлокерамическим материалом, содержащего щелочные металлы или их соединения внутренней поверхности выемки в заряде взрывчатого вещества, инициирование заряда взрывчатого вещества со стороны противоположной выемки и метание частичек металлокерамического материала в окружающее пространство со скоростью достаточной для ионизации ионизируемого материала при их движении в атмосфере с формированием плазменной антенны. Недостатком метода является малая длина формируемой плазменной антенны, обусловленная быстрым торможением ионизируемых легких частичек металлокерамического материала в атмосфере воздуха и прекращением их ионизации. Длина плазменной антенны не превышает единиц метров.

Целью работы является достижение технического результата – дальнейшее увеличение длины формируемой импульсной плазменной антенны [5].

Поставленная задача достигается тем что, в известном методе импульсной плазменной антенны в окружающем пространстве, включающем облицовку внутренней поверхности выемки в заряде взрывчатого вещества, инициирования заряда взрывчатого вещества со стороны противоположной выемки и метания материала облицовки в окружающее пространство со скоростью достаточ-

ной для ионизации ионизируемого материала при его движении в атмосфере с формированием плазменной антенны, согласно изобретению, облицовка выполняется преимущественно из легких металлов, например, алюминия или алюминиевых сплавов, сжимается продуктами детонации на ось симметрии заряда с формированием массивного компактного безградиентного или малоградиентного кумулятивного тела в окружающем пространстве, взаимодействия тела при его полете с атмосферой с формированием ударной волны и спутного следа, термической ионизацией воздуха, нагревом материала поверхности тела, его разрушением и поступлением в спутный след, при этом плазменная антенна формируется за высокоскоростным телом из ионизированного воздуха и ионизированных продуктов разрушения кумулятивного тела [5].

Выбирая материал кумулятивной облицовки и форму заряда можно изменять форму и скорость метаемого компактного безградиентного или малоградиентного тела, а так же скорость разрушения поверхности (эрозии и абляции) поверхности тела и массу ионизируемого материала поступающего в спутный след, тем самым изменяя пространственные и временные характеристики формируемого плазменного образования. Большая масса компактного безградиентного или малоградиентного тела уменьшает потерю скорости при его торможении в воздухе, тем самым увеличивая длину плазменной антенны. Высокая скорость полета тела по сравнению со скоростью движения плазменного образования (спутного следа) позволяет быстро создавать плазменную антенну значительной длины, например, длиной несколько десятков или сотен метров, что расширяет диапазон рабочих длин волн антенны.

При инициировании заряда взрывчатого вещества с выемкой с металлической облицовкой, выполненной преимущественно из алюминия или алюминиевых сплавов, продукты детонации сжимают облицовку. Материал облицовки соударяется на оси заряда с формированием массивного компактного безградиентного или малоградиентного тела. Массивное компактное тело при полете в атмосфере меньше теряет свою скорость, чем поток легких частичек и может пролетать на расстояние равное в несколько тысяч диаметров заряда взрывчатого вещества. Так как градиент скорости в материале тела мал или отсутствует, то в полете тело не меняет свою форму и не разрушается на несколько частей. При тела движении в атмосфере возникает ударная волна и спутный след, при этом температура газа на фронте ударной волны может достигать несколько тысяч градусов при давлении несколько десятков или сотен атмосфер. В таких условиях газ в спутном следе и на фронте ударной волны ионизируется. Материал поверхности тела, взаимодействуя с набегающим потоком газа, нагревается и сносится в спутный след, где продукты разрушения материала тела ионизируются. Как показали наши экспериментальные исследования механизм разрушения поверхности тела происходит в виде эрозии.

Массивное компактное безградиентное или малоградиентное тело, создающее при движении со скоростью достаточной для ионизации ионизируемого материала при движении в атмосфере может быть реализовано, например, в виде кумулятивных зарядов [6- 8].

Таким образом, предлагаемый метод создания импульсной плазменной антенны в окружающем пространстве позволяет, в отличие от многих методов создания импульсных плазменных антенн, осуществить создание антенны протяженностью составляющей десятки и сотни метров, что больше в 10-20 раз, чем в известных способах.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 1786969.
2. Патент США №3404403, 343-700, 1968 г.
3. А.Х. Аджиев, В.А. Сошенко, О.В. Сытник, А.С. Тищенко. Аппаратура и экспериментальные исследования взрывных плазменных антенн // ЖТФ, 2007, т. 77, вып. 6, с. 88-92.
4. US Patent 2007/0263759, Plasma antenna Generator and method of using same.
5. Положительное решение по заявке № 2013145333 от 8.12.2014. Способ создания импульсной плазменной антенны.
6. Yu. A. Vedernikov. Dynamics and control of impact cumulative systems in the free space of the Earth // 6th Cranfield Conf. On Dynamics and Control of Systems and Structures in Space, Riomaggiore, Cingue Perre, Italy, Yule 18-22, 2004, p. 7-22.
7. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.
8. Минин И.В., Минин О.В. Кумулятивные заряды. – Новосибирск, СГГА, 2013. – 199 с.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

ГЕНЕРАЦИЯ ШИРОПОЛОСНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЗОНАНСНЫХ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Сергей Львович Микерин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматики и электрометрии» СО РАН, 630090, Россия г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (383)330-66-55, e-mail: mikerinsl@iae.sbras.ru

Александр Иванович Плеханов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматики и электрометрии» СО РАН, 630090, Россия г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, доктор физико-математических наук, зав. лабораторией, тел. (383)333-31-74, e-mail: fractal@iae.nsk.su

Андрей Эдуардович Симанчук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт автоматики и электрометрии» СО РАН, 630090, Россия г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 1, младший научный сотрудник, тел. (383)333-31-74, e-mail: simmk@yandex.ru

Александр Вадимович Якиманский

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт высокомолекулярных соединений» РАН, 199004, Россия, г. Санкт-Петербург, В. О. Большой пр. 31, доктор химических наук, зав. лабораторией, тел. (812)323-50-25, e-mail: yak@hq.macro.ru

Методами когерентной спектроскопии исследованы спектры пропускания и дисперсия показателя преломления образцов полиимидных пленок на основе 1,3-бис-(3,4-дикарбоксифеноксифенокси)бензен диангирида и 3,3'-дигидрокси-4,4'-диаминодифенилметана с ковалентным присоединением молекул хромофора DR-13 в диапазоне частот 0,5–2,6 ТГц. Осуществлено ориентирование полимерной композиции вдоль поверхности с помощью накладных электродов предложенной конфигурации. Приобретенная квадратичная нелинейность не уступает нелинейности контрольных образцов, ориентированных по нормали методом коронного разряда. Методом оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в продольно поляризованной полиимидной пленке толщиной менее 1 мкм получена генерация коротких (несколько колебаний поля) терагерцевых импульсов с амплитудой в 2,5 раза меньше, чем в кристалле ZnTe толщиной 500 мкм, и шириной спектра, ограниченного только длительностью импульса накачки. Исследованная полимерная композиция перспективна для создания в когерентных спектрометрах источников импульсного широкополосного терагерцевого излучения.

Ключевые слова: когерентная терагерцевая спектроскопия, электрооптические полимеры, полиимиды.

A BROADBAND TERAHERTZ RADIATION FROM A RESONANT POLED ORGANIC MEDIA

Sergey L. Mikerin

Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Russia, Novosibirsk, Academician Koptug ave. 1, Ph. D., scientific fellow, tel. (383)330-66-55, e-mail: mikerinsl@iae.sbras.ru

Alexander I. Plekhanov

Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Russia, Novosibirsk, Academician Koptug ave. 1, Ph. D., D. Sc., Laboratory Head, tel. (383)333-31-74, e-mail: fractal@iae.nsk.su

Andrey E. Simanchuk

Institute of Automation and Electrometry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 630090, Russia, Novosibirsk, Academician Koptug ave. 1, junior researcher, tel. (383)333-31-74, e-mail: simmk@yandex.ru

Alexander V. Yakimansky

Institute of Macromolecular Compounds, Russian Academy of Sciences, 199004, Russia, Saint-Petersburg, Bolshoy pr. 31, D. Sc., Laboratory Head, tel. (812)323-50-25, e-mail: yak@hq.macro.ru

The transmittance spectra and the refractive index dispersion of polyimides films based on 1,3-bis-(3,4-dicarboxyphenoxy)benzene dianhydride and 3,3'-dihydroxy-4,4'-diaminodiphenylmethane etherified by commercial chromophore DR-13 were measured by methods of a coherent spectroscopy within the 0,5–2,6 THz frequency range. A polarization of the samples along the film (in-plane) was produced using a proposed configuration of external electrodes. Induced quadratic nonlinearity of the samples is not inferior to a control samples which were polarized along a normal by a corona discharge method. A short terahertz pulses (a few oscillation period) was obtained in the in-plane polarized polyimide film less than 1 mcm of thickness by optical rectification of femtosecond laser pulses. Amplitude of the terahertz pulses was 2.5 times less than pulses from ZnTe crystal of 500 mcm thick. The spectral band was restricted by the pumping pulse duration only. The polymer compound was investigated is perspective for producing a sources of a broadband terahertz pulsed radiation in a coherent spectrometers.

Key words: coherent terahertz spectroscopy, electro-optical polymers, polyimides.

Введение. Уникальные возможности для спектроскопии терагерцового диапазона дает относительно новый класс приборов – когерентные спектрометры, которые по принципу получения спектроскопической информации о веществе являются амплитудными фурье-спектрометрами [1]. Когерентные спектрометры основаны на использовании сверхкоротких импульсов света, которые используют как накачку для генерации терагерцового излучения. Терагерцовые импульсы направляют в исследуемое вещество, а затем «сканируют» стробоскопическим способом (optical sampling) форму колебаний электрического поля в них $E_{\text{THz}}(t)$ при помощи детектора и тех же сверхкоротких импульсов света от лазера. Применяя комплексное преобразование Фурье к измеренной зависимости электрического поля от времени получают комплексный спектр импульса, содержащий частотную зависимость амплитуды и фазы составляющих его колебаний:

$$E_{\text{THz}}(f) = \int_0^T E_{\text{THz}}(t)e^{-2\pi ift} dt,$$

где f – частота, а T – период сканирования. Отношение комплексных амплитудных спектров импульсов до и после образца позволяет получить спектры поглощения (или отражения) исследуемого вещества и частотный спектр его показателя преломления в пределах спектральной полосы импульсов.

Для генерации терагерцовых импульсов используют, например, эффект оптического выпрямления колебаний поля излучения накачки [2, 3]. Под действием импульсного возбуждения в оптически нелинейной среде возникает напряженность электрического поля, пропорциональная интенсивности излучения накачки. Этот однополярный всплеск электрического поля повторяет огибающую интенсивности импульса накачки и распространяется в среде как широкополосный терагерцовый импульс $E_{\text{THz}}(t)$. Широко распространено применение нелинейных кристаллов ZnTe [2]. В последнее десятилетие вызывают интерес успехи в создании полимерных материалов с приобретенными электрооптическими свойствами [5]. В полимерах возможно достижение на порядок более высоких значений коэффициента квадратичной оптической нелинейности по сравнению с кристаллическими материалами [5]. Электрооптические полимеры аморфны, поэтому в них отсутствует решеточное поглощение, и они дают больше гибкости для согласования терагерцовой и оптической волн, что дает преимущества в различных приложениях [6, 7], в частности в спектроскопии, где важна ширина и непрерывность спектрального рабочего диапазона.

Основой электрооптических полимеров являются молекулы хромофора (органического красителя), обладающие большим дипольным моментом в основном состоянии. Молекулы полимерной матрицы и хромофора могут быть механически смешаны (система guest-host [8, 9]) или ковалентно соединены (например, присоединение ковалентной связью молекул хромофора к боковым цепям полимера [10]). Дипольные моменты молекул хромофора ориентируют в одном направлении, для чего образец нагревают приблизительно до температуры стеклования, когда подвижность молекул хромофора (или молекул полимерно-хромофорного комплекса) существенно повышается, и прикладывают внешнее электрическое поле, которое удерживают до последующего полного остывания образца. В результате композиция становится нецентросимметричной, приобретая нелинейные оптические свойства второго, в частности, порядка, и становятся возможными генерация второй гармоники, оптическое выпрямление, электрооптический эффект.

По принципу образования полимерной композиции ее механические, теплофизические и электрические свойства в основном определяет полимерная матрица, а хромофор – оптические и нелинейно-оптические характеристики. В частности, близость полосы поглощения (резонанс) к длине волны излучения накачки существенно повышает нелинейный отклик композиции. Поиск композиций химически совместимых хромофоров и полимерной матрицы, дающих наиболее высокий нелинейный отклик, устойчивый при рабочих и повышенных температурах и при этом обладающих подходящими механическими и другими характеристиками – актуальная комплексная задача на стыке химии полимеров, органических красителей и оптики.

Смешивание красителей возможно со многими полимерами; часто используют аморфный поликарбонат (amorphous polycarbonate, APC) и полиметилметакрилат (polymethylmethacrylate, PMMA) [9, 11]. Большой интерес для использования в качестве матрицы представляют полимеры класса полиимидов, одной

из особенностей которых является более высокое значение температуры стеклования (180-300 °С для разных соединений) по сравнению с другими полимерами. Это дает увеличение периода релаксации нелинейных свойств из-за теплового разупорядочения хромофорных групп. Также, известно, что полиимиды обладают хорошими пленкообразующими свойствами, низкими оптическими потерями и возможностью направленного синтеза [12].

Ранее методом генерации второй гармоники исследовалась квадратичная оптическая нелинейность и ее стабильность для композиций некоторых полиимидов и хромофоров в системе guest-host [13] и с ковалентным присоединением [10, 12, 14]. В данной работе сообщается об оптических свойствах в терагерцовом диапазоне полиимидных пленок на основе 3,3'-дигидрокси-4,4'-диаминодифенилметан диамина и 1,3-бис-(3,4-дикарбоксифеноксид)бензен диангирида с ковалентно присоединенными группами красителя DR-13 и о генерации в них терагерцовых импульсов методом оптического выпрямления.

Экспериментальная установка и образцы электрооптического полимера. Использовался когерентный терагерцовый спектрометр, описанный в [15], на основе фемтосекундного титан-сапфирового лазера и кристаллов ZnTe толщиной 0,5 мм. Длительность лазерных импульсов составляла приблизительно 70 фс при частоте следования 110 МГц и средней мощности 200 мВт; центральная длина волны 760 нм. Рабочий диапазон спектрометра составляет 0,5-2,5 ТГц при спектральном разрешении ≈ 9 ГГц. Пороговая чувствительность к напряженности терагерцового поля лучше 0,1 В/см.

Исследовались полимерные композиции, синтезированные и отобранные ранее [12, 16, 10] с ковалентно присоединенными азокхромофорами DR-1 и DR-13: а) А1+Д1+DR-13, б) А2+Д2+DR-1, в) А1+Д2(80%)+Д3(20%)+DR-13 (табл.). Структурные формулы результирующих соединений показаны на рис. 1.

Таблица

Диамины и ангириды, составляющие композиции

Обозначение	Химическое название
А1	1,3-бис-(3,4-дикарбоксифеноксид)бензен диангирид
А2	4,4'-(4,4'-изопропилиден-дифеноксид)бис-фталевый ангирид
Д1	3,3'-дигидрокси-4,4'-диаминодифенилметан
Д2	3,5-диаминбензойковая кислота
Д3	4,4'-диаминтрифениламин

Растворы полимерных композиций в циклогексаноне наносились на стеклянные подложки методом центрифугирования (spin coating), сушки и запекания [12]. Толщины пленок не превышали 1 мкм. Были изготовлены по несколько образцов из каждой композиции. В части образцов из каждой группы ориентирование создавалось по нормали к пленке традиционным методом коронного разряда [12]. Ориентирование в остальных образцах производилось вдоль поверхности пленки с помощью накладных электродов разработанной нами кон-

струкции. Образцы, ориентированные в коронном разряде, использовались как контрольные при сравнении нелинейного отклика методом генерации второй гармоники в установке, описанной в [10].

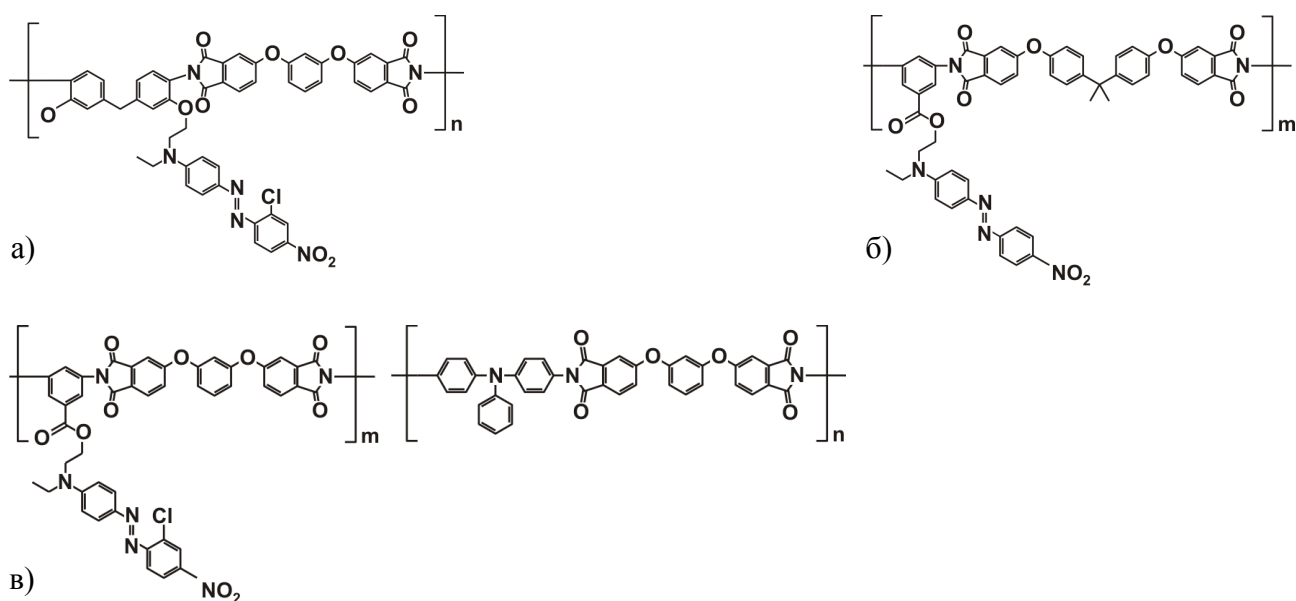


Рис. 1. Структурные формулы полимерных композиций

Результаты и обсуждения. Конфигурация накладных электродов была выбрана в результате численного моделирования распределения напряженности электрического поля в межэлектродном зазоре методом конечных элементов (программа EStat_Edu 7.0 Field Precision). В модели учитывалось возникновение проводимости в полимере и в подложке при нагреве. Хорошее согласие результатов контрольного моделирования, проведенного в соответствующих условиях, с расчетами [17] повышает достоверность проведенных расчетов.

Выбранная система электродов представляет собой по существу плоский конденсатор с поперечным разрезом, в которой помещен образец. Электроды прижимались к образцу через изолирующую пленку полиэтилентерефталата толщиной 15 мкм, позволившей снизить ток в цепи и устранить разрушение полиимидной пленки. При межэлектродном зазоре 3 мм и напряжении на электродах 1610 В расчетная напряженность поля в образце составляла от 0,2 В/мкм (в середине) до 1,5 В/мкм (вблизи электродов), ток в цепи не превышал 10 мкА при температуре нагрева 180 °С. Образцы удерживались под напряжением до 3,5 ч (вместе с периодом охлаждения).

Сравнение методом генерации второй гармоники показало, что наибольшая квадратичная нелинейность достигалась в образцах с композицией а), и они не уступали лучшим контрольным образцам. Это связано с максимальной близостью температуры стеклования данной композиции к температуре нагрева при ориентировании (последняя была максимально возможной при допустимом уровне разложения красителя).

Энергетические спектры пропускания образцов в терагерцовом диапазоне были получены как квадрат отношения Фурье-образов импульсов, измеренных с помощью терагерцового спектрометра после прохождения сначала подложки с полимерной пленкой, затем – только подложки на свободном участке. Регистрация могла быть осуществлена для образцов, приготовленных на покровных стеклах (толщина $\sim 0,1$ мм), из-за заметного поглощения терагерцовых импульсов в стекле. Идентичность полученных спектров в ориентированной и неориентированной области образца показывает, что в процессе приготовления образца в композиции в ориентированной области не происходит химико-физических изменений, заметно влияющих на ее свойства в терагерцовом режиме.

Частотные зависимости показателя преломления и поглощения были получены из амплитудных комплексных спектров терагерцовых импульсов, прошедших сквозь фрагмент полимерной пленки, отслоенной от подложки (рис. 2).

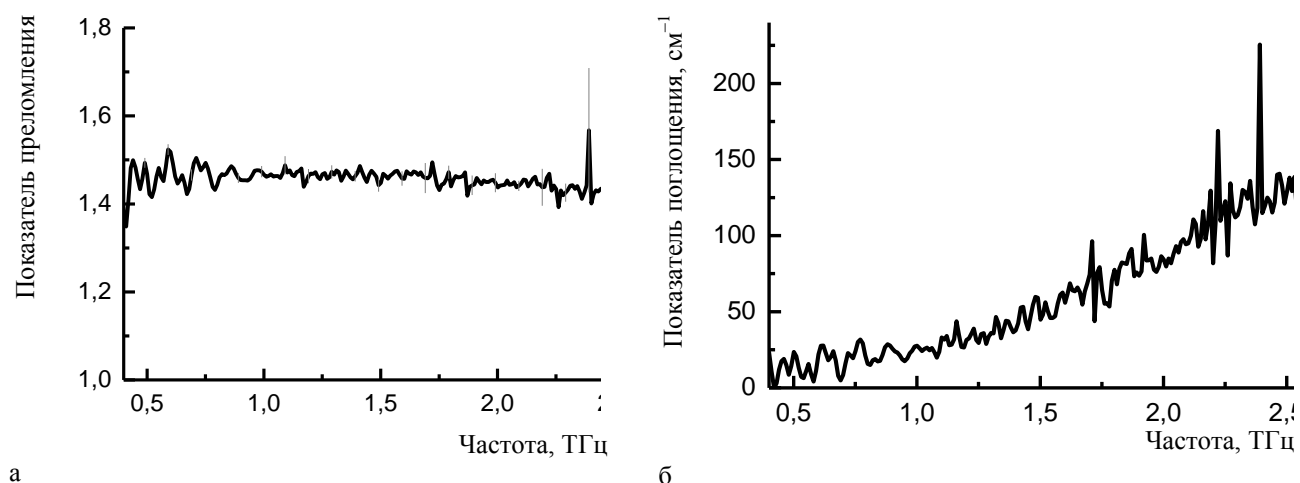


Рис. 2. Показатель преломления (а) и поглощение (б) полимерной пленки композиции а) в терагерцовой области спектра

В терагерцовом спектрометре кристалл ZnTe заменяли образцом с композицией а) так, чтобы пучок накачки падал со стороны подложки под углом, близким к нормали, и направление ориентации в пленке было параллельно плоскости поляризации лазерного излучения. При таких условиях были получены ТГц импульсы наибольшей амплитуды. Существенно отметить, что полимерная пленка не разрушалась под действием излучения накачки при наибольшей плотности средней мощности (в фокальном пятне) $\sim 1,5$ кВт/см², чему способствует низкое поглощение красителя DR-13 на частоте накачки [10]. Для сравнения: в работе [11] образцы на основе аморфного поликарбоната с красителем DCDHF-6-V разрушались при плотности средней мощности ~ 2 Вт/см². На рис. 3 приведены терагерцовый импульс и спектр его мощности, усредненные по трем реализациям (в качестве детектора использовался кристалл ZnTe толщиной 0,5 мм). Уровень шума определялся как средний квадрат амплитуды в спектре шумового сигнала, записанного при перекрытом терагерцовом пучке

в тех же условиях. При различии толщин кристалла ZnTe и образца пленки, которым его заменяли, на 2 порядка величины амплитуда импульса от пленки всего в 2-2,5 раза меньше (основная мощность импульса от ZnTe заключена в затухающей части).

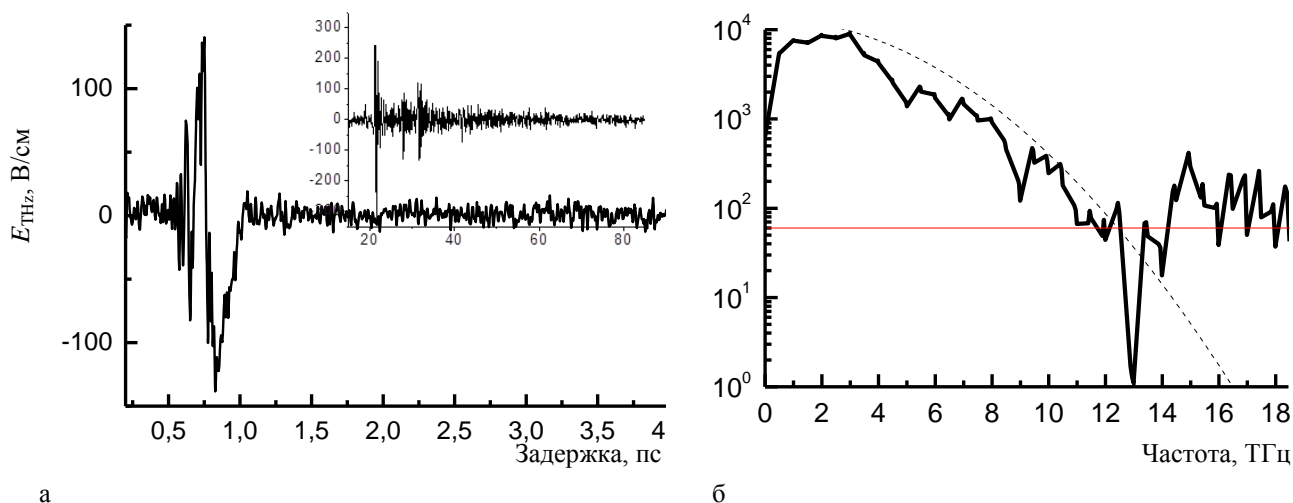


Рис. 3. Терагерцовый импульс (а: во врезке импульс, полученный в ZnTe) и спектр мощности (б: красная линия показывает уровень шума, пунктир – спектр огибающей импульса накачки), полученные в пленках типа а)

Из рис. 2, а видно, что показатель преломления в диапазоне частот от 0,8 до 2,6 ТГц равен примерно 1,45 и отклоняется приблизительно на 0,02. Слабая дисперсия способствует сохранению в композиции а) фазовых соотношений между накачкой и генерацией в широкой спектральной полосе. По данным [10] в области длин волн 780 нм пленки композиции а) обладают показателем преломления 1,71 и дисперсией $\Delta n/\Delta \lambda \sim -2,5 \cdot 10^{-4} \text{ нм}^{-1}$. Таким образом, групповой показатель преломления для импульса накачки $n_{gr} = n(\lambda) - \lambda \cdot \Delta n/\Delta \lambda \approx 1,86$, что означает, что терагерцовое излучение обгоняет порождающий его импульс накачки. Частота, при которой кривая дисперсии пересекает значение n_{gr} , и где реализуется синхронизм и накопление энергии по черенковскому механизму, лежит выше 2,6 ТГц. На рис. 3, б пунктиром показан спектр мощности огибающей интенсивности импульса накачки длительностью 70 фс, нормированный на максимум в спектре терагерцового импульса. Видно, что спектр терагерцового импульса хорошо аппроксимируется спектральной кривой нелинейного источника, учитывая полосы поглощения в ZnTe и в атмосферных парах воды. Это означает, что частота синхронизма лежит выше 10 ТГц, а генерация терагерцового излучения происходит в максимально широкой полосе за счет переходного излучения, рождающегося при входе импульса накачки в пленку.

Заключение. Исследованы частотные зависимости энергетических и оптических свойств образцов полиимидных пленок с ковалентным присоединением молекул красителя DR-13 в диапазоне частот 0,5-2,6 ТГц. Осуществлено ориентирование полимерной композиции вдоль поверхности с помощью накладных электродов предложенной конфигурации. Приобретенная квадратич-

ная нелинейность не уступает нелинейности контрольных образцов, ориентированных по нормали методом коронного разряда. Показано, что образцы не обладают выраженными полосами поглощения в рабочем диапазоне частот, а также что процесс приготовления образцов не влияет на спектральные характеристики. Методом оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в продольно поляризованном образце данной композиции толщиной менее 1 мкм получена генерация коротких (несколько колебаний поля) терагерцовых импульсов с амплитудой в 2,5 раза меньше, чем в кристалле ZnTe толщиной 500 мкм. Форма терагерцового импульса, ширина и форма его спектра хорошо согласуется с представлением об отсутствии синхронизма и о режиме генерации терагерцовых импульсов как переходного излучения. Исследованная полимерная композиция перспективна для создания источников в когерентных спектрометрах с одним периодом колебаний терагерцового поля: как из-за увеличения ширины рабочего спектрального диапазона без провалов, так и из-за повышения пространственного разрешения в ближнепольной терагерцовой спектроскопии за счет малой длины волны высокочастотной части (~ 10 мкм).

Работа частично поддержана грантом РФФИ 14-29-08134 и Программой президиума РАН № 1. Авторы выражают благодарность Н. А. Николаеву и А. А. Мамрашеву за помощь в проведении измерений, В. Д. Угожаеву за полезные обсуждения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белл Р. Дж. Введение в фурье-спектроскопию. – М.: Мир, 1975. – 380 С. – Гл. 8.
2. Zhang X.-C., Xu J. Introduction to THz wave photonics. – Springer, 2010. – 246 P. – Ch. 2.
3. Анцыгин В. Д., Мамрашев А. А., Николаев Н. А. и др. Малогабаритный терагерцовый спектрометр с использованием второй гармоники фемтосекундного волоконного лазера // *Автометрия*. – 2010. – Т. 46, № 3. – С. 110–117.
4. Анцыгин В. Д., Николаев Н. А. Об эффективности генерации терагерцового излучения в кристаллах GaAs, InAs и InSb // *Автометрия*. – 2011. – Т. 47, № 4. – С. 23–30.
5. Dalton L. R., Sullivan P. A., Bale D. H. Electric field poled organic electro-optic materials: state of the art and future prospects // *Chem. Rev.* – 2010. – V. 110, No.1. – P. 25-55.
6. Zhang Y., Tian H., Yang D., Liu H-Z., Liu Y., Ji Y. Ultra-compact low-voltage and slow-light MZI electro-optic modulator based on monolithically integrated photonic crystal // *Opt. Comms.* – 2014. – V. 315. – P. 138-146.
7. Zheng X., McLaughlin C. V., Cunningham P., Hayden L. M. Organic broadband terahertz sources and sensors // *J. Nanoelectronics and Optoelectronics*. – 2007. – V. 2. – P. 1-9.
8. Hayden L. M., Sinyukov A. M., Leahy M. R., French J., Lindahl P., Herman W. N., Tweig R., He M. New materials for optical rectification and electrooptic sampling of ultrashort pulses in the terahertz regime // *J. Polymer Sci.: Part B: Polymer Physics*. – 2003. – V. 41. – P. 2492-2500.
9. Sinyukov A. M., Hayden L. M. Generation and detection of terahertz radiation with multilayered electro-optic polymer films // *Optics Lett.* – 2002. – V. 27, No. 1. – P. 55-57.
10. Yakimansky A. V., Nosova G. I., Solovskaya N. A., Smirnov N. N., Plekhanov A. I., Simanchuk A. E., Gorkovenko A. I. Dispersion of quadratic nonlinearity of polarized films of chromophore-containing polyimides in the range of resonance absorption // *Chemical Physics Letters*. – 2011. – V. 510. – P. 237-241.

11. Sinyukov A. M., Hayden L. M. Efficient electrooptic polymers for THz applications // *J. Phys. Chem. B.* – 2004. – V. 108. – P. 8515-8522.
12. Носова Г. И., Абрамов И. Г., Соловская Н. А. и др. Синтез и фотофизические свойства растворимых полиимидов и полихиназолонов, содержащих халконы или азохромофоры в боковых цепях // *Высокомолекулярные соединения, серия Б.* – 2011. – Т. 53, № 2. – С. 316–331.
13. Stahelin M., Walsh C. A., Burland D. M., etc. Orientational decay in poled second-order nonlinear optical guest-host polymers: Temperature dependence and effects of poling geometry // *J. Appl. Phys.* – 1993. – V. 73, No. 12. – P. 8471–8479.
14. Gorkovenko A. I., Plekhanov A. I., Simanchuk A. E., etc. Temperature dependence and the dispersion of nonlinear optical properties of chromophore-containing polyimide thin films // *J. Appl. Phys.* – 2014. – V. 116, 223104.
15. Микерин С. Л., Потешкина К. Д., Плеханов А. И. Терагерцовый спектрометр на основе фемтосекундного лазера для научных исследований // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика.* – 2014. – Т. 9, вып. 2. – С. 6–12.
16. Носова Г. И., Якиманский А. В., Соловская Н. А. и др. Синтез и электрооптические свойства трифениламин- и оксадиазолсодержащих полимеров // *Высокомолекулярные соединения, серия Б.* – 2011. – Т. 53, № 1. – С. 111–120.
17. McLaughlin C. V., Zheng X., Hayden L. M. Comparison of parallel-plate and in-plane poled polymer films for terahertz sensing // *Appl. Opt.* – 2007. – V. 46, No. 25. – P. 6283–6290.

© С. Л. Микерин, А. И. Плеханов, А. Э. Симанчук, А. В. Якиманский, 2015

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ХОЛМОВ НА ДНЕ ВОРОНКИ ПРИ УДАРНОМ КРАТЕРООБРАЗОВАНИИ

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Приведены результаты математического моделирования ударных сложных кратеров для ударника и мишени с различными значениями импеданса. Описан возможный механизм формирования холмов на дне воронки при импактном (ударном) кратерообразовании.

Ключевые слова: метеорит, ударный кратер, ударник, импеданс, гиперкумуляция.

ABOUT THE POSSIBLE MECHANISM OF FORMATION OF HILLS AT THE BOTTOM CRATER AT SHOCK CRATERFORMATION

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

The results of mathematical modeling of complex craters shock for the impactor and target with different impedance are discussed. A possible mechanism for the formations of the hills at the bottom of the funnel at the impact crater are describes.

Key words: a meteorite, a shock crater, ударник, an impedance, гиперкумуляция.

Образование кратеров при падении высокоскоростных метеоритов на поверхности планет имеет свои особенности. Гипотеза образования ударных кратеров на поверхности планет от столкновения с метеоритами довольно про-

зрачна. При ударе метеорита о поверхность планеты происходит быстрое преобразование кинетической энергии метеорита в тепловую и механическую энергии, происходит взрыв с образованием кратера. В момент удара давление на горные породы может достигать нескольких гигапаскалей и более, а температура достигать десятков тысяч градусов. Суммарная энергия, реализуемая в процессе соударения, может превышать 10^{19} - 10^{23} Дж. Особенностью такого процесса является очень высокая скорость механического деформирования материала преграды превышающей 10^3 - 10^4 с⁻¹. Резкое торможение космического тела при столкновении с поверхностью планеты приводит к возникновению ударной волны сжатия, которая движется от точки столкновения вперед (в породах мишени – коры планеты) и назад (в веществе ударника – космического тела). Ударное сжатие сменяется разрежением (разгрузкой).

Замечено, что форма кратеров может быть различной, она имеет форму, аналогичной форме кратера возникающего при взаимодействии компактной кумулятивной струи с преградой (чашеобразная форма) или с образованием холма на дне воронки.

Кумулятивная струя образуется при взрыве заряда взрывчатого вещества с выемкой, облицованной тонким слоем металла [1-3]. При этом формируется тонкая кумулятивная струя со скоростями достигаемыми 10-15 км/с и массой равной 10-20% массы облицовки. Диаметр формируемой кумулятивной струи – проволоки достигает 1-3% диаметра кумулятивного заряда. В гиперкумулятивном заряде скорость струи может достигать более 20-25 км/с и с массой 80-100% массы облицовки [3-10], при этом диаметр гиперкумулятивной струи может составлять до 15-25% диаметров заряда. Известно, что скорости подхода метеоритов к Земле лежат в интервале 11 – 76 км/сек с наиболее вероятной скоростью около 25 км/с [43].

Основой аналитического рассмотрения высокоскоростного удара и взрыва вблизи поверхности служит вопрос: что является определяющим параметром в этой задаче – энергия или импульс [11]?

В гидродинамическом приближении этот вопрос был исследован в работе А.А. Дерибаса и С.И. Похожаева [12], которые изучали рост полости в воде при взрыве шнурового заряда. Они показали, что если определяющим параметром является импульс, то полость (в цилиндрическом случае) будет расти по закону $r_n \sim t^{1/3}$, а в случае определяющего значения энергии по закону $r_n \sim t^{1/2}$ (где r_n радиус полости, а t время). Однако, В.Ф. Минин в своей работе [13] экспериментально впервые указал на осложняющую роль силы тяжести и установил, что правильный закон роста полости со временем лежит ближе к случаю определяющего значения энергии, а не импульса. Таким образом, было установлено, что определяющим параметром при взаимодействии ударника и мишени является энергия ударника.

Простые кратеры имеют чашеобразную форму. Для широкого диапазона размеров простых кратеров, от лабораторных модельных кратеров с диаметром порядка 10 см до лунных кратеров диаметром порядка 15 км, отношение глубины к его диаметру по гребню вала составляет примерно 1/5 [41], что указывает на определенное подобие механизмов их формирования.

Сложные кратеры проявляют комплексное строение, которое характеризуется наличием центральной горки в кратере [41]. Морфология сложных кратеров показывает зависимость глубины от диаметра типа D^n , где величина n порядка 0.3 [41]. При этом предположительной причиной возвратного движения дна после достижения им максимальной глубины является гравитационный коллапс переходного кратера [41]. В работе [44] предполагается, на основе численного моделирования удара протяженного ударника, образованного двумя сферами с мишенью, что центральный пик может быть также образован остатками вещества ударника.

При изучении формы кратеров по металлу в работах А.Т. Базилевского, Б.А. Иванова, Л.В. Леонтьева [11, 14-15] было отмечено, что до скоростей соударения 12 км/с эти кратеры имеют вид округлых лунок окруженных валом. В диапазоне от 12 до 20 км/с происходит резкое увеличение диаметра кратера и уменьшение его глубины. В качестве ударника использовались железные частицы, а в качестве мишени применялся алюминий. Авторами данных работ изменения в форме кратера при увеличении скорости ударника трактуется возможным началом испарения материала ударника или мишени. При исследовании высокоскоростных ударов по металлу установлено, что размеры кратера коррелируют с твердостью мишени [11, 14-15].

Форма и размер кратера существенно зависят от соотношения плотностей ударника и мишени, массы и скорости ударника, а так же его формы. Для мишени с низкой плотностью при ударе образуется не кратер, а полость, часто сложной формы, описать которую простыми скейлингами не удастся [42].

При изучении форму кратеров на поверхности Луны было обнаружено [11, 41], что в интервале диаметров 20-40 км на днище кратеров наблюдается четко выраженная горка, которая занимает почти всю площадь днища. Типичным представителем таких кратеров является кратер Ремер диаметром 39 км, расположенный к востоку от Моря Ясности [11], рис. 1. Для интервала диаметров 35-100 км характерны кратеры, в центре которых возвышается одна или несколько сближенных центральных горок.

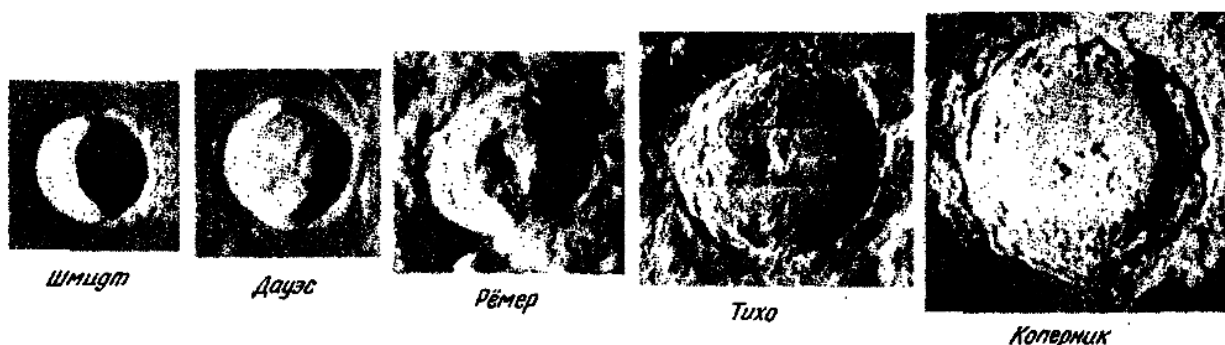


Рис. 1. Внешний вид кратеров, относящихся к различным морфологическим типам (из работы [11]). Относительный масштаб изображения различен. Диаметры изображенных кратеров составляют: Шмит – 11 км, Дауэс – 18 км, Ремер – 30 км, Тихо – 85 км, Коперник – 93 км

В работе Б. А. Иванова [16] упомянуто, что при взрыве на поверхности мягкого грунта земли сферических зарядов с мощностью от 20 до 50 т и образуются воронки с расположенным по ее центру горки и концентрические валы на дне воронки.

В работах Б. А. Иванова [17, 38] детально рассмотрены механизмы образования ударных кратеров на Земле и планетах. Указывается, что при диаметрах, больших критического граничного значения, образуются так называемые сложные кратеры с центральной горкой (центральным поднятием). При дальнейшем возрастании диаметра в ударных структурах появляются кольцевые центральные горки (кольцевые центральные поднятия). При еще больших диаметрах ударные структуры становятся многокольцевыми; такие структуры получили название ударных бассейнов.

Граничные значения диаметров, разделяющих диапазоны размеров ударных структур с различной морфологией, зависят от механических свойств пород в месте удара и силы тяжести. В первом приближении граничные величины диаметров кратеров обратно пропорциональны ускорению силы тяжести. Простые и сложные кратеры имеют также различную морфометрию, т.е. количественное соотношение глубины, диаметра, высоты вала и других параметров. Глубина простых кратеров прямо пропорциональна диаметру структуры. Например, для наиболее хорошо изученных простых лунных кратеров глубина составляет примерно $1/5$ диаметра для кратеров с размером от 300 м до 15 км. Близкое соотношение глубины и диаметра имеют также простые кратеры на других планетных телах.

Глубина сложных кратеров растет с диаметром гораздо медленнее: примерно как корень кубический из диаметра. В результате крупнейшие ударные образования, например, на Луне при диаметре 500 - 1000 км имеют глубины, не превышающие 5-8 км.

Образование воронок при взрыве на выброс представляет собой детально разработанный раздел взрывной геомеханики (см., например, [18–20]). Основным процессом здесь является работа газообразных продуктов взрыва в расширяющейся полости против прочности вещества и силы тяжести.

По мнению Б. А. Иванова [17], высокоскоростные удары, а также контактные и малоуглубленные взрывы отличаются от взрывов на выброс намного меньшей ролью поршневого действия продуктов детонации в полости взрыва. В случае взрыва вблизи поверхности основное перемещение среды происходит по инерции за счет переданной в грунт на ранней стадии взрыва кинетической энергии. Это приводит к тому, что кратерообразующее течение в автомобильном приближении не сохраняет полной энергии, относящейся к области взаимного влияния: ввиду близости свободной поверхности необходим учет уноса энергии за счет выбросов как на ранней, так и на поздней стадиях процесса кратерообразования.

Ранняя стадия передачи энергии веществу мишени ("передача энергии в грунт", как принято это называть в прикладных задачах), довольно подробно исследована. Теория подобия, разработанная для взрывов, допускает расшире-

ние и перенесение многих результатов на задачи о высокоскоростном ударе. Главное отличие при этом состоит в том, что высокоскоростной ударник, как источник взрывоподобного движения, имеет конечную величину начального импульса в отличие от взрывного источника энергии, имеющего, как правило, центральную (цилиндрическую или плоскую) симметрию. Решение задачи было дано в работе Я.Б. Зельдовичем [21]. На стадии передачи энергии и возбуждения ударных волн определяющими являются соотношения давления во взрывном (ударном) источнике и сжимаемости вещества мишени. На поздних стадиях образования воронки (кратера) малость скорости перемещения среды по сравнению со скоростью распространения звуковых колебаний позволяет пренебречь подробностями волновых процессов и рассматривать позднюю стадию кратерообразования в приближении несжимаемости среды. В общем случае это должно быть движение среды, обладающей прочностными свойствами.

Начало подобному подходу к описанию кратерообразования (на примере образования метеоритных кратеров) было положено в работах К.П. Станюковича, [22-25], рассмотревших этот процесс как "взрыв" метеорита, первоначально проникшего в грунт на некоторую глубину. Согласно данной модели грунт начинает двигаться по радиус-векторам, исходящим из заглубленной точки взрыва, однако впоследствии стало ясно, что высокоскоростной удар в большей степени подобен контактному или малозаглубленному взрыву.

Простые кратеры имеют чашеобразную форму (рис. 2 слева), тогда как сложные кратеры имеют террасированные стенки и центральный пик (рис. 2 справа) [26]. На рис. 3 приведены кратеры сложной формы на поверхности Луны [39].

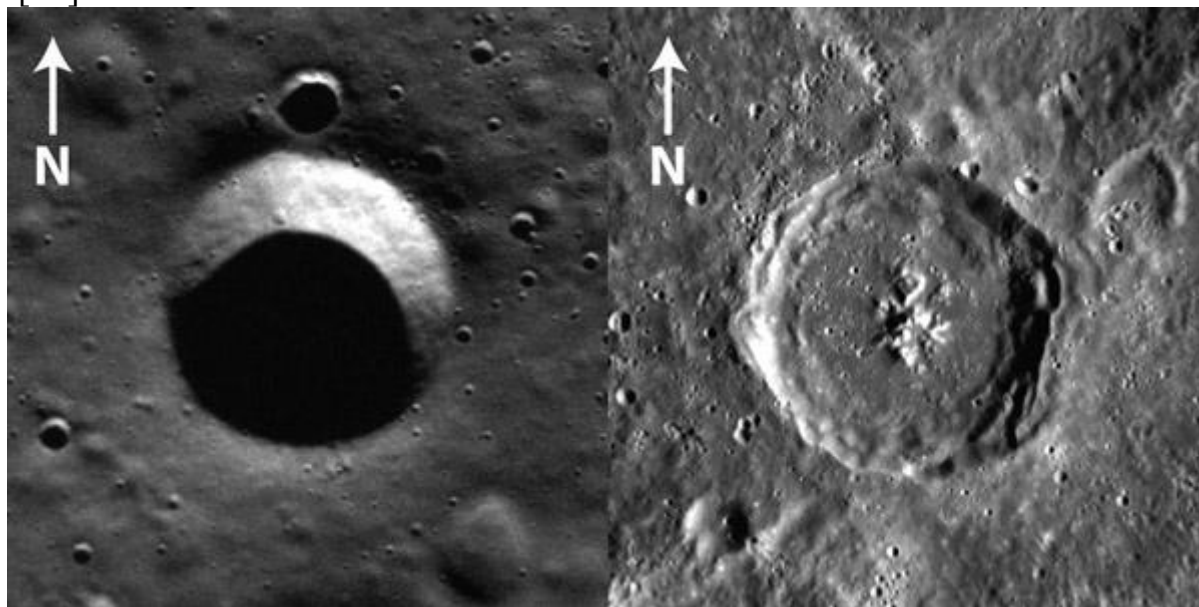


Рис. 2. Изображение двух кратеров, полученное «Мессенджером» с орбиты Меркурия [26]. Слева показан простой чашеобразный кратер диаметром 4.1 км, расположенный на 78.8° градусов северной широты, 346.3° восточной долготы. Справа – кратер сложной формы диаметром 51.5 км, расположенный на 2.3° северной широты, 121.4° восточной долготы

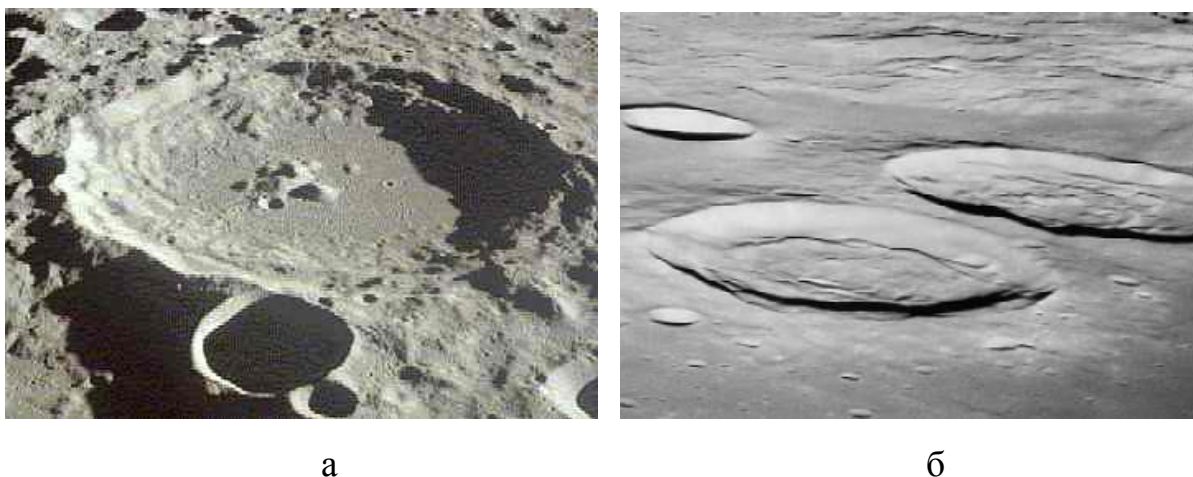


Рис. 3. Кратеры на поверхности Луны: (а) — Sabine, $d = 31$ km, Ritter, $d = 32$ km, Schmidt, $d=12$ km.; (б) — Daedalus, $d = 93$ km [39]. Видны центральные горки осадочной породы

В процессе исследования влияния внешнего давления воздух P_0 на размеры и форму воронки было замечено, что в области давлений порядка 6 кПа и менее на дне воронки в сухом песке и песчано-масляной среде при взрывах заряда на отдельных глубинах появляются холмы, как было замечено И.М. Блиновым [27], рис. 4. При этом высота холма может достигать примерно 0.15 от глубины кратера. Подобные воронки получаются в лабораторных условиях и при ударе частиц (ударников) в мишень, представляющую собой слой рыхлого зернистого несвязного материала, лежащего на материале с большей прочностью в работе У.Л. Квайда и В.Р. Обербэка [28].



Рис. 4. Воронка, образованная при взрыве в сухом песке ($P_0 = 0.13$ кПа)

В работе Р.З. Камалян [29] отмечается, что эффект появления «холма» на дне воронки обусловлен сползанием разжиженного грунта с бортов воронки к ее центру после ударного воздействия ударника на поверхность мишени.

В работе Дж. Ф. Ведер и Ж.К. Мандевилль [30] изучалась морфология кратеров в натрово-известковом стекле и плавленом кварце, возникающих при ударе сферическими ударниками диаметрами от 0.4 до 5 мкм из полистиролвинилбензола (ПСДВБ) (1.06 г/см³), алюминия (2.7 г/см³) и железа 7.8 г/см³) при

скоростях от 0.5 до 15 км/с. Обнаружено, что отношение диаметра и глубины кратера к диаметру ударника и отношение глубины к диаметру кратера увеличиваются с увеличением скорости удара.

При заданной скорости отношение глубины кратера к диаметру ударника увеличивается с увеличением плотности ударника и с уменьшением плотности мишени. В кратерах, образованных ударами ПСДВБ со скоростями более 8.5 км/с, днище кратера приобретает выпуклую форму. Причины выпуклости кратера выявлены не были.

Вопрос как изменяется форма кратера в зависимости от параметров ударника далеко неоднозначен [11]. Пока можно утверждать, что поднятие дна кратера после достижения им максимальной глубины действительно имеет место [11].

Исследования формы ударных кратеров возможно в форме вычислительного эксперимента [44]. Основными этапами моделирования кратеров могут быть следующие: удар метеорита о поверхность планеты и выброс материала метеорита и материала поверхности планеты, образования взвешенных частиц над поверхностью планеты, оседания под действием гравитационных сил взвешенных частиц в образованный кратер и т.д. [44]. В работе [44] моделирование производилось для этапа оседания пылевидной массы в кратер.

Исследования формирования кратеров при импактном взаимодействии ударника с мишенью проводилось в форме вычислительного эксперимента. Вычислительный эксперимент будем проводить в двумерной осесимметричной постановке: все вещества подчиняются модели сжимаемой идеальной жидкости с уравнениями состояния участвующих в эксперименте веществ, заданных в форме $D=C+L*u$ [30-31]. Здесь D – скорость ударной волны, C и L – константы, u – массовая скорость [33]. Материал веществ предполагается изотропным.

Вычислительный эксперимент производился на комплексе «СТЕРЕО», разработанного под руководством В. Ф. Минина, в котором реализован метод индивидуальных частиц [3-4, 6-7, 34-37]. Программная система «СТЕРЕО» предназначена для проведения в режиме диалога с ЭВМ вычислительных экспериментов по описанию реальных импульсных устройств и процессов в гидрогазодинамике, физике взрыва, высокоскоростного соударения и др. Вычислительный эксперимент проводился в гидродинамическом приближении.

Излагаемые результаты расчета удара относятся к осесимметричным конфигурациям ударник-мишень. Ударники представляли собой диск диаметром 40 мм и толщиной 10 мм, скорость соударения считалась равной 40 км/с. В качестве мишени использовалась полубесконечная изотропная мишень из железа. В качестве материалов ударника и мишени использовались материалы с различным импедансом (ρc , ρ – плотность материала, c – скорость звука в материале), такие как магний ($\rho=1.74$ г/см³, $c=4.6$ км/с), алюминий ($\rho=2.7$ г/см³, $c=5.1$ км/с), медь ($\rho=8.9$ г/см³, $c=3.57$ км/с), железо ($\rho=7.85$ г/см³, $c=5.85$ км/с). На рис. 5 приведена постановка задачи.

В процессе соударения в медного дискового ударника и полубесконечной железной мишени образуются ударные волны, распространяющиеся от движущейся контактной поверхности. В момент удара в материале мишени возникает

ударная волна с давлением более 3600 ГПа и плотностью материала на фронте в 2.2 раза превышающей плотность материала мишени. Характерной особенностью является скачек давления по периферии ударника, превышающий давление по оси симметрии мишени в 3.5 раза, рис 5.

Сферическая ударная волна, образованная импульсом давления на периферии ударника, огибает поверхность ударника и сходится на его оси симметрии, с радиальной скоростью почти 66 км/с, рис. 6 а. Граница материала ударника, примыкающая к мишени, приобретает осевую скорость направленную в противоположную сторону начального движения, равную -12.2 км/с. А внешняя граница материала ударника продолжает свое движение со скоростью 9.5 км/с. Происходит дополнительное сжатие материала ударника. По оси симметрии задачи создается поток материала мишени направленный в противоположную сторону движения ударника со скоростью -2.5 км/с, при этом материал ударника еще продолжает передавать свою энергию мишени, рис. 6 б.

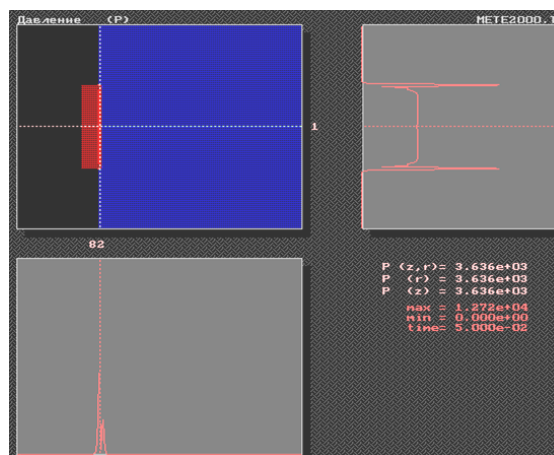


Рис. 5. Постановка задачи

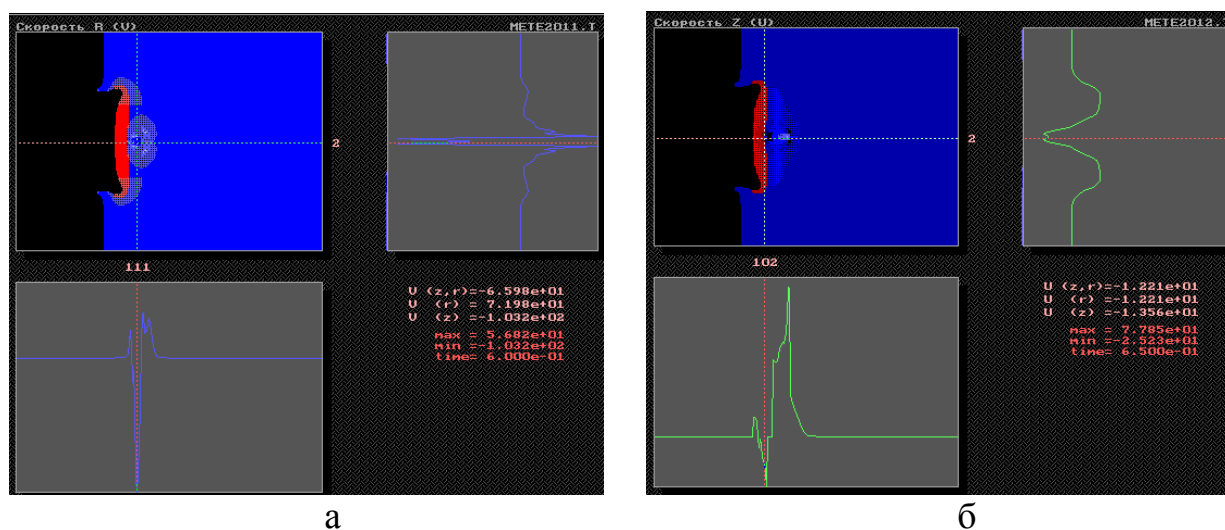


Рис. 6. Взаимодействие медного ударника с железной мишенью.

А – распределение радиальной скорости на момент времени равный 0.6 мкс от начала удара; б – распределение осевой скорости на момент времени равный 0.65 мкс от момента удара

Далее форма дискового ударника изменяется из за разности градиентов осевых скоростей в нем, он выгибается в противоположную сторону начального движения и его центральная часть двигается с максимальной скоростью -5.3 км/с, рис. 7. При этом его периферийные участки имеют максимальную скорость 9.2 км/с. От периферийных участков ударника формируется сферическая

волна с радиальной скоростью -3 км/с и направленная на ось симметрии задачи. При взаимодействии сферических волн из материала мишени формируется поток материала с сторону противоположную первоначальному направлению движения ударника.

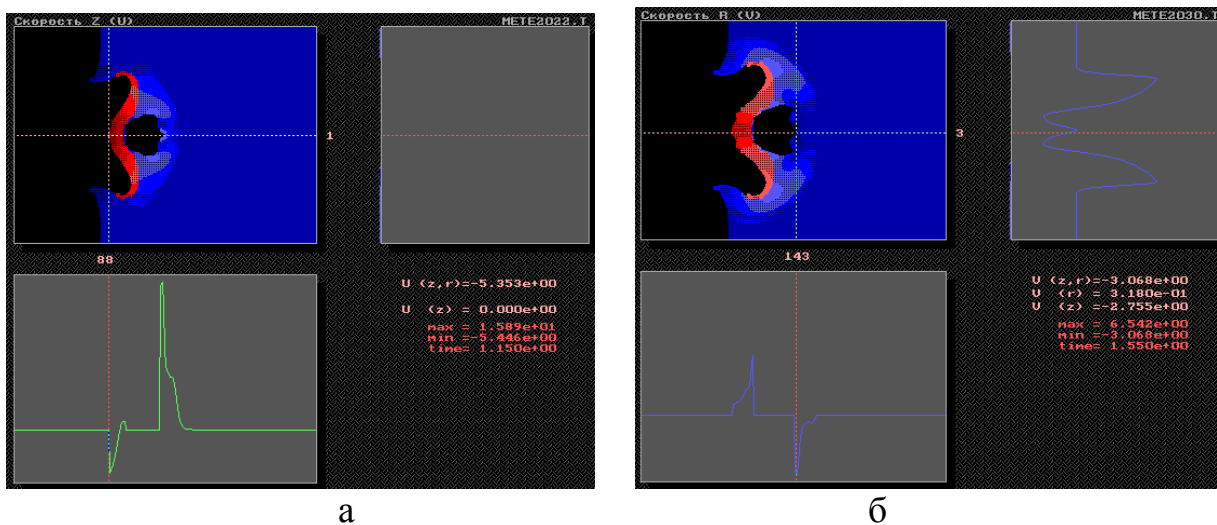


Рис. 7. Взаимодействие медного ударника с железной мишенью. А – распределение осевой скорости на момент времени равный 1.15 мкс от момента удара; б – распределение радиальной скорости на момент времени равный 1.55 мкс от начала удара

На рис. 8 показано начало формирования «кумулятивной струи» из материала мишени с максимальной скоростью 4-5 км/с и направленную в обратную сторону первоначального движения ударника. При этом из материала ударника формируется компактное тело, центральная часть которого, так же движется в противоположную сторону первоначального движения тела.

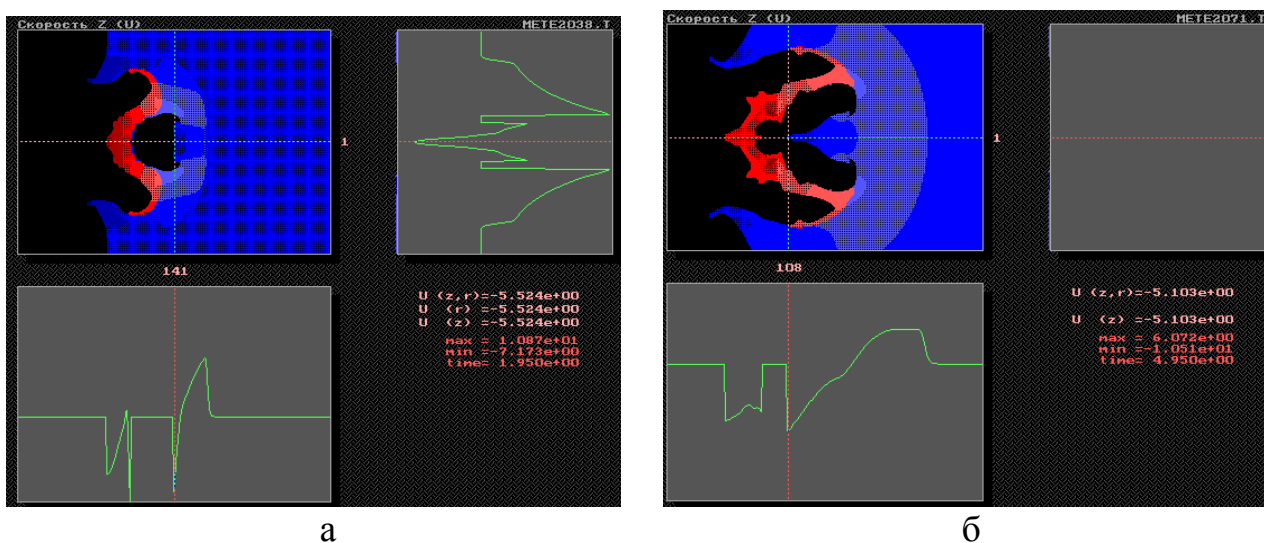


Рис. 8. Формирование центральной горки в кратере. Распределение осевой скорости на моменты времени равные 1.95 мкс (а) и 4.95 мкс (б) от момента удара

Форма ударника значительно изменилась, на конечной стадии происходит пробитие полым ударником с формированием выброса материала мишени по его оси симметрии. Учитывая, что задача решалась в гидродинамическом приближении и не учитывалась прочность материалов, можно предположить, что происходит процесс формирования центральной горки в кратере. А учитывая гравитационные силы, возможно падение остатков ударника в кратер.

В случае одинаковых импедансов материалов ударника и мишени рассмотренных выше явлений не происходит. На рис. 9 представлены последовательные кадры решения задачи по пробитию железным дисковым ударником железной мишени. Формируется «классический» по форме кратер.

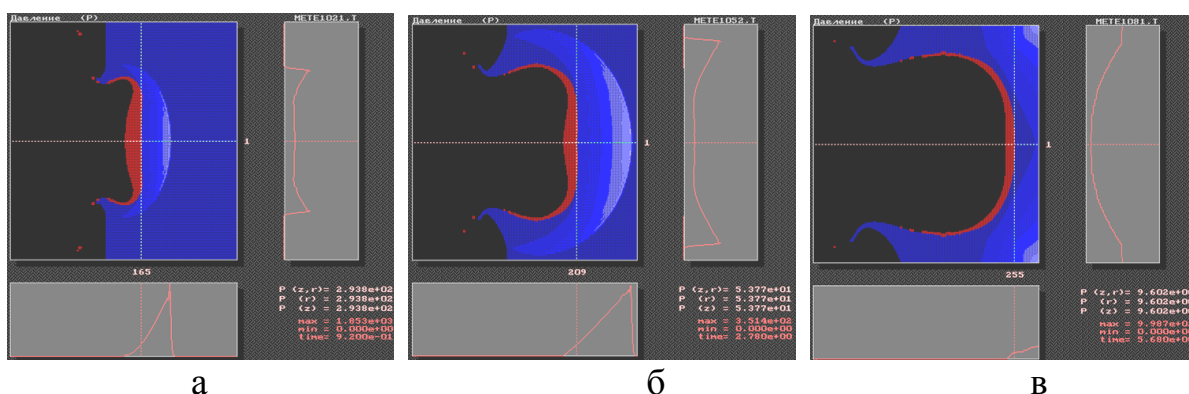
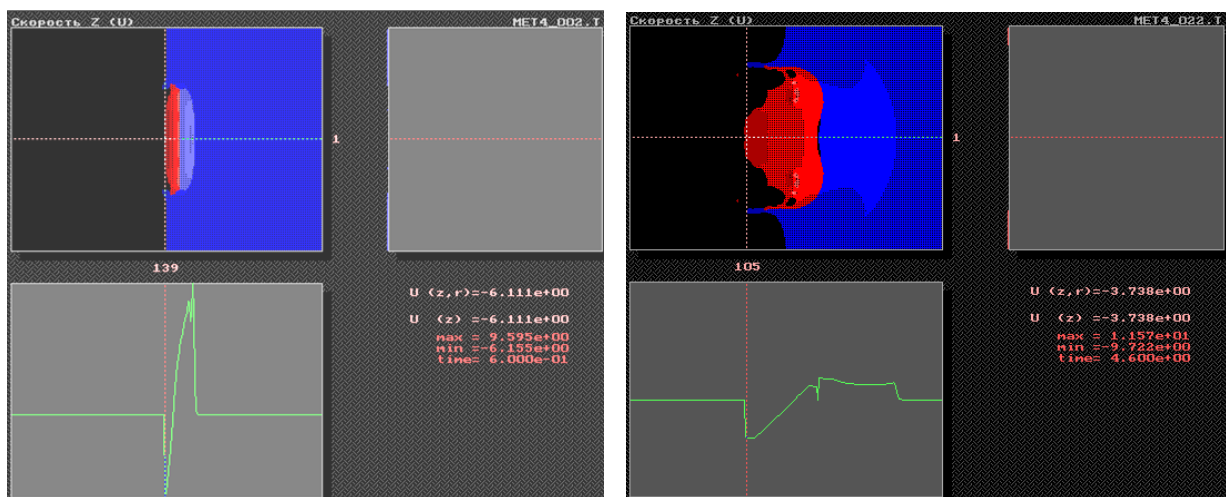


Рис. 9. Формирование ударного кратера при одинаковых импедансов материалов ударника и мишени на моменты времени равные 0.92 мкс (а), 2.78 мкс (б) и 5.68 мкс (в)

Рассмотрим формирование ударного кратера в случае значительных различий в импедансов материала ударника и мишени. В качестве материала ударника выберем магний, в качестве материала мишени – железо.

В момент удара по мишени начинает формироваться сферическая волна от периферии ударника и плоская ударная волна от его центральной части. Материал ударника сначала сжимается, а затем из-за отраженной ударной волны от границы ударник-мишень начинает расширяться, приобретая максимальную скорость -6.2 км/с, рис. 10а. Затем максимальная скорость ударника уменьшается до величины -3.7 км/с, рис. 10б. Из-за интерференции сферических ударных волн от периферии ударника формируется зона повышенного давления и плотности материала в мишени. Центральная зона ударника отскакивает от материала мишени, но при этом периферийные участки ударника еще участвуют в образовании кратера.

В дальнейшем ударник формируется в цилиндрическое тело, летящего с максимальной скоростью -3.5 км/с в противоположную сторону первоначального движения, при этом плотность материала ударника составляет $1.68-1.71$ г/см³ по его оси симметрии, рис. 11. В случае значительных различий в значениях импедансов материала ударника и мишени формирование центральной горки в кратере не происходит.



а

б

Рис. 10. Взаимодействие ударника из магния с железной мишенью. Распределение осевой скорости на моменты времени равные 0.6 мкс (а) от момента удара и 4.6 мкс (б)

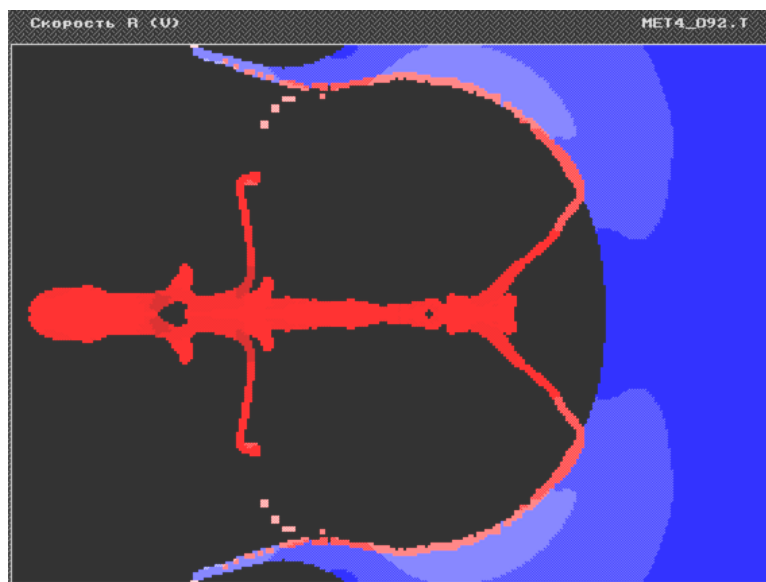


Рис. 11. Формирование ударного кратера в случае значительных различий в импедансах материала ударника и мишени. Формирование компактного ударника летящего в обратную сторону от первоначального направления

В качестве примера возможности образования центральной горки в ударном кратере рассмотрим модельную задачу о взаимодействии полого цилиндра ударника с полубесконечной преградой. Задача решалась в осесимметричной постановке с пространственным разрешением 8 яч/мм^2 . Ударник со скоростью 35 км/с из магния с плотностью материала 1.739 г/см^3 ударялся о железную мишень. Высота цилиндра составляла 3 мм , внешний диаметр 14 мм и толщина стенок 0.6 мм . Постановка задачи приведена на рис. 12.

В момент удара о мишень начинает формироваться ударная волна, при этом радиальная скорость с внешней стороны ударника меньше чем величина радиальной скорости у внутренней поверхности ударника при формировании кратера, рис. 13. Волны разрежения создают радиальные градиенты давления во внутренней и внешней окрестностях кольцевой поверхности контакта, что приводит к возникновению направленных внутрь и наружу потоков. Давление в направленном наружу потоке уменьшается из-за геометрического эффекта расширения. В результате формируется не симметричный по форме кратер, т.к. внешняя граница кратера расширяется с большей скоростью (почти в 2 раза) по сравнению со скоростью внутренней границы. В результате интерференции ударных волн на оси симметрии задачи возникает область повышенного давления. Давление в этой области превышает давление возникающее при ударе в 2.8 раза и плотность в 8-8.5 раз, рис. 14. Формируется движение вещества мишени в обратную сторону движения ударника во внутренней области ударника, со скоростью 2.6 км/с, рис. 15. В результате движения потоков материала мишени во внутренней области ударника возникает обратная кумулятивная струя из материала мишени с максимальной скоростью 2.26 км/с при плотности материала 7.1 г/см^3 , рис. 16.

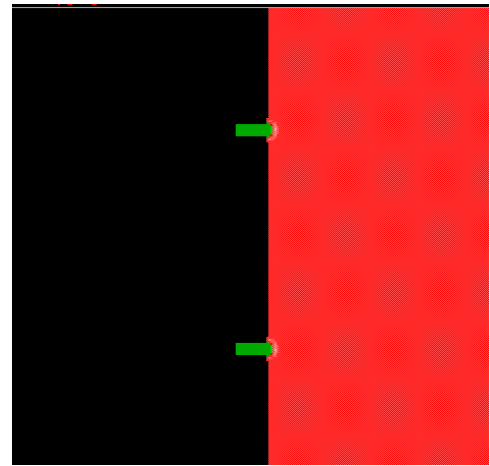


Рис. 12. Постановка задачи: зеленым цветом выделен полый цилиндрический ударник, красным – мишень

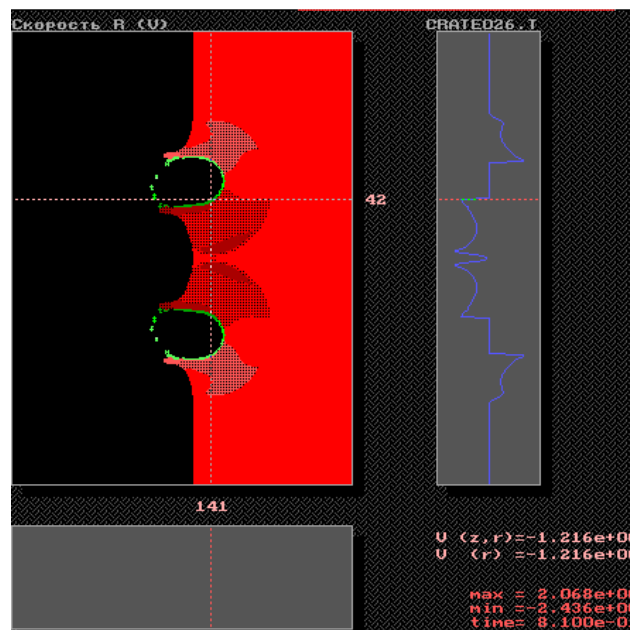


Рис. 13. Формирование ударной волны в мишени. Показано распределение радиально скорости V_r на момент времени равный 0.81 мкс от момента соударения

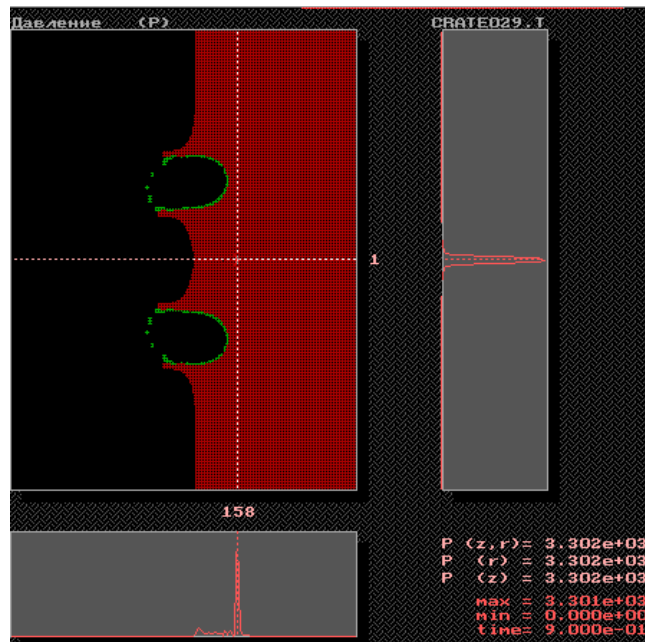


Рис. 14. Формирования максимального давления в материале мишени из-за интерференции ударных волн на момент времени равный 0,9 мкс от момента соударения

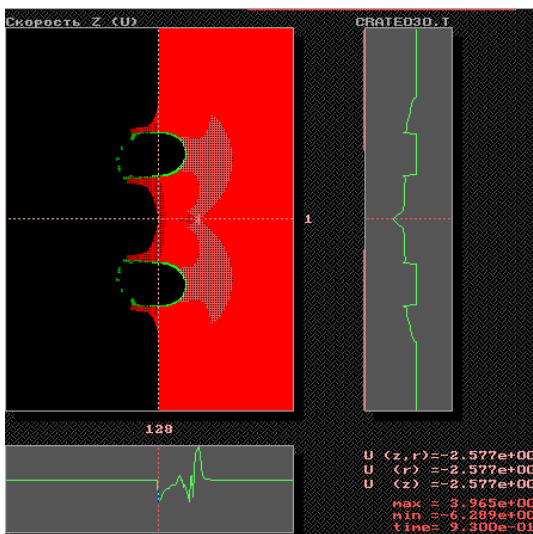


Рис. 15. Движение материала мишени в обратную сторону от движения ударника на момент времени, равный 0,93 мкс от момента соударения

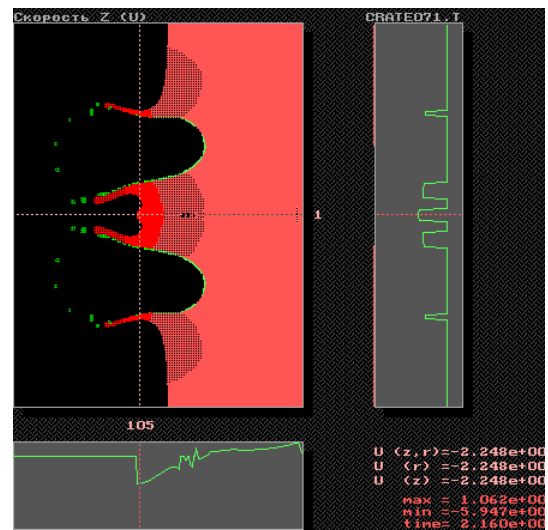


Рис. 16. Формирование обратной кумулятивной струи из материала мишени на момент времени равный 2,16 мкс от момента соударения

С увеличением плотности материала ударника картина течений качественно не меняется. Кратер становится более глубоким, а максимальное давление на оси симметрии задачи в материале мишени возникает на большем расстоянии от поверхности мишени.

Таким образом, при ударнике с неоднородным распределением плотности материала по его поперечному сечению, с большей плотностью материала на периферии ударника, возможно формирование ударного кратера с центральной горкой.

Установлено, что «горки» на дне кратера могут образовываться в случае, если:

- импеданс ударника и мишени различаются и ударник имеет форму диска с плотностью материала более плотности материала мишени;
- импеданс ударника и мишени различаются и ударник имеет форму диска с плотностью материала менее плотности материала мишени. При этом горка, возможно, образуется за сил гравитации и падения компактного тела ударника на дно кратера;
- при ударнике с неоднородным распределением плотности материала по его сечению, с меньшей плотностью материала на его оси симметрии.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Birkhoff G. Explosives with lined cavities / Birkhoff G., Mc Dougall D., Pugh E., Taylor G. // Journ. of Appl. Phys. – 1948. – Vol. 19, - p. 563-582.
2. Лаврентьев М.А. Кумулятивный заряд и принцип его работы / М.А. Лаврентьев // Успехи математических наук - 1957 - т. XII – вып. 4. – с. 41-56.
3. Минин И.В., Минин О.В. Кумулятивные заряды. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 199 с.
4. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.
5. Патент 2412338 Российская Федерация, МПК E43/117, F42B1/02. Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром / Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В.; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5. – 46 с.
6. Минин В.Ф. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов / В.Ф. Минин, И.В. Минин, О.В. Минин // Нефтегазовые технологии – 2012 - N 1 - с. 13-25.
7. Computational fluid dynamics. Technologies and applications / Ed. By Igor V. Minin and Oleg V. Minin. Croatia: INTECH- 2011. – 396 p. V. F. Minin, I.V. Minin, O.V. Minin Calculation experiment technology, pp. 3- 28.
8. Minin V.F. Physics Hypercumulation and Combined Shaped Charges [Текст] / V.F. Minin, O.V. Minin, I.V. Minin // 11th Int. Conf. on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 30057 Proc. 2rd – 4th October - 2012 - v.1, NSTU, Novosibirsk – 2012 - p. 32-54. IEEE Catalog Number: CFP12471-PRT ISBN: 978-1-4673-2839-5
9. Минин В.Ф. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов / В.Ф. Минин, И.В. Минин, О.В. Минин // Газовая и волновая динамика - 2013. - Выпуск 5, с. 281-316.
10. Минин В. Ф., Минин И. В., Минин О. В. Максимальная скорость сплошной кумулятивной струи // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 128–137.
11. А.Т. Базилевский, Б.А. Иванов. Обзор достижений механики кратерообразования // Механика: Сб. статей. № 12: Механика образования воронок при ударе и взрыве / под ред. А.Ю. Ишлинского Г.Г. Черного. М.: Мир, 1977. с. 172 – 227.
12. Дерibas А.А., Похожаев С.И. Постановка задачи о сильном взрыве на поверхности жидкости, Докл. АН СССР, 1962, т 144, № 3, 524.

13. Минин В.Ф. О взрыве на поверхности жидкости, Ж. приклад. Механ. И Техн. Физ., 1964, № 3, 159.
14. Леонтьев Л.В., Тарасов А.В., Терешин И.А. Некоторые особенности формы кратеров, образованных высокоскоростными частицами в полубесконечной мишени // Космич. Исследов., 1971, т. 9, вып. 5, с. 796-798.
15. Леонтьев Л.В. О форме кратеров, образующихся при высокоскоростном ударе // Космич. Исследов., 1976, т. 14, вып. 2., с. 278-281.
16. Б. А. Иванов. Успехи механики кратерообразования. с. 205-238. В сб.: А.Ю. Ишлинский, Г.Г. Черный. Удар. Взрыв и разрушение, вып. 26, М.: Мир, 1981, 239 с.
17. Иванов Б.А. Механизмы образования ударных кратеров на Земле и планетах. Дисс. На соискание степени доктора физико-математических наук, спец. 04.00.22 Физика твердой земли, М., 2000, 235 с.
18. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н., Николаевский В.Н., Ромашов А.Н., и Цветков В.М. (1971) Механический эффект подземного взрыва. Под ред. М.А. Садовского. М., "Недра", 224 с.
19. Адушкин В. В., Костюченко В. Н., Николаевский В. Н., Цветков В. М. (1974) Механика подземного взрыва. Итоги науки и техн. ВИНТИ. Сер. Мех. деформируем, тверд, тела, т. 7, 87-197.
20. Ромашов А. Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. М., "Недра", 1980, 243с.
21. Зельдович Я. Б. Движение газа под действием кратковременного давления (удара). Акуст журнал, 1956, т. 2, вып. 1, с. 28-38.
22. Станюкович К.П., Федьинский В.В. (1947) О разрушительном действии метеоритных ударов. Докл. АН СССР 57(2): с. 129-132.
23. Станюкович К.П. (1950) Элементы физической теории метеоров и кратерообразующих метеоритов. В сб: Метеоритика, 1950, 7, с. 39-62.
24. Станюкович К. П. (1960) Элементы теории удара с большими (космическими) скоростями, в сб. "Искусственные спутники Земли", 1960, вып. 4, изд-во АН СССР, с. 86.
25. Станюкович К. П. (1971) Неустановившиеся движения сплошной среды, изд. 2-е, М., "Наука", 1971, 854 с.
26. <http://messenger.jhuapl.edu/soc/highlights.html>
27. И.М. Блинов. Механизм и условия образования холмов на дне воронки при взрывах на выброс// Физика горения и взрыва, 2004, т. 40, № 6, с. 76-83/
28. Квайд У.Л., Обербек В.Р. Определение мощности поверхностного слоя ВВ по лунным ударным кратерам // Механика: Сб. статей. № 12: Механика образования воронок при ударе и взрыве / под ред. А.Ю. Ишлинского Г.Г. Черного. М.: Мир, 1977. с. 86-127.
29. Камалян Р.З. Об одном эффекте, возникающем при взрыве на выброс // Материалы Всесоюз. Конф. «Действие взрыва в грунтах и горных породах». Киев: Наук. Думка, 1982. с. 208-213/
30. Дж. Ф. Ведер, Ж.К. Мандевилль. Микрократеры, образованные в стекле ударниками различной плотности // Механика: Сб. статей. № 12: Механика образования воронок при ударе и взрыве / под ред. А.Ю. Ишлинского Г.Г. Черного. М.: Мир, 1977. с. 7 – 32.
31. Балаганский И.А. Действие средств поражения и боеприпасов [Текст]: Учебник / И.А. Балаганский, Л.А. Мержиевский. – Новосибирск: НГТУ, – 2004. – 408 с.
32. Физика взрыва [Текст] / Под редакцией Л.П. Орленко – М.: Физматлит, 2004. - т. 2. - 656 с.
33. Minin V.F. The calculation experiment technology [Текст] / V.F. Minin, I.V. Minin, O.V. Minin // Proc. of the Int. Symp. On Intense Dynamic Loading and its Effects. Chengdu, China, June 9 –12, 1992. - p. 431-433.
34. Минин В.Ф. Разработка и реализация метода численного моделирования нестационарных течений многокомпонентных сжимаемых сред на мультипроцессоре ПС-2000 [Текст]

/ В.Ф. Минин, С.Я. Виленкин, Б.П. Крюков и др. – М.: Институт проблем управления. – 1989 – 28 с.

35. Минин В.Ф. Теплофизические и газодинамические проблемы противометеоритной защиты космического аппарата «Вега» [Текст] / В.Ф. Минин В.Ф., В.А. Агурейкин, А.В. Бушман и др. // ТВТ – 1984. - т. 22. - № 5. - с. 964-983.

36. Минин В.Ф. Технология вычислительного эксперимента [Текст] / В.Ф. Минин, И.В. Минин, О.В. Минин // Математическое моделирование – 1992. - т. 4. - № 12. - с. 65-67.

37. Минин В.Ф. Численное моделирование нестационарных высокоэнергетических процессов с использованием реальных уравнений состояния металлов [Текст] / В.Ф. Минин и др. // сб. «Исследования свойств вещества в экстремальных условиях», М.: РИСО ИВТ АН СССР, - 1989.

38. Иванов Б.А., Базилевский А.Т., и Сазонова Л. В. Образование центрального подъема в метеоритных кратерах. Метеоритика, 1982, вып. 40, 60-81.

39. http://www.apolloarchive.com/apollo_gallery.html — Apollo Mission Gallery

40. Pike R. Size-dependence in the shape of fresh impact craters on the moon. In: Impact and Explosion Cratering (Eds. Roddy D.J., Pepin R.O., Merrill R.B.). N.Y., Pergamon Press, 1977, p. 489-510.

41. Б.А. Клумов, В.В. Ким, И.В. Ломоносов и др.. Возможные наблюдательные эффекты в эксперименте Deep Impact // Успехи физических наук, 2005, т. 175, № 7, с. 767-777.

42. Физика космоса. Под ред. С.В. Пикельнера, Советская энциклопедия, М., 1976, 656 с.

43. Ross William Kerrill Potter. Numerical modeling of basing-scale impact crater formation // Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Imperial College London, 2012, 236 p.

44. Р.Н. Кузьмин, А.А. Кулешов, Н.П. Савенкова, Моделирование ударных кратеров // Математическое моделирование, 2003, т. 15, № 2, с. 83-88.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

ВЗРЫВНОЙ ГЕНЕРАТОР ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ ДЛЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ПЕРФОРАТОРОВ

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Предложен новый тип взрывного генератора плоской волны для кумулятивных перфораторов.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, генератор плоской волны, линза.

THE EXPLOSIVE GENERATOR OF THE FLAT WAVE FOR CUMULATIVE PUNCHERS

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

The new type of explosive generator of a flat detonation wave for cumulative charges is offered in application to oil-well perforation.

Key words: a cumulative charge, the generator of a flat wave, a lens.

Для обеспечения работы кумулятивных перфораторов, применяемых в нефте- и газодобывающей промышленности необходимы взрывные генераторы плоской волны.

Известно устройство управления формой фронта детонационной волны [1], содержащее осесимметричные промежуточный заряд взрывчатого вещества (ВВ) с детонатором, с противоположной стороны которого примыкает инертная линза, выполненная из материала с низкой скоростью распространения звука, например, из свинца или обедненного урана, имеющий в основном плоскую поверхность, расположенную в непосредственной близости от детонатора вещества и выпуклую поверхность, противоположную упомянутой плоской поверхности или выпукло - выпуклую форму поверхности, основной заряд ВВ с кумулятивной выемкой примыкающий к линзе с обратной стороны и расположенные в едином корпусе.

Известен генератор плоской волны [2], содержащий инициатор, корпус с размещенными в нем предварительного заряда ВВ с пустотелой линзой с металлической кумулятивной облицовкой и основного заряда ВВ размещенного под основанием конической облицовки, сечение которой соответствует основанию кумулятивной облицовки генератора, с углом раствора облицовки определяемого из условия, чтобы в момент ее удара по поверхности основного заряда материал облицовки имел плоскую форму.

Недостатками рассмотренных технических решений являются наличие в конструкции кумулятивных зарядов, не разрушаемых линз, расположенных внутри основного заряда ВВ, снижающего эффективность кумулятивного заряда, и остающихся в створе скважины после подрыва кусочков материала линзы.

Целью работы является повышение эффективности кумулятивных зарядов с линзами. Техническим результатом работы является возможность формирования детонационной волны с плоским фронтом линзой, разрушаемой после формирования ею плоской волны.

Предлагаемый взрывной генератор плоской волны [3] содержит инициатор, корпуса с размещенными в нем предварительного заряда ВВ с пустотелой линзой кумулятивной выемкой облицованной конической металлической оболочкой (линзой) с металлической кумулятивной облицовкой и основного заряда ВВ размещенного под основанием конической облицовки, сечение которой соответствует основанию кумулятивной облицовки генератора, с углом раствора облицовки определяемой из условия, чтобы в момент ее удара по поверхности основного заряда материал облицовки имел плоскую форму, при этом облицовка (линза) выполнена из спрессованных порошков металла, например, железа, или металлокерамики пропитанных целлулоидом с количеством наполнителя изменяющегося в пределах от 20 до 50%.

На фиг. 1 изображено устройство взрывного генератора плоской волны для кумулятивных перфораторов. На фиг. 2 – приведен пример процесса преобразования детонационной волны со сферически расходящимся волновым фронтом в волну с плоским фронтом и разрушения материала линзы во времени в гиперкумулятивном заряде для перфорации скважин [4-6].

Устройство взрывного генератора плоской волны для кумулятивных перфораторов содержит инициатор 1, предварительный заряд ВВ 2, пустотелая

линза с металлической кумулятивной облицовкой 3, основной заряд ВВ 4 с кумулятивной выемкой 6, корпуса устройства 5. Пустотелая линза с кумулятивной облицовкой 3 может быть выполнена из металлокерамики пропитанной целлулоида с количеством наполнителя изменяющегося в пределах от 20 до 50%.

Работает устройство следующим образом. Инициатор 1 (электродетонатор, детонирующий шнур, капсуль детонатор) возбуждает симметричную детонационную волну в предварительном заряде ВВ 2 с формой формы волны детонации близкой к сферически расходящейся. Сформированная детонационная волна падает на полую линзу кумулятивную облицовку 3. Продукты детонации заряда предварительного заряда ВВ 2 метают пустотелую линзу с кумулятивной облицовкой 3, одновременно возбуждая в материале линзы ударную волну. Пустотелая линза с кумулятивной облицовкой 3 выгибается и приобретает плоскую форму, ударяет по основному заряду ВВ 4 с кумулятивной выемкой 6. В основном заряде ВВ возбуждается детонационная волна с плоским фронтом которая далее взаимодействует с кумулятивной облицовкой с формированием кумулятивной струи. Одновременно ударная волна в материале такой динамической линзы взаимодействуя с материалом наполнителя вызывает разлет материала линзы в радиальном направлении от оси симметрии заряда. Экспериментально определено, что при количестве наполнителя менее 20% разлет материала линзы не происходит. А при количестве наполнителя более 50 % разлет материала линзы происходит очень быстро и инициирование основного заряда ВВ 4 становится неустойчивым. Максимальная скорость разлета материала линзы при количества наполнителя 50% составляет 170-200 м/с. Таким образом, можно, в зависимости от концентрации целлулоида в смеси использовать этот материал в качестве материала для линзы, когда материал не сжимается, а расширяется после взрыва. Это факт оказывается важным, например, в двойных кумулятивных зарядах.

Важным свойством материала линзы в большинстве случаев, должны быть возможность его «рассыпания» после силового воздействия взрыва. В этом направлении перспективны композиционные материалы, в состав которых могут входить вещества содержащие окислитель и горючее и при адиабатическом сжатии превращающиеся в газ, вызывающий разрушение сгустка вспомогательного вещества. В такой среде термодинамического равновесия за фронтом ударной волны в материале облицовки нет. Например, изделие из смеси металлического порошка и целлулоида, где он может быть связующим, или пропитка целлулоид сформированной детали раствором в ацетоне во время кумулятивного взрыва ведут себя таким образом. Целлулоид при высоком давлении разлагается полностью, а нормальных давлениях является безопасным материалом. Из него изготавливают детские игрушки. Тело линзы может быть так же сформировано из полуактивных материалов, например, из смеси металлокерамики или порошков металлов с целлулоидом.

Более того, можно упростить изготовление такого рода деталей, используя например, целлулоид в качестве связующего в конструкции и миновать стадию спекания изделия из порошка до пропитки её целлулоидом, что удешевит и упростит технологию изготовления такого рода изделий.

Для изготовления полуактивной линзы использовались порошки железа. Использовались фракции частиц порошка размером менее 50 мкм, которые отсеивались с помощью сита. Полуактивная линза изготавливалась прессованием заготовок с последующим токарным точением. В качестве наполнителя использовался целлулоид, который предварительно растворялся ацетоном.

Таким образом, рассыпающаяся в радиальном направлении от оси симметрии заряда линза из порошкового или металлокерамического материала пропитанная целлулоидом, не засоряет кусками металла скважинное пространство и повышается эффективность применения кумулятивных зарядов с линзами.

Предлагаемое устройство управления детонационным фронтом прошло экспериментальную проверку и доступно для методов вычислительного эксперимента.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

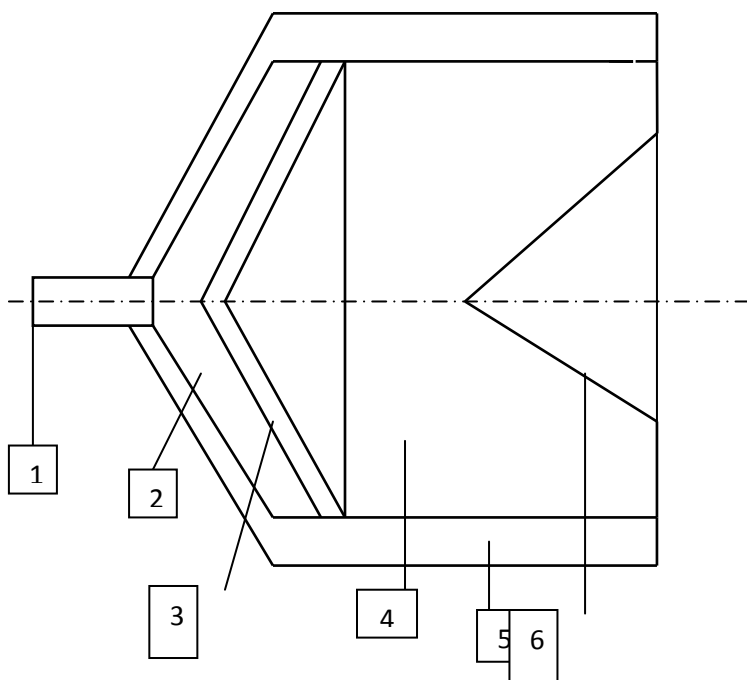


Рис. 1. Устройство взрывного генератора плоской волны для кумулятивных перфораторов. 1 – инициатор, 2 – предварительный заряд взрывчатого вещества, 3 – полая линза, 4 – основной заряд взрывчатого вещества, 5 – корпус, 6 – кумулятивная выемка

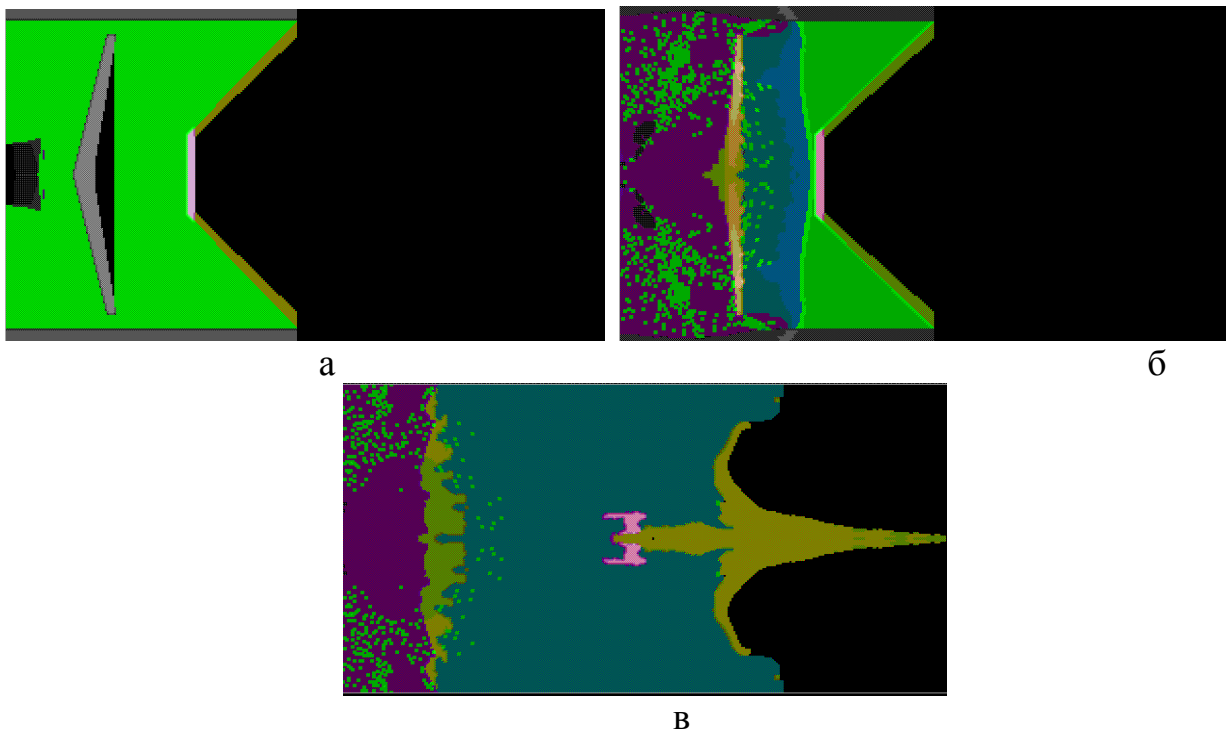


Рис. 2. Процесс преобразования детонационной волны со сферически расходящимся волновым фронтом в волну с плоским фронтом и разрушения материала линзы во времени в гиперкумулятивном заряде для перфорации скважин

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ № 2160880.
2. Патент РФ № 2317406.
3. Положительное решение по заявке № 2013145208 от 11.10.2014, взрывной генератор плоской волны для кумулятивных перфораторов.
4. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.
5. Минин И. В., Минин О. В. Максимальная скорость сплошной кумулятивной струи // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 128–137.
6. Минин И.В., Минин О.В. Кумулятивные заряды. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 199 с.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СОСТАВНЫХ КУМУЛЯТИВНЫХ СТРУЙ В ЗАРЯДАХ ПЕРФОРАТОРА

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Владилен Федорович Минин

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, e-mail: prof.minin@gmail.com

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, тел. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

Предложен новый принцип формирования составной кумулятивной струи в гиперкумулятивных зарядах. Приведены примеры численного моделирования формирования составных струй из различных материалов. Применение кольцевых фокусирующих насадков позволяет получать кольцевые кумулятивные составные струи.

Ключевые слова: кумулятивный заряд, гиперкумулятивная струя, кольцевая струя.

METHOD OF FORMATION OF HIGH-SPEED COMPOUND CUMULATIVE JETS IN CHARGES OF THE PERFORATORS

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, head of a department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

Vladilen F. Minin

Dr. Sci. Tech., professor, the winner of the State premium of the USSR, e-mail: prof.minin@gmail.com

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., doctor of technical sciences, professor of the department of metrology and optical technology, tel. (383)361-07-45, e-mail: prof.minin@gmail.com

New principles of a composite cumulative jet in hypercumulative shaped charges formation are offered. Examples of numerical simulation of the formation of composite jets of different materials are discussed. The applications of focusing ring nozzle produces allow to form the circular cumulative jet components.

Key words: a cumulative charge, hypercumulative jet, ring jet.

В нефтедобывающей промышленности широко используются кумулятивные перфораторы для вскрытия продуктивного пласта в нефтяных и газовых скважинах.

Известен метод формирования кумулятивной струи в кумулятивном заряде, описанный в работе [1], включающий инициирование заряда взрывчатого вещества с выемкой, расположенной с противоположной стороны от инициатора, облицовке выемки низкой тонкой металлической облицовкой с конической формой и с полными углами раствора от 120° до 160° или сегментной (чашеобразной), ограниченной сферическими поверхностями с радиусом кривизны, существенно превышающий диаметр заряда, метании облицовки продуктами взрыва заряда взрывчатого вещества, выгибании материала облицовки вдоль оси заряда с одновременным уменьшением диаметра облицовки и натекания материала облицовки на оси симметрии формируемой кумулятивной струи.

Достоинством данного метода является большая масса формируемой кумулятивной струи, достигающая 90% от массы облицовки, отсутствием песта, что исключает возможность закупоривания перфорационного канала и уменьшения движения флюидов из пласта в скважину. Недостатком указанного метода является низкая скорость формируемой кумулятивной струи, не превышающая 3-5 км/с, малый градиент скорости вдоль струи и малая глубина пробития, порядка диаметра заряда. Малая глубина пробития обусловлена малой длиной формируемой кумулятивной струи.

Так же известен метод формирования кумулятивных струй, описанный в работе [2], включающий инициирование заряда взрывчатого вещества с открытой полостью в форме сферического сегмента в теле шашки в сторону полости, облицовки полости из двух различных материалов, причем внутренний слой облицовки выполнен из материала с меньшей удельной массой, например, алюминия, а слой примыкающий к заряду взрывчатого вещества из материала с большей удельной массой, например, из меди, метания облицовки продуктами взрыва, выворачивания облицовки по оси симметрии заряда в противоположную сторону направления своего движения, отрыва внутреннего слоя облицовки от внешнего, формирование кумулятивной струи из внутреннего слоя облицовки с максимальной скоростью большей, чем максимальная скорость формируемой кумулятивной струи из наружного слоя облицовки.

Первое рабочее тело, образованное из внутреннего слоя облицовки, пробивает стенку обсадной колонны, слой цементного камня, а второе рабочее тело, образованное из наружного слоя облицовки, вслед за первым пробивает далее канал в горной породе, таким образом, для второго рабочего тела создается более оптимальное фокусное расстояние.

Достоинством метода является повышенная эффективность пробития за счет большей длины формируемой составной кумулятивной струи. Недостатком метода является низкая максимальная скорость формируемой кумулятивной струи, не превышающая 3-5 км/с, малый градиент скорости вдоль струи и малая глубина пробития, 2.5-3.5 диаметра заряда. Недостаточная глубина пробития обусловлена малой длиной формируемой кумулятивной струи, так как

максимальная скорость кумулятивной струи сформированной из наружной части облицовки превышает минимальную скорость кумулятивной струи сформированной из внутреннего слоя, происходит не полное разделение составной кумулятивной струи, а малый градиент скорости вдоль струи не может ее растянуть.

Целью работы является дальнейшее повышение глубины перфорационного канала.

Предлагается метод [3] получения составных кумулятивных струй в зарядах перфоратора, включающем инициирование заряда взрывчатого вещества (ВВ) с открытой полостью в форме сферического сегмента в теле заряда ВВ в сторону полости, облицовки полости из различных материалов, при этом каждый последующий слой за слоем, примыкающий к полости заряда ВВ, выполнен из материала с меньшей плотностью относительно материала предыдущего слоя, метания облицовки продуктами взрыва, выворачивания облицовки по оси симметрии заряда в противоположную сторону направления своего движения, отрыва внутреннего слоя облицовки от внешнего, формирование составной кумулятивной струи из внутреннего слоя облицовки с максимальной скоростью большей, чем максимальная скорость формируемой кумулятивной струи из наружного слоя облицовки, при этом облицовка выполняется слоистой с количеством слоев не менее двух, все слои выполняются отдельными и разнотолщинными, с уменьшением толщины слоя от центральной части к периферийной, а со стороны торца заряда с выемкой размещением осесимметричный полый преобразователь с внутренним профилем выполненным преимущественно в форме усеченного конуса, сужающимся в направлении движения кумулятивных струй, при этом в процессе метания и выворачивания кумулятивной облицовки последовательно дополнительно воздействуют на периферийную часть облицовки, с начала на облицовку с меньшей плотностью, затем с большей плотностью за счет их соударения и скольжения частей материала кумулятивной облицовки по внутренней поверхности преобразователя [4-5], преобразуя скорость метания облицовки в радиальную скорость ее сжатия. Форма преобразователя может быть любой, например, кольцевой, для формирования кольцевых кумулятивных струй.

На рис. приведен пример результатов вычислительного эксперимента [6] по функционированию устройства реализующего предлагаемый метод в различные времена времени. Кумулятивный заряд перфоратора содержит заряд ВВ октоген с плотностью 1.75 г/см^3 в корпусе толщиной 1.5 мм диаметром 39 мм. Масса заряда ВВ около 30 грамм. Заряд иницируется детонатором формирующим плоскую детонационную волну. Полый осесимметричный преобразователь выполнен из инертного материала, например, вольфрама, стали с внутренней поверхностью в виде двух сопряженных конусов. Полный внутренний угол раствора формователя примыкающего к облицовке с полным углом 90 градусов и отверстием в нем 10 мм. Вторая часть формователя имеет также внутреннюю коническую поверхность с полным углом раскрытия 28 градусов и диаметром отверстия 8 мм.

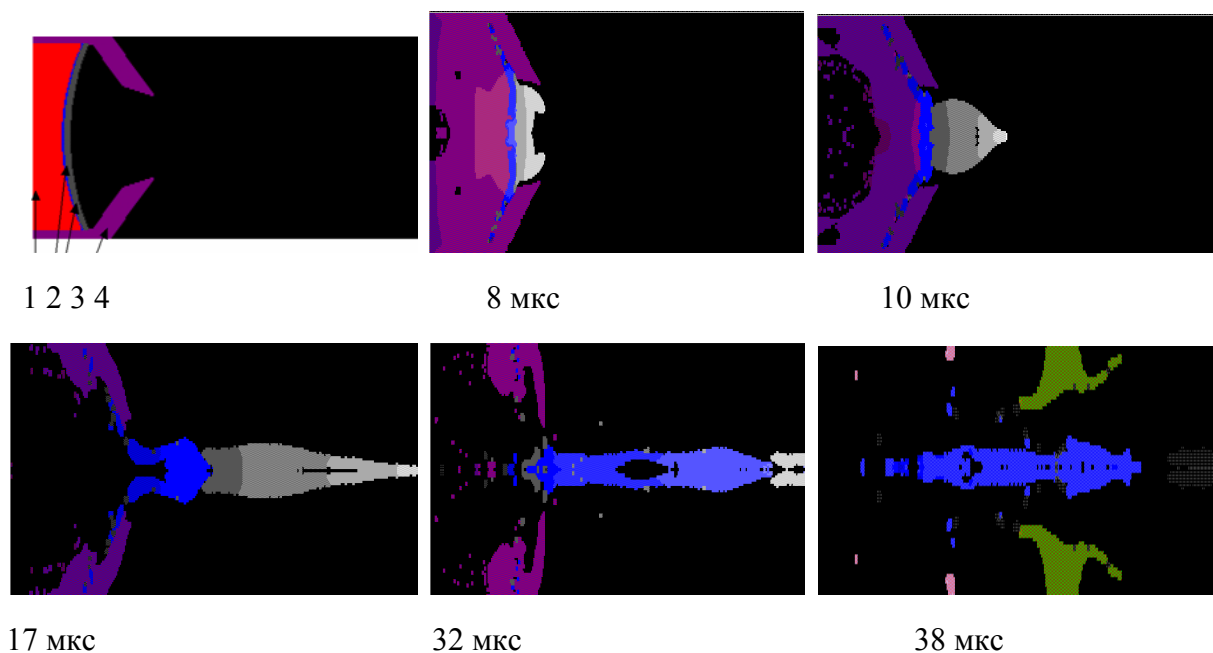


Рис. Пример формирования составных кумулятивных струй и пробития ими сложной преграды. 1 – заряд взрывчатого вещества, 2 – внутренняя облицовка, 3 – внешняя облицовка, 4 – фокусирующий преобразователь

Облицовка выполнена в виде части сферы диаметром 36 мм и со стрелкой прогиба поверхности 6 мм. Облицовка состоит из двух частей. Первая часть, примыкающая к заряду ВВ выполнена из материала с большой плотностью, например, тантала, свинца, молибдена, а облицовка, обращенная к полуму осесимметричному преобразователю из материала с меньшей плотностью, например, меди, железа, цинка, алюминия и т.п. В данном случае выбраны облицовки из свинца и алюминия. Толщина облицовки из свинца по оси симметрии заряда – 1 мм и 0.8 мм на ее периферии. Толщина облицовки из алюминия по оси симметрии заряда – 1.4 мм и 1 мм на ее периферии.

Формирование составной кумулятивной струи происходит следующим образом. Производят инициирование заряда инициатором (электродетонатор) заряда взрывчатого вещества с выемкой облицованной многослойной облицовкой, при этом облицовка с большей плотностью материала примыкает к заряду ВВ, а каждая последующая имеет плотность материала меньшей предыдущей. Детонационная волна в заряде взрывчатого вещества распространяется в сторону выемки и сначала подходит к вершине облицовки и метает ее вдоль оси симметрии заряда. Центральные части облицовки приобретают в направлении оси полости наибольшие импульс и скорость. В результате этого центральные части облицовки выворачиваются в противоположную сторону своего движения, начинается разделение материалов облицовки на несколько частей. Для уменьшения потерь энергии в материале облицовки при разделении облицовок и повышения устойчивости формы поверхности тонких облицовок при их деформации они выполняются раздельными. Затем, периферийные части обли-

цовки метаются и приходят в принудительное взаимодействие с осесимметричным полым преобразователем, скользят по его внутренней поверхности и преобразуют соевую скорость метания в радиальную скорость сжатия материала облицовки. В результате этого формируется кольцевая кумулятивная струя которая соударяется на оси симметрии заряда до прихода центральной части облицовки, формируя высокоскоростную массивную кумулятивную струю в направлении по оси симметрии заряда в сторону от его выемки. Оконечная часть струи подпирается и ускоряется материалом центральной части облицовки с малой плотностью материала. Для согласования времен формирования высокоскоростной кумулятивной струи и струи из центральной части облицовки они выполняются разнотолщинными. Так как облицовка с большей плотностью материала метается с меньшей скоростью, то процесс повторяется и формируется кумулятивная струя 7 и материала с большей плотностью. В результате формируется составная непрерывная кумулятивная струя из материалов с различной плотностью с непрерывным, гладким градиентом скорости, позволяющим растянуть струю и создать оптимальные фокусные расстояния для различных участков струи с различной плотностью. Отметим, что часть составной кумулятивной струи с большей плотностью материала имеет более низкую критическую скорость, чем высокоскоростная часть кумулятивной струи из материала с меньшей плотностью. Критическая скорость, это минимальная скорость кумулятивной струи, при которой она может совершить полезную работу по пробитию для данных соотношений плотностей материалов струи преграды.

При малых отношениях толщины облицовки к входному диаметру преобразователя, волны разряжения существенно снижают значения параметров ударной волны еще до прихода на ось симметрии, что приводит к меньшему росту скорости передней поверхности метаемого материала облицовки. Одновременно на стенках преобразователя образуется кольцевая струя, опережающая материал облицовки на оси симметрии заряда и с углом схождения на ось симметрии более 180 градусов. При соударении ее, на оси симметрии заряда, формируется высокоскоростное массивное тело, которое поджимается далее материалом облицовки.

В начале процесса формирования кумулятивной струи из алюминиевой облицовки, максимальная осевая скорость V_z материала облицовки по оси симметрии заряда равна 3.59 км/с, а скорость боковых (кольцевых) струй 5.23 км/с, радиальная скорость V_r -2.7 км/с. Максимальная скорость осевая V_z материала облицовки из свинца по оси симметрии заряда 2.7 км/с. Далее боковые кольцевые струи схлопываются на оси симметрии заряда и поджимаются своеобразным поршнем из материала облицовки, формируя высокоскоростное тело с максимальной скоростью 10.55 км/с. Максимальный диаметр формируемого алюминиевого тела 12.7 мм. Материал алюминиевой облицовки, после взаимодействия с внутренней поверхностью фокусирующего формирователя полностью ушел на формирование высокоскоростного тела. Пест в этой струе отсутствует.

В результате возникших градиентов скоростей вдоль алюминиевой струи она увеличивает свою длину. При этом произошел откол материала струи от ее головной части со скоростью 9.8 км/с, максимальная скорость основной струи стала 9.02 км/с. Диаметр алюминиевой струи уменьшился до 9.3 мм. Происходит одновременный процесс формирования высокоскоростного тела из второй облицовки.

Первое тело пробивает слой жидкости между перфоратором и обсадной трубой, слой цементного камня и некоторую часть породы. Второе рабочее тело вслед за первым пробивает далее канал в горной породе. Первое тело, таким образом, не только преодолевает первоначальные преграды, но и обеспечивает большее дополнительное пространство, создающее оптимальное фокусное расстояние, с которого реализуется его наибольшее пробивное действие. Получаем своеобразный тандемный заряд.

Сформированная алюминиевая струя с фокусного расстояния 45 мм пробивает в железной стенке толщиной 10 мм отверстие со входным отверстием 20-21 мм и выходным порядка 26 мм.

Известны две разновидности тандемных зарядов [7], отличающихся очередностью срабатывания входящих в их состав кумулятивных зарядов. В одной из них, первой срабатывает кумулятивный заряд, установленный спереди, а во второй схеме первым срабатывает кумулятивный заряд установленный сзади. Подобные заряды ориентированы на получение максимальной глубины пробития мишени.

В данном кумулятивном перфораторе используется только один заряд ВВ и две или более облицовок. При этом отсутствует узел задержки между зарядами. Все это позволяет уменьшить продольные габариты тандемного перфоратора.

В процессе движения кумулятивных высокоскоростных тел происходит их разделение. Минимальная скорость алюминиевой струи равна 3.14 км/с, а максимальная скорость струи из свинца равна 3.1 км/с. Формируется непрерывное высокоскоростное тело из двух или более материалов: высокой и низкой плотности. Диаметр сформированного тела около 6-6.5 мм.

Особенностями подобных зарядов является то, что максимальные скорости формируемых высокоскоростных тел значительно больше по сравнению с максимальными скоростями, получаемыми из широкоугольных облицовок, как в прототипе. Получаемые минимальные скорости составной кумулятивной струи достаточны для пробития бетона, а большой диаметр струй приводит к перфорации отверстия большого диаметра.

Аналогичным способом может быть реализован заряд, содержащий три и более облицовок, например, из тантала, цинка и алюминия.

В работе предложен новый принцип формирования составной кумулятивной струи. Использование данного метода позволит получить длинные составные кумулятивные струи из различных материалов с максимальной скоростью головной частью головной частью струи, с возможностью управления распределения плотности материала струи вдоль струи и повысить эффективность пробития в 1.5- 2 раза.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Средства поражения и боеприпасы / А.В. Бабкин, В.А. Велданов, Е.Ф. Грязнов и др.; Под общ. Ред. В.В. Селиванова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 984 с.
2. Патент РФ №2250359, МПК E21B43/117, F42B1/028, опубл. 20.04.2005.
3. Положительное решение по заявке № 2013145542, Способ получения составных кумулятивных струй в зарядах перфораторах.
4. Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. Новосибирск: ООО «Новополиграфцентр», 2013 – 272 с.
5. Патент 2412338 Российская Федерация, МПК E43/117, F42B1/02. Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром / Минин В.Ф., Минин И.В., Минин О.В.; заявл. 07.12.2009; опубл. 20.02.2011, Бюл. №5. – 46 с.
6. Computational fluid dynamics. Technologies and applications / Ed. By Igor V. Minin and Oleg V. Minin. Croatia: INTECH- 2011. – 396 p. V. F. Minin, I.V. Minin, O.V. Minin Calculation experiment technology, pp. 3- 28.
7. Минин И.В., Минин О.В. Кумулятивные заряды. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 199 с.

© О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Валерий Иванович Ознобихин

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Валерий Борисович Ромодин

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Татьяна Викторовна Ячменева

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 2-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: mtv1688-09h@yandex.ru

Приводится сравнительный анализ эффективности двух целевых функций. Первая функция составлена из требований к диаграмме направленности, во второй минимизируются амплитудно-фазовые ошибки. Расчеты проводятся на примере 12-ти элементной эквидистантной решетки с дольф-чебышевским распределением токов по элементам и волноводно-щелевой антенны, состоящей из 12 одинаковых продольных щелей.

Ключевые слова: оптимизация, целевая функция, антенная решетка.

RESEARCH OF THE CRITERION FUNCTIONS USED AT DESIGN OF ANTENNA LATTICES

Valery I. Oznobishin

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, senior researcher, tel. (383)216-05-48, e-mail: ozval@mail.ru

Valery B. Romodin

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, laboratory chief, tel. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Tatiana V. Yachmeneva

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: mtv1688-09h@yandex.ru

The comparative analysis of efficiency of two criterion functions is provided. The first function is made of requirements to the polar pattern, in the second is minimized the amplitude and phase errors. Calculations are carried out on the example of twelve element equidistant lattice with Dolph-Chebyshev distribution of currents on the elements and the waveguide-slot antenna, consisting of twelve of the same type of longitudinal slots.

Key words: optimization, criterion functions, antenna array.

Проектирование антенных решеток, как правило, связано с оптимизацией тех или иных параметров антенны с целью получения требуемых характери-

стик, Важнейшим этапом оптимизации является выбор соответствующей целевой функции (функционала). В антенных задачах наиболее часто используется целевая функция, составленная из необходимых требований к диаграмме направленности (ДН) [1]. Также возможен вариант целевой функции, в которой используется амплитудно-фазовое распределение (АФР), например, сумма амплитудных и фазовых ошибок, что сводится к нахождению требуемого АФР.

Рассмотрим вначале использование этих целевых функций на примере 12-ти элементной решетки однотипных излучателей. ДН такой системы рассчитывается по формуле:

$$U(\theta) = F(\theta) \cdot \sum_{n=1}^N I_n e^{ikd(n-1)(\cos\theta - \cos\theta_0)}, U(\theta) = 20 \lg \frac{|U(\theta)|}{|U_{\max}(\theta_{0p})|}, \quad (1)$$

где $F(\theta)$ - ДН излучателя, I_n - токи возбуждения, i - мнимая единица,

k - волновое число ($k = 2\pi / \lambda$), d - шаг решетки, N - число излучателей.

Оптимизация по ДН заключается в нахождении токов возбуждения (I_n) таких, чтобы ДН удовлетворяла необходимым требованиям. Если форма ДН не специальная, то эти требования сводятся к уровню боковых лепестков (УБЛ) в передней и задней зонах, углу наклона максимума и его ширине (по уровню -3 дБ, или «по нулям»). Тогда целевая функция, например, может иметь вид [1]:

$$f_1 = c_1 \cdot |P_n + 2 \cdot P_{ref}| + c_2 \cdot |\Delta\theta_t - \Delta\theta_p| / \Delta\theta_t + c_3 \cdot |U_{1t} - U_{1p}| / U_{1t} + c_4 \cdot |U_{2t} - U_{2p}| / U_{2t}, \quad (2)$$

где P_n и P_{ref} - мощность идущая в нагрузку и мощность, отраженная от антенны, $\Delta\theta_t, \Delta\theta_p$ - заданная (требуемая) и расчетная ширина максимума (по уровню -3дБ) ДН,

U_{1t}, U_{1p} - заданные и расчетные значения УБЛ в передней зоне излучения,

U_{2t}, U_{2p} - заданные и расчетные значения УБЛ в задней зоне излучения,

c_1, c_2, c_3, c_4 - весовые коэффициенты (Лагранжа).

Если требуемый уровень боковых лепестков в передней и задней зоне одинаковый, то последние два члена в (2) можно заменить одним, с максимальным расчетным УБЛ. Для получения соответствующей крутизны главного максимума необходимо ввести его ширину «по нулям», тогда вторую составляющую в (2) можно опустить. Для простой решетки $c_1=0$.

При оптимизации будем использовать генетический алгоритм [1]. В качестве примера рассмотрим дольф-чебышевское (ДЧ) распределение токов (I_n). Как известно, оно является оптимальным [2]. Пусть УБЛ задан на -25 дБ, тогда минимальная ширина максимума равна 10° . Соответствующее ДЧ распределение I_n приведено в табл. (первая строка).

Оптимизация по формуле (2) для получения соответствующих параметров занимает порядка тысячи итераций, причем, количество распределений (I_n), реализующих данные требования, множество, но все они отличаются от ДЧ, т.е. не являются оптимальными. Во второй строке таблицы приведено одно из них.

Для УБЛ -40 дБ минимальная ширина максимума равна 12°. Соответствующее ДЧ распределение I_n приведено в третьей строке таблицы.

Многочисленные расчеты показали, что в этом случае для успешной оптимизации необходимо ввести в (2) ширину максимума по нулям. Число итераций в этом случае равно примерно 3÷4 тысячи. Полученное распределение приведено в таблице (четвертая строка).

Таблица

УБЛ	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}	I_{11}	I_{12}
-25	0.423	0.457	0.637	0.803	0.931	1	1	0.931	0.803	0.637	0.457	0.423
-25	0.401	0.334	0.580	0.801	0.886	0.799	1	0.708	0.646	0.508	0.394	0.368
-40	0.117	0.257	0.463	0.690	0.886	1	1	0.886	0.690	0.463	0.257	0.117
-40	0.151	0.295	0.461	0.524	0.788	0.969	1	0.802	0.605	0.349	0.188	0.092
-27	0.319	0.367	0.572	0.765	0.913	0.997	1	0.912	0.764	0.572	0.444	0.252
-17	0.492	0.314	0.575	0.760	0.920	0.996	1	0.916	0.760	0.557	0.425	0.265

Теперь рассмотрим целевую функцию, составленную из сумм амплитудных и фазовых ошибок:

$$f = c_1 \cdot |P_n + 2 \cdot P_{ref}| + c_2 \cdot \sum_n |I_n - I_{zn}| + c_3 \cdot \sum_n |d\varphi_n|, \quad (3)$$

где I_{zn}, I_n - заданный и оптимизируемый токи на n-том излучателе,
 $d\varphi_n$ - фазовая ошибка на n-том излучателе,
 c_1, c_2, c_3 - весовые коэффициенты (Лагранжа).

При данной целевой функции (для двух приведенных выше ДЧ распределений) потребовалось порядка 10^5 число итераций, чтобы суммарная амплитудная и фазовая ошибка была порядка 0.1. При такой ошибке ДН практически не отличается от дольф-чебышевской.

Таким образом, оптимизация по целевой функции (3) примерно на два порядка медленнее, чем по функции (2). Но (2) дает не оптимальное решение, которое, к тому же, менее устойчивое к случайным ошибкам. Если требуется оптимальное решение, то для ускорения счета, можно предложить следующий алгоритм. Вначале оптимизация проводится по (2), затем полученное решение используется в качестве начального приближения для функции (3). Как показали расчеты, при таком алгоритме требуется число итераций порядка 10^4 , т.е., скорость сходимости повышается на порядок.

Рассмотрим теперь волноводно-щелевую антенну (ВЩА), состоящую из 12-ти продольных щелей одинаковой длины. Оптимизация заключается в нахождении смещений и длин щелей, для получения требуемой ДН и энергетики антенны. Для расчета АФР и ДН использовалась матричная модель ВЩА [3].

Оптимизация с использованием целевой функции (2) довольно подробно рассмотрена в работах [1,4]. Заметим, что при случайном начальном приближении, примерно за 2 тысячи итераций были получены хорошие результаты [1]. При соответствующем начальном приближении число итераций можно уменьшить до 500-600 [4].

Оптимизация по функции (3) оказалась проблематичной. Как показано выше (для решетки), необходимо порядка 10^5 число итераций для получения оптимального решения. Для ВЦА такое число итераций выполнить пока не удалось, так как, например, время расчета двух тысяч итераций занимает около восьми часов. Были получены результаты с приемлемыми диаграммными показателями, но энергетика антенны оставляет желать лучшего, и наоборот. Например, на рисунке 1 приведена удовлетворительная ДН одного из вариантов. Здесь излученная мощность равна 0.67, мощность, идущая в нагрузку – 0.32, КСВ=1.02. Соответствующее амплитудное распределение тока по щелям приведено в пятой строке таблицы. Суммарная фазовая ошибка, при этом, равна 69° . На рисунке 2 показана неудовлетворительная ДН, но излученная мощность равна 0.943, мощность, идущая в нагрузку – 0.046, КСВ=1.092. Амплитудное распределение приведено в шестой строке таблицы, суммарная фазовая ошибка равна 131° .

Вполне возможно, что при одинаковых размерах щелей одним их смещением оптимального решения получить нельзя.

Хорошие результаты показала «гибридная» целевая функция, составленная из функции (2) с добавлением ширины главного максимума «по нулям». На рисунке 3 приведена ДН, полученная с помощью такой функции со случайного начального приближения примерно за пять тысяч итераций, при этом, излученная мощность равна 0.96, мощность, идущая в нагрузку – 0.02, КСВ=1.03.

Таким образом, в задачах, в которых расчет целевой функции требует достаточно много времени, рационально использовать функцию вида (2). Но она не дает оптимального решения и более чувствительна к случайным ошибкам. Для функции вида (3) характерна медленная сходимость, но она приводит к оптимальному решению (заданному АФР).

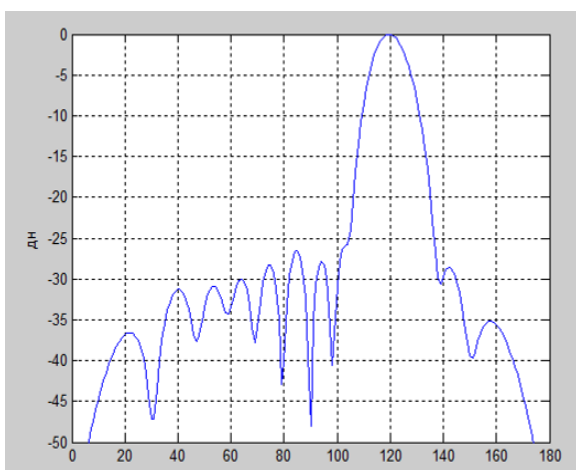


Рис. 1

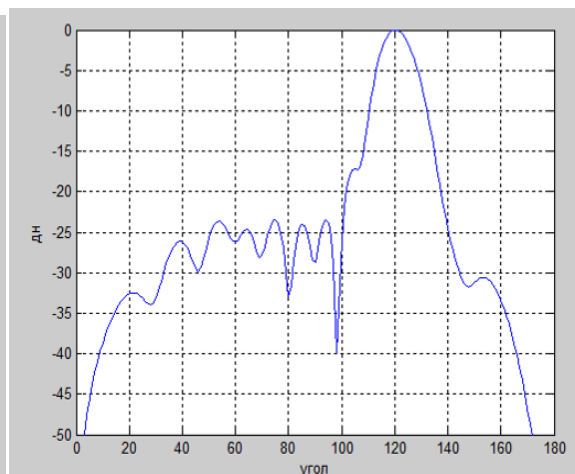


Рис. 2

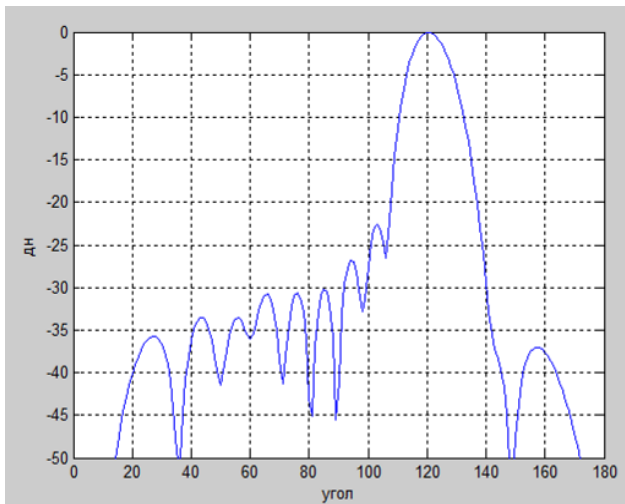


Рис. 3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ознобихин В.И., Ромодин В.Б. Оптимизация волноводно-щелевых антенн методом генетического алгоритма / Сборник трудов МНТК \"Четвертые Уткинские чтения\". Секция \"Ракетно-космическая техника и технология\" Том 1, сс.230-232. БГТУ \"Военмех\", Санкт-Петербург, Россия, 2009 г.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны / М.: Энергия, 1975 г.
3. Ромодин В.Б. Матрица рассеяния волноводно-щелевой антенны // Системы и средства передачи информации / Сборник научных трудов учебных институтов связи.-Л.:1985. С.49-54.
4. Ознобихин В. И., Ромодин В. Б., Ячменева Т. В. О проектировании волноводно-щелевых антенн // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2014» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 2. – С. 215–218.

© В. И. Ознобихин, В. Б. Ромодин, Т. В. Ячменева, 2015

АДАПТИВНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОМЕХ В КОМПЛЕКСИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ БЛИЖНЕЙ ЛОКАЦИИ

Мария Владимировна Орлова

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)216-05-68

Рассматривается возможность взаимной компенсации пространственно-связанных активных помех в комплексированных системах ближней локации. Предлагается активный адаптивный трансверсальный фильтр, содержащий специальный генератор, воспроизводящий спектральные составляющие, отсутствующие в помехе с меньшей шириной спектра.

Ключевые слова: комплексированная система ближней локации, взаимная компенсация помех, адаптивный трансверсальный фильтр, специальный генератор компенсирующих спектральных составляющих.

ADAPTIVE JAMMING COMPENSATION IN COMPLEX SHORT-RANGE LOCATION SYSTEMS

Maria V. Orlova

OJSC Scientific Research Institute of Electronic Devices, 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva St., Ph. D., Associate Professor, Senior Researcher, tel. (383)216-05-68

A possibility of mutual active jamming signals compensation in complex short-range location system is considered. An active adaptive transversal filter is proposed that contains a special spectral components generator to improve inter-channel jamming compensation.

Key words: complex short-range location system, mutual jamming compensation, adaptive transversal filter, special spectral components generator.

Одной из актуальных задач при разработке локационных систем в настоящее время является защита от различного вида помех. Метод компенсации активных помех широко применяется при проектировании адаптивных антенных решеток [1] и многопозиционных РЛС [2]. В комплексированных системах ближней локации наиболее интересна задача разработки адаптивных устройств, обеспечивающих взаимную компенсацию пространственно-связанных помех, то есть помех, источники которых имеют определенное не изменяющееся друг относительно друга расположение, при наличии корреляционных связей различной степени, а также помех, имеющих различную ширину спектра [3], [4].

На рис. 1 приведена структурная схема трехканальной комплексированной системы ближней локации, предусматривающая взаимную компенсацию коррелированных помех, алгоритм работы которой подробно рассмотрен в [4]. Суть компенсации - в формировании в каждом канале компенсирующих напряжений в зависимости от интенсивности помеховых сигналов в каждом канале системы а также от степени корреляционных связей между помехами в раз-

личных каналах (N_{0i} - спектральная плотность мощности помехи в i -м канале, r_{ij} - коэффициент межканальной корреляции помех, $i, j = 1, 2, 3$). При высокой степени корреляции помех реализуется практически полная их компенсация. На рисунке показана только схема компенсации помех - далее с входов сумматоров в каждом канале сумма сигналов и нескомпенсированных остатков помех пропускается через согласованные фильтры, и результирующая сумма по всем трем каналам сравнивается с порогом.

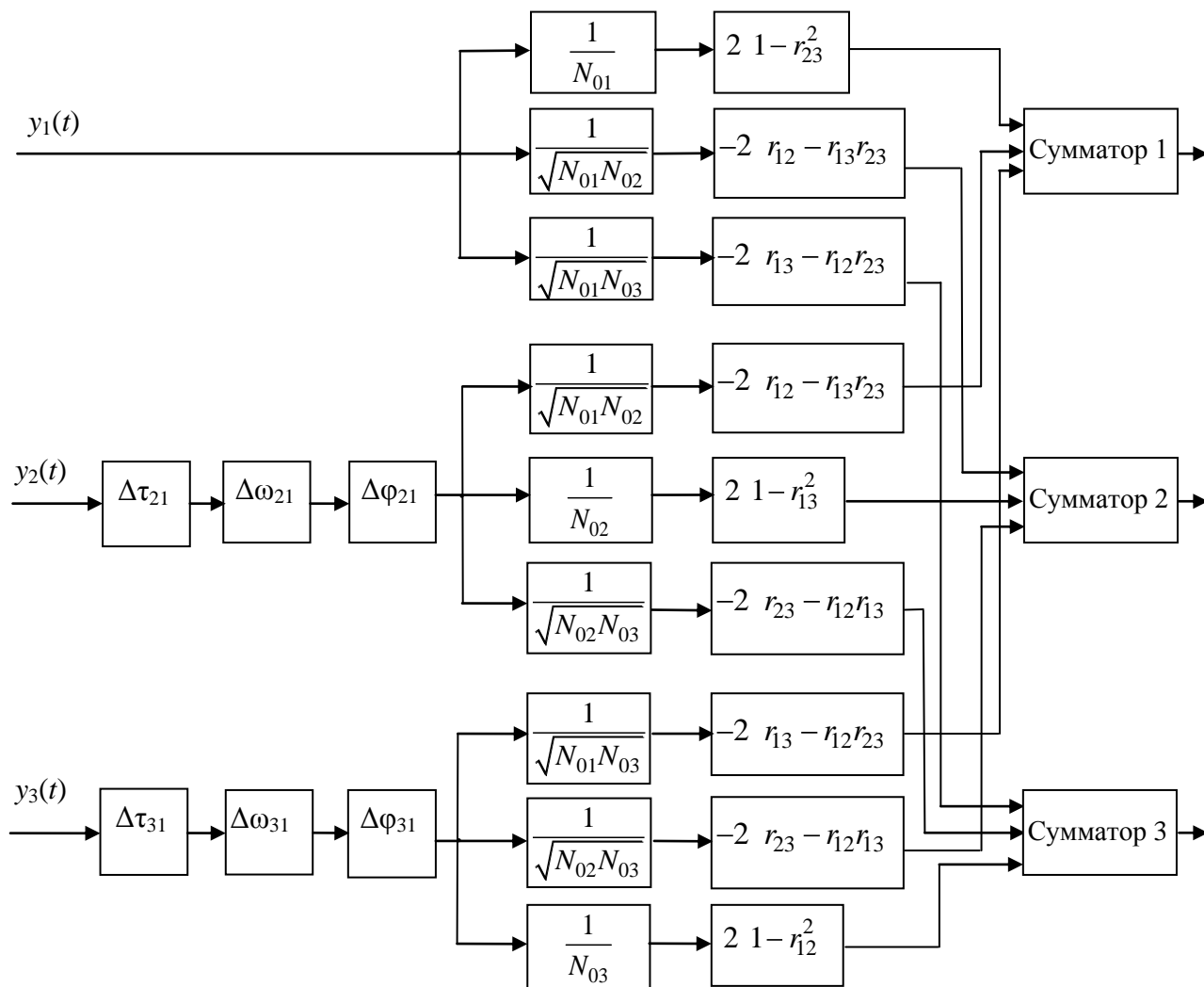


Рис. 1. Структурная схема трехканальной комплексированной системы

Алгоритмы обнаружения сигналов на фоне помех также могут быть реализованы в виде обработки спектральных функций, являющихся преобразованиями Фурье от временных корреляционных функций, при этом устройство взаимной компенсации помех разрабатывают на основе трансверсальных фильтров [2, 3]. В оптимальных обнаружителях организуется подавление (когерентная компенсация) пространственно-коррелированных помех с помощью многоканального винеровского фильтра [2], благодаря чему достигается минимум дисперсии (мощности) помех и шумов. Схема компенсации помех предусматривает пропускание входных сигналов локационной системы через многоканальный

винеровский фильтр с коэффициентами передачи каналов K_{ik} (i - индекс компенсируемого канала, k - индекс компенсирующего канала). Фильтр Винера обеспечивает наилучшее приближение (с противоположным знаком) суммы помех и шумов, действующих на входах всех приемных позиций, кроме i -й, к помехам и шумам i -й позиции). Частотную характеристику фильтра представляют обобщенным рядом Фурье

$$K_{ik}(\omega) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} C_{ikl} \varphi_l(\omega), \quad (1)$$

где $\varphi_l(\omega)$ - ортонормированная и полная на интервале $\omega_0 - \omega_c, \omega_0 + \omega_c$

произвольная система комплексных функций;

C_{ikl} - коэффициенты Фурье, определяемые по формуле:

$$C_{ikl} = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_0 - \frac{1}{2}\Delta\omega_c}^{\omega_0 + \frac{1}{2}\Delta\omega_c} K_{ik}(\omega) \varphi_l^*(\omega) d\omega, \quad i, k = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где m - количество каналов; ω_0 - несущая частота зондирующего сигнала; $\Delta\omega_c$ - ширина спектра зондирующего сигнала.

Для улучшения качества компенсации помех в комплексированных локационных системах предлагаются активные адаптивные трансверсальные фильтры. Структурная схема активного адаптивного трансверсального фильтра для двухканальной системы приведена на рис. 2.

Для адаптивного формирования коэффициентов Фурье можно использовать различные алгоритмы, например, на основе корреляционной обратной связи. В реальных условиях количество ортогональных каналов l должно быть ограниченным, и каждый фильтр с коэффициентом передачи $K_{ik}(\omega)$ заменяется многоканальным трансверсальным фильтром с коэффициентом передачи

$$H_{ik}(\omega) = \sum_{l=-N}^N W_{ikl} \varphi_l(\omega). \quad (3)$$

Весовые коэффициенты W_{ikl} выбираются таким образом, чтобы они были пропорциональны взаимной корреляции процесса на выходе ортогонального фильтра k -го канала с характеристикой $\varphi_l(\omega)$ и процесса на выходе i -го канала.

В качестве ортогональных фильтров $\varphi_l(\omega)$, $l = \overline{-N, N}$ обычно выбирают систему узкополосных фильтров с непересекающимися прямоугольными и линейными фазочастотными характеристиками. С помощью системы узкополосных фильтров и подстраиваемых весовых коэффициентов устраняются различия помеховых сигналов в каналах системы для их последующего суммирования и компенсации.

В реальных условиях матрица энергетических спектров суммы помех и собственных шумов обычно неизвестна и может меняться во времени, поэтому необходимо разрабатывать адаптивные алгоритмы, учитывающие изменение характеристик помех во времени.

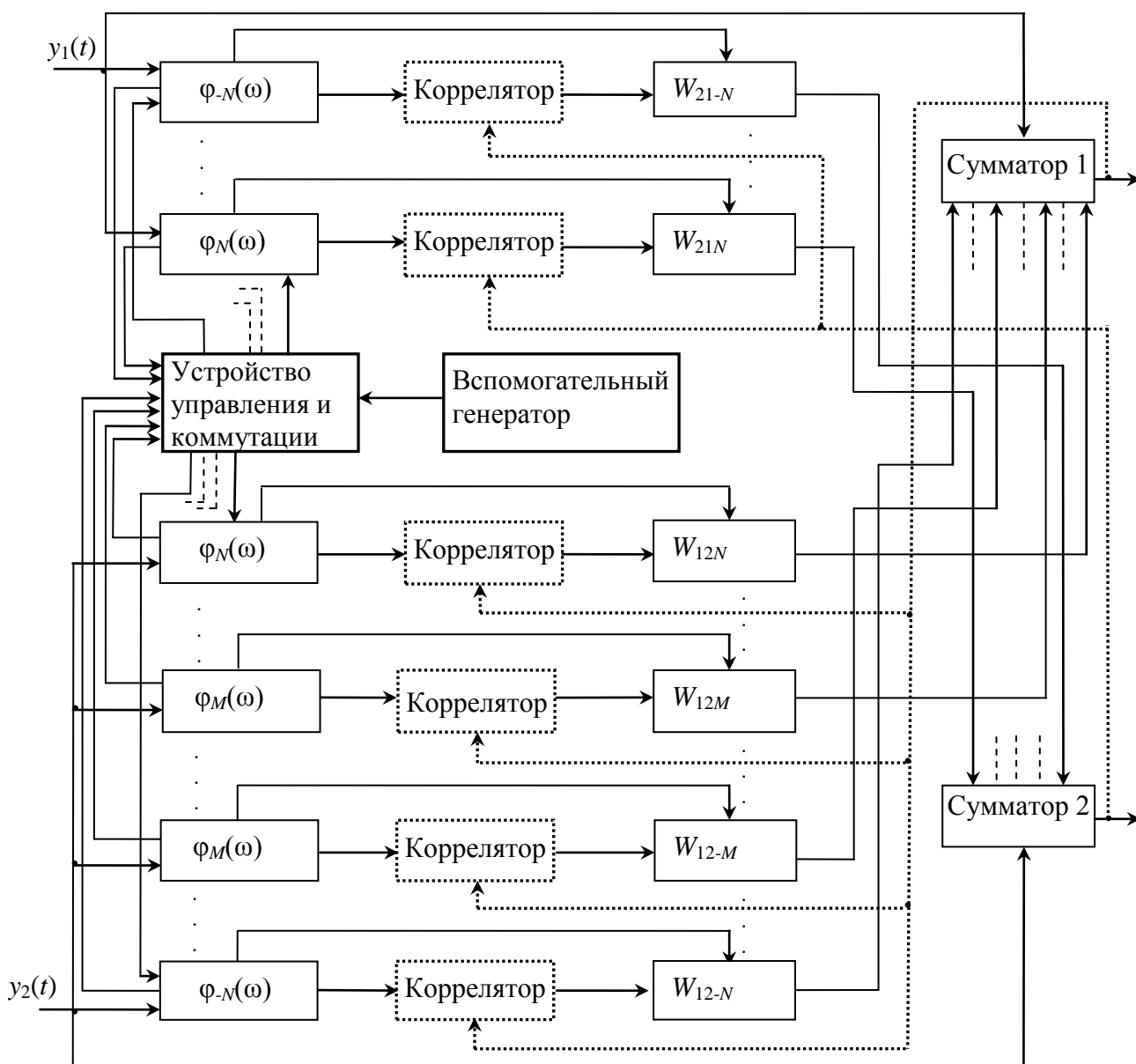


Рис. 2. Структурная схема активного адаптивного трансверсального фильтра для компенсации помех в двухканальной комплексированной системе

Весовые коэффициенты, формирующие компенсирующие напряжения, определяются на основе оценок корреляционных матриц помех и собственных шумов каналов системы. Статистические оценки могут проводиться по заранее выбранному критерию оптимальности, например, по критерию максимума отношения правдоподобия.

В комплексированных локационных системах ширина спектра помех в различных каналах может значительно отличаться, при этом обеспечить пол-

ное подавление активных помех с помощью пассивных трансверсальных фильтров невозможно. На рисунке 2 изображена система подавления (компенсации) помех активного адаптивного трансверсального фильтра.

На входы сумматоров первого и второго каналов поступают непосредственно входные сигналы $y_1(t)$ и $y_2(t)$ а также компенсирующие напряжения с выходов блоков весовых коэффициентов W . В целом схема оптимального обнаружителя предусматривает дальнейшую оптимальную фильтрацию сигналов с выхода сумматора каждого канала и сравнение результирующей суммы с порогом. Отличием приведенной схемы от схемы адаптивного трансверсального фильтра, приведенной в [2], является наличие вспомогательного генератора, воспроизводящего спектральные составляющие, отсутствующие в помеховом сигнале с меньшей шириной спектра, а также наличие устройства управления и коммутации. Адаптация схемы компенсации осуществляется по классифицированной выборке помехового сигнала до момента времени, начиная с которого может появиться полезный сигнал, то есть сигнал, отраженный от обнаруживаемого объекта. При приеме помеховых сигналов анализируется ширина спектра помехи в каждом канале с помощью систем ортогональных фильтров $\varphi_l(\omega)$. Помеха, принимаемая компенсирующим каналом, пропускается через систему узкополосных фильтров; с выходов фильтров напряжение подается на блоки весовых коэффициентов W_{ikl} и на корреляторы, на вторые входы которых подается напряжение с выхода сумматора компенсируемого канала. Величина коэффициентов W_{ikl} регулируется напряжением с выходов корреляторов. Напряжения с выходов блоков весовых коэффициентов W_{ikl} подаются на сумматор компенсируемого канала.

Если ширина спектра помехи в компенсирующем канале меньше, чем в компенсируемом, например, в первом канале помеха присутствует во всех узкополосных фильтрах $\varphi_N \dots \varphi_{-N}$, а во втором канале - только в фильтрах $\varphi_M \dots \varphi_{-M}$, устройство управления и коммутации подает на узкополосные фильтры, в которых отсутствует помеха, сигнал с выхода вспомогательного генератора. При большом числе ортогональных каналов и высокой скорости адаптации весовых коэффициентов такой трансверсальный фильтр может устранить амплитудные и фазочастотные различия помех, однако при проектировании таких компенсационных каналов следует учитывать, что при большой ширине спектров помех и большом различии спектров помех в различных каналах схема фильтра может оказаться очень сложной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Монзинго Р.А., Миллер Т.У. Адаптивные антенные решетки. – М.: Радио и связь, 1986. – 448 с.
2. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. - М.: Радио и связь, 1989. - 440 с.
4. Орлова М.В. Обработка сигналов в комплексированных системах ближней локации: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 76 с.

© М. В. Орлова, 2015

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ВИБРОИСПЫТАНИЙ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Пётр Иванович Остроменский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 2, доктор технических наук, профессор; ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Валерий Григорьевич Эдвабник

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по развитию, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Работа посвящена способом повышения достоверности и надежности виброиспытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БЭА) на основе теоретических и прикладных результатов, полученных в течение ряда лет специалистами одного из ведущих разработчиков отечественной БЭА – НИИ электронных приборов, г. Новосибирск. Рекомендации по достигнутым результатам нашли отражение в отраслевом стандарте по виброиспытаниям БЭА, до сих пор не утратившим своего значения.

Ключевые слова: виброиспытания, достоверность, надежность, испытательные режимы, бортовая электронная аппаратура, вибростенд, виброускорение, приспособление для виброиспытаний.

MODERN WAYS OF INCREASING THE RELIABILITY OF VIBRASPHERE ONBOARD ELECTRONIC EQUIPMENT

Peter I. Ostromecki

Novosibirsk Siberian technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, Karl Marks avenue, 20, Professor, doctor of technical Sciences; JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, Pisarev str., 53, Deputy General Director for development, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Valery G. Edvabnik

JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, Pisarev str., 53, Deputy General Director for development, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

The work is devoted to a method of increasing accuracy and reliability of vibrasphere onboard avionics (BEA) on the basis of theoretical and applied results obtained over several years by experts one of the leading developers of domestic BEA - Institute of electronic devices, Novosibirsk. Recommendations on the results achieved are reflected in industry standard fibroepithelial BEA, still has not lost its value.

Key words: shaking tests, validity, reliability, test modes, on-Board electronics, shaker, vibration acceleration, a device for vibrasphere.

В работе приведены теоретические обоснованная каждой из указанных ниже рекомендаций:

1. Переходные столы, устанавливаемые между основным столом вибростенда и технологическим приспособлением для испытаний, необходимо устанавливать из бериллия [1, 3, 5].

2. В стыках между столом вибростенда и накладным столом, а также между накладным столом и приспособлением для виброиспытаний использовать тонкие упругопластичные плёнки (полиэтилен толщиной 40-80 Мкм) [6, 7, 8].

3. При виброиспытаниях БЭА использовать управление рабочим режимом вибростенда с помощью условной точки. Для формирования условной точки управления используется сигнал, равный полусумме значений виброускорения, измеренных в противоположащих контрольных точках (контрольные точки должны располагаться вблизи мест применения БЭА в объекте) [2, 4].

4. При аттестации приспособлений для виброиспытаний БЭА в части соответствия поперечных ускорений заданным необходимо «разделять» инерционные и деформационные составляющие вибрации. Разделение этих составляющих осуществляется алгебраическим сложением величин поперечных ускорений, измеренных в противоположащих контрольных точках [9, 10, 11].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аппаратура радиоэлектронная и приборы. Методы виброиспытаний нормальной и повышенной точности. ОСТ 884-1742-87

2. Варламов Р.Г. Компоновка радиоэлектронной аппаратуры. -2-е изд. перераб. и доп. – М.: Сов. радио, 1975 - 351с.

3. Волошин А.В., Остроменский П.И. Использование модели упругого контактного слоя при расчётах собственных частот составных конструкций: труды научных школ НГТУ. – Новосибирск, 2008.-188с.

4. Карпушин В.Б. Виброшумы радиоаппаратуры. – М.: Сов. радио, 1977.-318с.

5. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие в 3-х кн. – М.: Машиностроение, 1977 –кн.1, 400с.

6. Остроменский П.И. Вибрационные испытания радиоаппаратуры и приборов. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного университета, 1992. – 173с.

7. Остроменский П.И. Пространственная неустойчивость вынужденных колебаний системы «вибратор-изделие». / Исследования механических систем виброударного действия: Межвуз. ст. науч. тр. - Новосибирск: НЭТИ, 1979 – с. 42-45

8. Остроменский П.И., Волошин А.В. К расчёту резонансных частот составных конструкций. /Вопросы динамики механических систем/ Новосибирский электротехнический институт. – Новосибирск, 1989, с.90-97.

9. Трение, изнашивание и смазка: Справочник в 2-х кн./под ред. И.В. Крагельского и В.А. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – кн.1, 368с.

10. Эдвабник В.Г. Некоторые фундаментальные задачи теории обобщённой проводимости. – Сибирский научный вестник, 1999, вып. 3, с. 276-291.

11. Эдвабник В.Г. Обобщённая проводимость смесей, содержащих включения с нулевой и бесконтактной проводимостью.

© П. И. Остроменский, В. Г. Эдвабник, 2015

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА ОСКОЛОЧНЫХ МИН НАПРАВЛЕННОГО ПОРАЖЕНИЯ

Андрей Витальевич Комлацкий

Военный учебно-научный центр сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации» (филиал, г. Новосибирск), 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, курсант, тел. (383)332-50-45

Евгений Владимирович Проскуряков

Военный учебно-научный центр сухопутных войск «Общевойсковая академия Вооруженных Сил Российской Федерации» (филиал, г. Новосибирск), 630117, Россия, г. Новосибирск, ул. Иванова, 49, кандидат технических наук, профессор кафедры, тел. (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

В данной работе представлена методика расчета основных параметров взрыва осколочных мин направленного поражения. За основу методики взята известная теоретическая модель Покровского о метании взрывом симметричной металлической оболочки.

Ключевые слова: осколочная мина направленного поражения, направление разлета осколков, критерий поражения, скорость детонации, продукт детонации.

MAIN CHARACTERISTICS OF DIRECTIONAL FRAGMENTATION MINE EXPLOSION MANNING DETAIL

Andrey V. Komlatskiy

The Novosibirsk Higher Command School the branch of the Federal State Military Educational Institution of the Higher Vocational Education «Military Educational-Research Centre of Ground Forces «Combined Arms Military Academy of the Armed Forces of the Russian Federation», 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanov St., student, tel. (383)332-50-45

Evgeny V. Proskuryakov

The Novosibirsk Higher Command School the branch of the Federal State Military Educational Institution of the Higher Vocational Education «Military Educational-Research Centre of Ground Forces «Combined Arms Military Academy of the Armed Forces of the Russian Federation», 630117, Russia, Novosibirsk, 49 Ivanov St., Ph. D., Prof. of Department, tel. (383)332-50-45, e-mail: saper67@mail.ru

Methods of main characteristics of directional fragmentation mine explosion manning detail are presented. On the basis of a famous theoretical model of symmetrical metal cover explosion casting by Pokrovskiy.

Key words: directional fragmentation mine, direction of fragment dispersion, damage criterion, velocity of detonation, product of detonation.

За основу методики расчета основных параметров взрыва осколочных мин направленного поражения взята известная теоретическая модель Покровского [1] о метании взрывом симметричной металлической оболочки. Эта модель модифицирована на случай несимметричного одностороннего метания оболочки.

Используя понятие активной массы взрывчатого вещества [2], задача несимметричного одностороннего метания сводится к известной задаче о симметричном метании. Движение осколка в воздухе рассчитывалось стандартным образом, интегрируя уравнение движения осколка. В качестве критерия поражения незащищенной живой силы использовался критерий критической энергии. Выполнены расчеты одностороннего направленного метания для осколочных мин направленного поражения МОН-50, МОН-100, МОН-200 и др. Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Схемы метания пластин показаны на рис. 1-3. Рассматривается задача метания двух одинаковых пластин зарядом взрывчатого вещества (ВВ), расположенным между пластинами. Даны масса пластины M , масса ВВ $2 \cdot m$, толщина плоского заряда ВВ $2 \cdot a$ и скорость детонации ВВ D . Необходимо найти скорость метания пластин V_0 .

Схема метания двух одинаковых пластин является симметричной, поэтому после детонации исходный заряд массой $2 \cdot m$ разделится пополам (пунктирная линия на рис. 1): заряд массой m полетит вправо и такой же заряд полетит влево. На границе раздела (пунктирная линия) скорость продуктов детонации (ПД) будет равна нулю. Это эквивалентно тому, что в точке O находится жесткая стенка (ПД неподвижны). В результате задача о двустороннем метании двух пластин зарядом массой $2 \cdot m$ эквивалентна одностороннему метанию пластины зарядом массой m , который расположен на жесткой стенке. Массу заряда, непосредственно участвующего в метании пластины, называют активной массой и обозначают m_a , в данном случае $m_a = m$. Согласно модели Покровского предполагается линейное распределение скорости V внутри ПД. На поверхности оболочки предполагается совпадение скоростей оболочки и ПД. Скорость метания пластин V_0 определяется [2,5] по известной формуле (1).

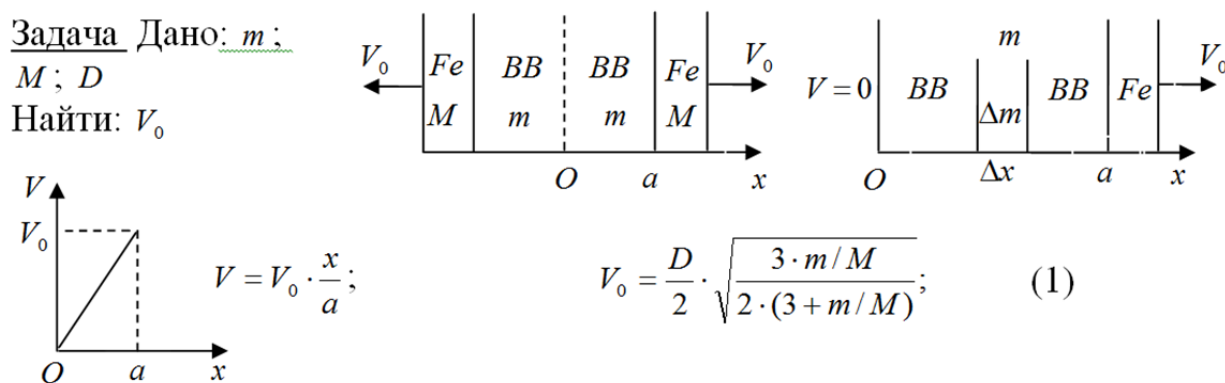


Рис. 1. Теория метания симметричной оболочки плоским зарядом ВВ

Рассматривается также задача метания одной пластины, расположенной на поверхности заряда ВВ, а другая поверхность заряда ВВ открыта (рис. 2). Даны масса пластины, масса ВВ и скорость детонации ВВ. Необходимо найти скорость метания пластины.

С открытой поверхности заряда ПД разлетаются со скоростью V_1 , на поверхности пластины ПД двигаются со скоростью V_0 , внутри заряда предполагается линейное (2) распределение скорости ПД. Схема метания пластины является несимметричной, после детонации исходный заряд массой m разделится несимметрично (пунктирная линия на рисунке): активная масса заряда m_a полетит вправо, а заряд массой $m - m_a$ полетит влево. На границе раздела (пунктирная линия) скорость ПД будет равна нулю. Это эквивалентно тому, что в точке O находится жесткая стенка (ПД неподвижны). Закон сохранения импульса для заданной схемы имеет вид (3): импульс ПД, разлетающихся влево равен импульсу оболочки и импульсу активной массы ВВ. При этом импульс ПД определяется как произведение массы ПД на среднюю скорость ПД. Решается система уравнений (4), и определяется активная масса заряда m_a по формуле (5). Затем рассматривается задача метания пластины зарядом m_a , расположенным на жесткой стенке, и определяется скорость пластины V_0 по формуле (6), которая аналогична формуле (1).

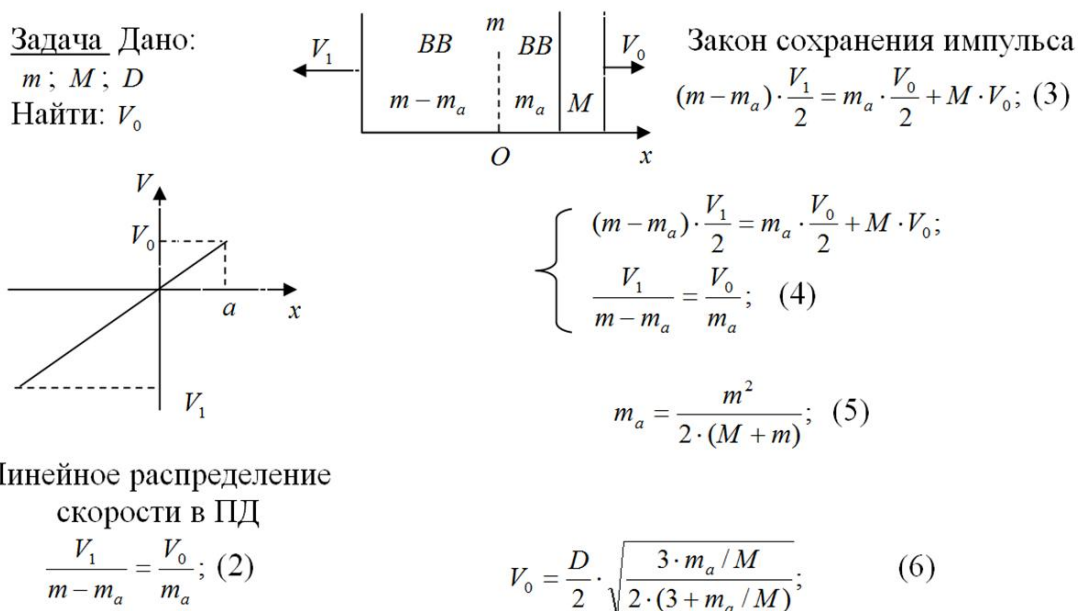


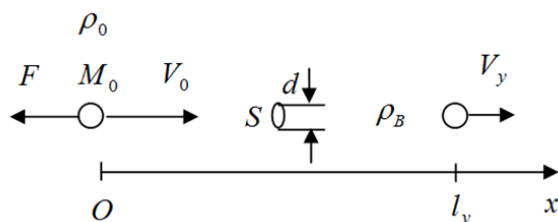
Рис. 2. Теория метания несимметричной оболочки зарядом ВВ

Рассматривается задача движения сферического осколка в воздухе и определяется убойный интервал осколка l_y (рис. 3). Даны масса M_0 , плотность ρ_0 , радиус r_0 осколка, его начальная скорость V_0 , конечная скорость V_y и плотность воздуха ρ_e . Необходимо найти закон падения скорости осколка V в виде функции от пройденного расстояния x и получить выражение для убойного интервала l_y . Предполагается, что коэффициент лобового сопротивления осколка C_x не зависит от его скорости.

Задача Дано: $M_0; V_0; V_y;$

$\rho_0; \rho_B; d; C_x; \Phi$

Найти: l_y



$$l_y = \frac{2}{C_x \cdot \rho_B \cdot \pi^{1/3}} \cdot \left(\frac{4 \cdot \rho_0}{3} \right)^{2/3} \cdot M_0^{1/3} \cdot \ln \frac{V_0}{V_y}; \quad (7)$$

$$l_y = \frac{2}{C_x \cdot \rho_B \cdot \Phi} \cdot \rho_0^{2/3} \cdot M_0^{1/3} \cdot \ln \frac{V_0}{V_y}; \quad (8)$$

Рис. 3. Движение осколка в воздухе

Известен закон падения скорости сферического осколка в виде функции от пройденного расстояния и выражение для убойного интервала l_y . Обычно исходным параметром осколка считается масса осколка M_0 , а площадь поперечного сечения S осколка сферической формы выражается через этот параметр и плотность материала осколка ρ_0 . В результате величина убойного интервала l_y определяется [2,5] в виде выражения (7).

Если осколок имеет произвольную форму, то средняя площадь поперечного сечения и объем осколка связаны с помощью параметра формы осколка Φ . В результате, обобщая формулу (7), получим формулу (8) для убойного интервала l_y осколка произвольной формы [2,5].

При оценке действия осколков по незащищенной живой силе (ЖС) используется критерий убойной энергии осколка [2,5] $E_y = 100$ Дж.

Задача 1. Мина МОН-50 [3,4] состоит из плоского заряда ВВ и метаемой оболочки. Осколки выполнены в форме цилиндров высотой, равной диаметру осколка. Осколки изготовлены из стали плотностью $\rho_0 = 7850$ кг/м³; масса осколка $M_0 = 1,5$ г; количество осколков $N = 485$; масса ВВ (ПВВ-5А) $m = 0,7$ кг; скорость детонации ВВ $D = 7400$ м/с; плотность воздуха $\rho_e = 1,3$ кг/м³; пусть коэффициент лобового сопротивления осколка C_x не зависит от его скорости и $C_x = 1$; параметр формы осколка (цилиндр) $\Phi = 1,38$; критерий поражения незащищенной ЖС считать в виде убойной энергии $E_y = 100$ Дж.

Необходимо найти: начальную скорость осколка V_0 ; убойную скорость осколка V_y ; убойный интервал осколка l_y .

Найдем массу оболочки M по формуле: $M = M_0 \cdot N$; $M = 0,73$ кг.

Определим активную массу заряда m_a по формуле (5): $m_a = 0,17$ кг.

Начальную скорость осколка V_0 определим по формуле (1): $V_0 = 1200$ м/с.

Убойная скорость осколка равна: $V_y = 365$ м/с.

Затем определяется убойный интервал осколка l_y по формуле (8): $l_y = 67$ м.

Ответ: начальная скорость осколка $V_0 = 1200$ м/с; убойная скорость осколка $V_y = 365$ м/с; убойный интервал осколка $l_y = 67$ м.

Задача 2. Мина МОН-100 [3,4] состоит из плоского заряда ВВ и метаемой оболочки. Осколки выполнены в форме цилиндров высотой, равной диаметру осколка. Масса осколка $M_0 = 6,2$ г; осколки изготовлены из стали плотностью $\rho_0 = 7850$ кг/м³; количество осколков $N = 400$; масса ВВ (ТНТ) $m = 2$ кг; скорость

детонации ВВ $D = 7000$ м/с; плотность воздуха $\rho_e = 1,3$ кг/м³; пусть коэффициент лобового сопротивления осколка C_x не зависит от его скорости и $C_x = 1$; параметр формы осколка (цилиндр) $\Phi = 1,38$; критерий поражения незащищенной ЖС считать в виде убойной энергии $E_y = 100$ Дж.

Необходимо найти: начальную скорость осколка V_0 ; убойную скорость осколка V_y ; убойный интервал осколка l_y .

Найдем массу оболочки M по формуле: $M = M_0 \cdot N$; $M = 2,48$ кг.

Определим активную массу заряда m_a по формуле (5): $m_a = 0,44$ кг.

Начальную скорость осколка V_0 определим по формуле (1): $V_0 = 1020$ м/с.

Убойная скорость осколка равна: $V_y = 180$ м/с.

Затем определяется убойный интервал осколка l_y по формуле (8):

$$l_y = 156 \text{ м.}$$

Ответ: начальная скорость осколка $V_0 = 1020$ м/с; убойная скорость осколка $V_y = 180$ м/с; убойный интервал осколка $l_y = 156$ м.

Задача 3. Мина МОН-200 [3,4] состоит из плоского заряда ВВ и метаемой оболочки. Осколки выполнены в форме цилиндров высотой, равной диаметру осколка. Масса осколка $M_0 = 10,7$ г; осколки изготовлены из стали плотностью $\rho_0 = 7850$ кг/м³; количество осколков $N = 900$; масса ВВ (ТНТ) $m = 12$ кг; скорость детонации ВВ $D = 7000$ м/с; плотность воздуха $\rho_e = 1,3$ кг/м³; пусть коэффициент лобового сопротивления осколка C_x не зависит от его скорости и $C_x = 1$; параметр формы осколка (цилиндр) $\Phi = 1,38$; критерий поражения незащищенной ЖС считать в виде убойной энергии $E_y = 100$ Дж.

Необходимо найти: начальную скорость осколка V_0 ; убойную скорость осколка V_y ; убойный интервал осколка l_y .

Найдем массу оболочки M по формуле: $M = M_0 \cdot N$; $M = 2,48$ кг.

Определим активную массу заряда m_a по формуле (5): $m_a = 3,33$ кг.

Начальную скорость осколка V_0 определим по формуле (1):

$$V_0 = 1400 \text{ м/с.}$$

Убойная скорость осколка равна: $V_y = 140$ м/с.

Затем определяется убойный интервал осколка l_y по формуле (8):

$$l_y = 247 \text{ м.}$$

Ответ: начальная скорость осколка $V_0 = 1400$ м/с; убойная скорость осколка $V_y = 140$ м/с; убойный интервал осколка $l_y = 247$ м.

Результаты расчетов хорошо согласуются с экспериментальными данными [3,4] и могут использоваться для решения практических задач (см. табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета убойного интервала и эксперимент [3,4]

Результат \ Мина	МОН-50	МОН-100	МОН-200
Расчет, м	67	156	247
Эксперимент, м	80	160	240
Точность, %	16	3	3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Покровский Г.И. Взрыв. – М.: Недра, 1980. – 190 с.
2. Физика взрыва: В 2 т. Т. 2. 3-е изд., испр. / Под ред. Л.П. Орленко. – М.: Физматлит, 2004. – 304 с.
3. Средства поражения и боеприпасы: учебник / Под ред. В.В. Селиванова. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 284 с.
4. Оружие России: Вооружение сухопутных войск. Каталог, т.1. – М.: Военный парад, 1996. – 54 с.
5. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 203 с.

© А. В. Комлацкий, Е. В. Проскуряков, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДОПУСКОВ НА ПАРАМЕТРЫ ВОЛНОВОДНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ

Валерий Борисович Ромодин

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник лаборатории, тел. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Виталий Сергеевич Кулик

ОАО «НИИЭП», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, инженер 2-й категории, тел. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

В статье исследована зависимость уровня боковых лепестков диаграммы направленности волноводно-щелевой антенны от технологических допусков. Проведено статистическое моделирование методом Монте-Карло.

Ключевые слова: волноводно-щелевая антенна, производственные допуски, метод Монте-Карло.

STUDY OF THE INFLUENCE MANUFACTURING TOLERANCES ON THE PARAMETERS OF WAVEGUIDE SLOT ANTENNA

Valery B. Romodin

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, laboratory chief, tel. (383)216-05-48, e-mail: romodin@ngs.ru

Vitaly S. Kulik

OJSC «Scientific Research Institute of Electronic Devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisareva, engineer, tel. (383)216-05-48, e-mail: vkulik@ngs.ru

In this paper has been investigated the dependence of the sidelobe level of radiation pattern of waveguide slot antenna from the manufacturing tolerances. The statistical simulation by Monte Carlo method has been performed.

Key words: waveguide slot antenna, manufacturing tolerances, Monte Carlo method.

Волноводно-щелевые антенны нашли широкое применение в качестве антенных систем неконтактных датчиков цели радиолокационного принципа действия. Основные преимущества антенн этого типа хорошо известны:

- антенны удобно размещать на боковой поверхности летательных аппаратов в силу присущей им низкопрофильности;
- довольно просто реализовать сложные амплитудные распределения и, как следствие, низкие уровни боковых лепестков.

Вместе с тем, при серийном производстве волноводно-щелевых антенн с низким уровнем боковых лепестков возникают сложности, связанные с необходимостью выдерживать жёсткие допуски на размеры волноводных каналов и расположение щелевых излучателей на волноводе. В случае, когда апертура антенны защищается от пыли, влаги и аэродинамического перегрева диэлектриче-

ской крышкой, разброс размеров и диэлектрических параметров крышки приводит к дополнительным искажениям амплитудно-фазового распределения и, как следствие, росту уровня боковых лепестков. В связи с этим желательно иметь методику определения необходимых допусков на стадии разработки конструкторской документации на антенну.

В работе предложена методика оценки требуемого уровня допусков на геометрические размеры и параметры защитной крышки, обеспечивающего заданные требования к диаграмме направленности антенны. Методика основана на использовании расчётной модели антенны, которая является решением краевой задачи для системы уравнений Максвелла методами моментов [1] и конечных элементов (на основе известных коммерческих программных продуктов).

Для набора статистики параметров антенны применён метод статистических испытаний. В алгоритме задаётся поле допуска для каждого из варьируемых параметров, распределение считается равномерным, с помощью датчика случайных чисел выбираются конкретные значения параметров в поле соответствующего допуска, и производится расчёт параметров антенны – входной КСВН, диаграмма направленности, коэффициент усиления. Набирается статистика параметров для большого количества реализаций (100...1000 шт.), и производится статистическая обработка полученных результатов.

В качестве примера можно привести результаты статистического анализа линейной волноводно-щелевой решётки X-диапазона. Антенна выполнена на волноводе шириной 19,4 мм, высотой 4,0 мм, с толщиной верхней стенки 1 мм. Апертура состоит из 16 щелевых излучателей с переменнo-фазным возбуждением, на конце волновода установлена поглощающая нагрузка. Антенна укрыта защитной крышкой из стеклотекстолита толщиной 0.5 мм, приклеенной вплотную к щелевой крышке. В качестве варьируемых параметров используются ошибки выполнения размеров волноводного канала, длины, ширины и смещения щелей, толщины защитной крышки и возможного воздушного зазора, разброс диэлектрической проницаемости материала защитной крышки. В документации задан номинальный уровень боковых лепестков -25 дБ.

Статистический анализ проведён для обычного и строгого вариантов производственных допусков. Технологические допуски на производстве имеют следующие значения (обычные допуски):

- Смещения и размеры щелей: 0,03мм;
- Размеры волновода: 0,05мм;
- Воздушный зазор: 0,01мм;
- Толщина крышки: 0,06мм;
- Диэлектрическая проницаемость: 0,2;
- Тангенс угла диэлектрических потерь: 0,005.

Ужесточённые требования на технологические допуски (строгие допуски):

- Смещения и размеры щелей: 0,02мм;
- Размеры волновода: 0,02мм;
- Воздушный зазор: 0,005мм;
- Толщина крышки: 0,03мм;

- Диэлектрическая проницаемость: 0,2;
- Тангенс угла диэлектрических потерь: 0,005.

Кроме того проведён анализ влияния неравномерной толщины защитной крышки.

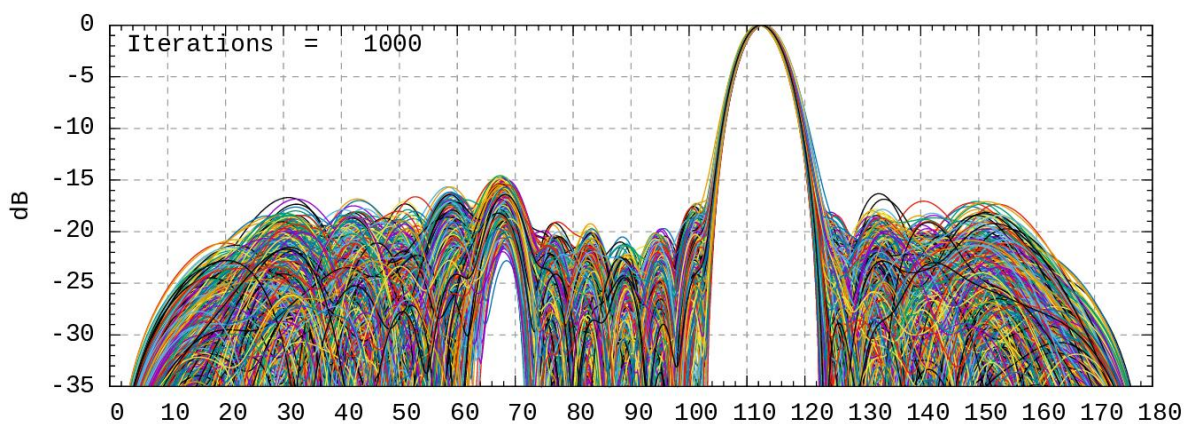


Рис. 1. Обычные допуски. Неровная крышка

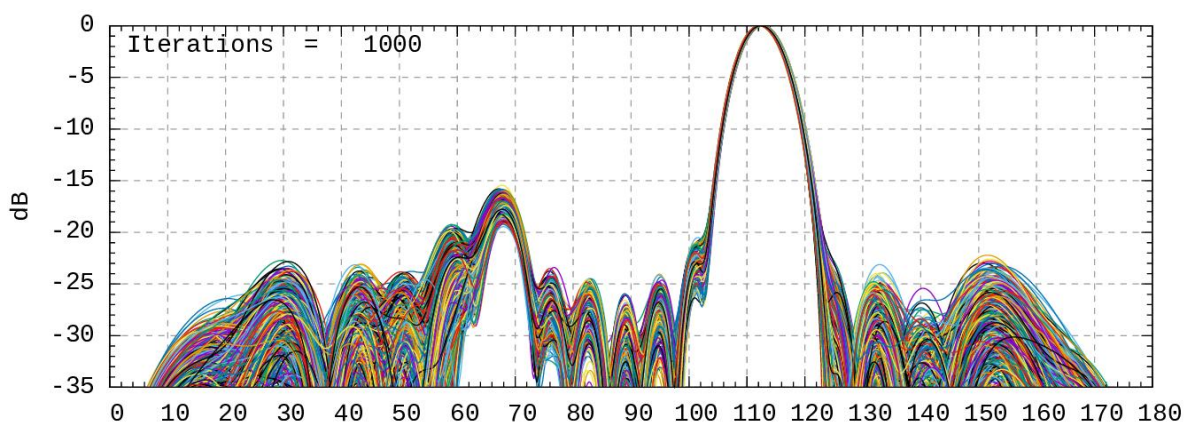


Рис. 2. Обычные допуски. Ровная крышка

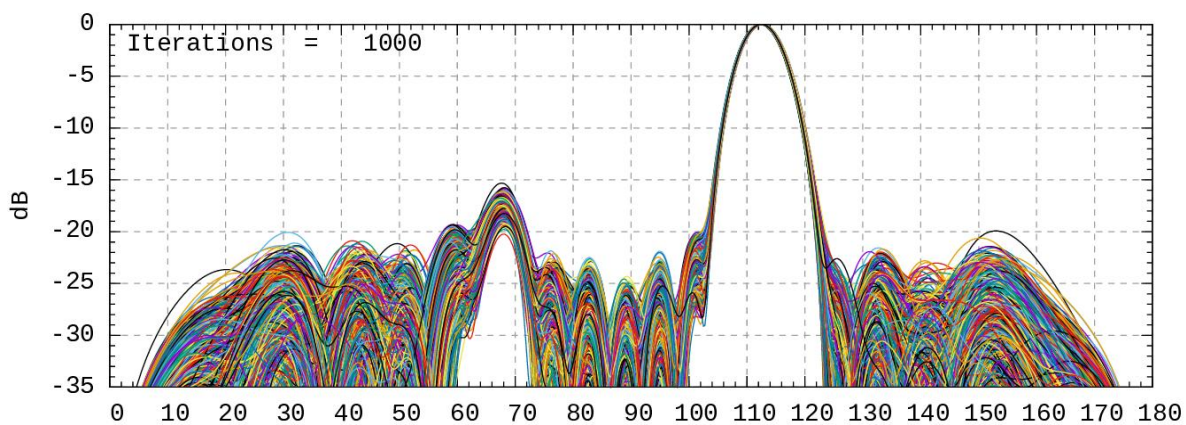


Рис. 3. Строгие допуски. Неровная крышка

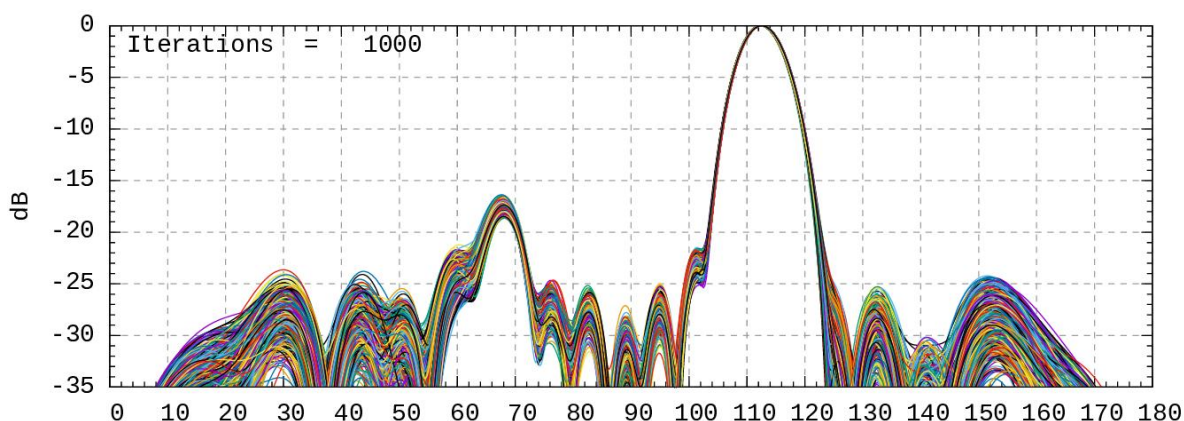


Рис. 4. Строгие допуски. Ровная крышка

По результатам анализа составлена таблица с зависимостями параметров антенной решётки от производственных допусков и вида защитной крышки. Вычислен процент антенн, имеющих уровень боковых лепестков с правой стороны от главного максимума ниже -25 дБ.

Таблица 1

Параметры антенны при различных допусках

	КСВН, макс	КУ МО, σ, мин	Положение ГМ	УБЛ, МО, макс	Выход годных по УБЛ, %
Обычные допуски. Ровная крышка.	1,18	17,2 ±1,21, 13,8	112,5 ±0,14	-27,5, -22,2	95,2
Обычные допуски. Неровная крышка.	1,22	17,0 ±0,60, 15,5	112,5 ±0,16	-22,9, -16,3	18,1
Строгие допуски. Ровная крышка.	1,17	17,4 ±0,75, 15,1	112,5 ±0,07	-28,0, -24,2	98,1
Строгие допуски. Неровная крышка.	1,17	17,3 ±0,54, 15,9	112,5 ±0,08	-26,0, -19,9	66,7

Для повышения процента выхода удовлетворяющих заданным параметрам антенн следует тщательно контролировать равномерность толщины защитного покрытия. С одним только этим условием можно довести процент выхода годных антенн с 18% до 95%. Дополнительно ужесточив технологические допуски, эту цифру можно довести до 98%. Для дальнейшего увеличения процента выхода годных приборов следует уменьшать допуски на материал защитной крышки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ромодин В.Б. Матрица рассеяния волноводно-щелевой антенны // Системы и средства передачи информации / Сборник научных трудов учебных институтов связи. – Л.:1985. С.49-54.

© В. Б. Ромодин, В. С. Кулик, 2015

КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДИСЦИПЛИНЫ КАК УСЛОВИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Юрий Маркович Фартышев

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, заместитель генерального директора по качеству, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Максим Михайлович Кузнецов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Алексей Константинович Гаутцель

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, начальник группы анализа несоответствий продукции и внутреннего аудита, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Валерий Юрьевич Языков

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер группы анализа несоответствий продукции и внутреннего аудита, тел. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

В статье приводятся материалы использования статистических материалов, полученных при контролях продукции в ходе производственных процессов ОАО «НИИЭП», делается вывод о возможности их использования для оценки стабильности производственного процесса в целом.

Ключевые слова: контроль технологической дисциплины, стабильность производственного процесса.

CONTROL OF TECHNOLOGICAL DISCIPLINE AS A CONDITION FOR THE STABILITY OF THE PRODUCTION PROCESS

Yuri M. Fartyshv

JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev str., Deputy General Director for quality, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Maxim M. Kuznetsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., associate Professor in the Department of special devices and technologies, tel. (913)921-44-39, e-mail: a9214439@yandex.ru

Aleksey K. Gauttsel

JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev str., head of group analysis of discrepancies products and internal audit, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoniiep.ru

Valeriy Yu. Yazikov

JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev str., lead engineer group gap analysis of products and internal audit, tel. (383)216-05-52, e-mail: niiep@oaoiiiep.ru

The article presents the materials of the use of statistical materials obtained in the control of products during the manufacturing processes of JSC "НИИЭП", the conclusion about the possibility of their use for assessing the stability of the production process as a whole.

Key words: control of technological discipline, the stability of the production process.

Вопросу повышения стабильности производственного процесса изготовления изделий в современной литературе уделено достаточно большое внимание. Так автор в своей работе [1] предлагает производить управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве, касаясь только операций резания. Есть и другие работы, рассматривающие данный вопрос с точки зрения конкретных операций.

Практический опыт решения вопроса повышения стабильности конкретных производственных процессов, на примере ОАО "НИИЭП", уже рассматривался авторами данной статьи в работе [2], вместе с тем полученные статистические данные позволяют говорить и о возможности использования контроля технологической дисциплины, как условия повышения стабильности производственного процесса в целом. Под понятием «технологический процесс» понимается процесс (теоретический), описанный в технологической документации, и, являющийся моделью производственного (реального) процесса.

Известно, что контроль технологической дисциплины (КТД) проводят с целью определения возможности изготовления на основе ТД продукции, удовлетворяющей требованиям КД, и определения степени соответствия реального производственного процесса продукции требованиям единичного технологического процесса (ЕТП), предупреждения несоответствий технологическому процессу, а также оценки результативности корректирующих действий по результатам ранее проведенных контролей технологической дисциплины.

Разработанный на предприятии организационный регламент определяет, что контроль технологической дисциплины - это мероприятия по сбору и обработке информации о состоянии технологической дисциплины на определённый период времени, а технологическая дисциплина – характеристика производственного процесса, обусловленная соблюдением правил и выполнением требований технологической документации.

Объектом контроля технологической дисциплины является процесс изготовления продукции (производственная операция или переход производственной операции), при этом проверяют:

а) состояние входа процесса, определяемое контролируемыми признаками:

1) документальное обеспечение:

- обеспеченность необходимой технологической, конструкторской и нормативной документацией (наличие на рабочем месте, степень изношенности,

комплектность, своевременность и правильность внесения изменений; наличие документальных свидетельств, подтверждающих пригодность к применению по назначению: технологического оборудования, оснастки, средств контроля и защиты, вспомогательных материалов, образцов-эталонов и контрольных образцов)

2) материальное обеспечение:

- соответствие материалов требованиям сопроводительных документов;
- соответствие материалов, полуфабрикатов, заготовок, вспомогательных материалов требованиям технической документации;
- условия хранения материалов, полуфабрикатов, заготовок, вспомогательных материалов, комплектующих изделий в производственном подразделении;

б) состояние ресурсов, определяемое контролируемыми признаками:

1) техническое обеспечение:

- наличие определённых технологической документацией оборудования, оснастки, средств измерений и контроля и средств защиты;
- техническое состояние оборудования, оснастки, средств измерений и контроля и средств защиты;

2) техническая компетентность исполнителей, включая знание требований охраны труда и промышленной безопасности, т.е. соответствие квалификации исполнителя требованиям, предусмотренным технологической документацией; наличие производственного инструктажа;

3) соблюдение требований по обеспечению рабочего места:

- соответствие оборудования, оснастки, тары, энергосистем и энергоносителей требованиям планировки и процесса;
- выполнение требований по межоперационному хранению материалов, заготовок, полуфабрикатов, готовых изделий и средств технического оснащения;
- культура производства на рабочем месте, а так же соответствие рабочего места карте рабочего места или паспорту структурного подразделения;

в) выполнение процедуры, определяемое контролируемым признаком:

1) соблюдение требований технологической документации, включая требования к порядку, условиям и срокам межоперационного перемещения и хранения изготавливаемых изделий, требования охраны труда и промышленной безопасности;

2) наличие сопроводительной документации, записей;

г) состояние выхода процесса, определяемое контрольным признаком:

- качество результатов выполняемых работ, т.е. соответствие продукции требованиям конструкторской документации (геометрические параметры, физико-химические и функциональные параметры, внешние и внутренние дефекты, клейма, правильность установки, маркировка, упаковка, комплектность поставки).

Контроль технологической дисциплины подразделяется на производственно - технологический контроль, осуществляемый силами производственных и технологических подразделений, и надзорный контроль, осуществляемый по указанию заместителя генерального директора по качеству или начальника ОТК.

Производственно-технологический контроль подразделяется на текущий и плановый.

Текущий контроль проводит ежедневно мастер (технолог), при этом каждый производственный процесс подлежит проверке по отдельным контролируемым признакам путём экспертной оценки соответствия каждого рабочего места требованиям ТТП и ЕТП.

Плановый контроль проводят для:

- определения соответствия процесса изготовления продукции требованиям единичного технологического процесса (ЕТП);
- предупреждения несоответствий технологическому процессу;
- оценки результативности корректирующих действий по результатам ранее проведенных контролей.

Инспекционный контроль проводят с целью проверки результативности ранее проводимых контролей, а также с целью оценки возможности разрешения деятельности.

Летучий контроль планируют и проводят ОТК и ПЗ для проверки фактического состояния условий и выполнения требований при изготовлении продукции в случайно выбранный момент времени в подразделениях с целью оценки возможности производственного процесса обеспечить требования конструкторской и технологической документации.

Имея в реальных условиях информацию, не позволяющую применять стандартные статистические формулы, на ОАО «НИИЭП» разработана инструкция РИ 14.01-11- «Оценка стабильности производственных процессов» в которой предлагается следующее:

- для статистической обработке данных необходимо, чтобы по процессу, для которого определяется стабильность, было изготовлено не менее 25 единиц продукции;

- для расчета стабильности производственных процессов определяется количество как скрытых, так и выявленных несоответствий продукции и ее составных частей за интервал времени S ;

- наличие несоответствий с явной причиной фиксируется в карточках решений на отклонение, а также в журналах «предъявлений» ОТК.

Исходными данными для расчета являются:

- N – количество единиц продукции, изготовленных за интервал времени S .

- N_I – количество единиц продукции из числа N , у которых выявлены несоответствия в интервале времени S .

В качестве критерия доработки производственных процессов на стабильность используется коэффициент устойчивости технологического процесса – K_y .

Значение коэффициента K_y выбирается в зависимости от литеры технологической документации.

Значение стабильности производственного процесса, вычисленное по формуле (1), округляется до целого значения, в сторону меньшего от расчетного значения стабильности производственного процесса.

$$T_{cm} = \frac{S \cdot \ln K_y}{R(N, N_1)}, \quad (1)$$

где – S – исследуемый интервал времени в месяцах;
 K_y – коэффициента устойчивости технологического процесса;
 $R(N, N_1)$ – коэффициент определяемый по формуле 2 на основе найденных путем статистической обработки исходных данных значений чисел.

$$R(N, N_1) = \ln \left\{ 1 + \frac{N_1 + 1}{N - N_1} - \mathcal{F}_{0,9} \left(\frac{N_1 + 1}{N - N_1} \right) \right\} \quad (2)$$

где, $\mathcal{F}_{0,9}$ - квантиль F – распределения с уровнем значимости 0,1

Расчеты проведенные по формулам (1) и (2) для различных технологических процессов, условно обозначим их как 1,2...7, с различным количеством выпущенных по ним единиц продукции и различной плановой стабильностью за 2014 год представлены в табл.:

Таблица

Фактическая стабильность процессов

Наименование изделия	Стабильность процессов, месяцев											
	январ.	февр.	март.	апр.	май.	июнь	июль	авг.	сент.	окт.	нояб.	дек.
Изделие 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Изделие 2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4
Изделие 3	2	1	2	2	3	4	5	7	6	7	6	6
Изделие 4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Изделие 5	1	1	1	1	1	1						
Изделие 6	10	8	8	6	7	7	5	5	5	6	7	8
Изделие 7					15	20	30	6	12	12	12	12

Таблица наглядно демонстрирует повышение стабильности в результате проведения мероприятий, выявленных в ходе планового контроля технологической дисциплины:

- изделие 2 плановый контроль в марте, мероприятия 2 квартал;
- изделие 3 плановый контроль в апреле, мероприятия 2 квартал;
- изделие 6 плановый контроль в августе, мероприятия 3 квартал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение, 1989.-296 с. ил.
2. Об оценке стабильности производственных процессов в условиях единичного и мелкосерийного производства / В. Г. Эдвабник, Ю. М. Фартышев, А. К. Гаутцель, М. М. Кузнецов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2013» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 195–200.

© Ю. М. Фартышев, М. М. Кузнецов, А. К. Гаутцель, В. Ю. Языков, 2015

КОНДЕНСАЦИЯ ПАРОВ ГОРЮЧЕГО ЗА ФРОНТОМ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В ГАЗЕ

Павел Аркадьевич Фомин

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-3, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Валерик Сергеевич Айрапетян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, заведующий кафедрой специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-3, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Рассмотрена принципиальная возможность конденсации паров горючего за плоской ударной волной в переобогащенной парами циклогексана газовой смеси. Показано, что конденсация приводит к увеличению давления и температуры и может существенно (до нескольких раз) увеличить концентрацию окислителя в газе. В результате, переобогащенные горючим газы смеси, концентрация паров горючего в которых находится выше концентрационного предела воспламенения, могут, тем не менее, взрываться.

Ключевые слова: ударная волна, газ, конденсация, переобогащенная смесь, взрыв, циклогексан.

FUEL VAPOR CONDENSATION BEHIND SHOCK WAVE FRONT IN GAS

Pavel A. Fomin

Institute of hydrodynamics. M. A. Lavrent'ev, SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, pr. Lavrentyeva, 15; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D. Prof. of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Valerik S. Ayrapetyan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Prof. Dr. Head of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

The possibility, in principle, of fuel vapor condensation in shock waves in fuel-rich cyclohexane-oxygen gaseous mixtures is discussed. It is shown that condensation led to the increase of pressure and temperature and can essentially change the chemical composition of the gas. For example, the molar fraction of the oxidizer can increase in a few times. The mixtures, which have an initial gas composition above the upper flammable limit, can, nevertheless, explode.

Key words: shock wave, gas, condensation, fuel-rich mixture, explosion, cyclohexane.

Введение. Традиционно полагается, что для предотвращения взрыва газовой смеси необходимо, чтобы ее химический состав находился вне концентрационных пределов воспламенения [1], например, чтобы концентрация паров горючего в смеси превышала верхний концентрационный предел воспламенения (ВКПВ). Однако подобная точка зрения не является универсальной.

Рассмотрим кислородсодержащую газовую смесь, насыщенную парами циклогексана. Циклогексан служит типичным примером тяжелого углеводородного горючего с высоким давлением насыщенных паров. Таким образом, химический состав и физические свойства рассматриваемой газовой смеси сильно зависят от температуры. Концентрация паров горючего растет, если начальная температура смеси увеличивается. В результате, если начальная температура системы достаточно высока, концентрация паров горючего в смеси превышает ВКПВ (точка А на рис. 1; будем называть такую смесь переобогащенной горючим смесью). Таким образом, следует ожидать, что рассматриваемая смесь является пожаро- и взрывобезопасной. Однако подобное утверждение должно быть пересмотрено.



Рис. 1. Изменение концентрации паров горючего вследствие конденсации в ударной волне. НКПВ и ВКПВ – нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения, А – начальная концентрация паров горючего в газе. Стрелочка показывает, что вследствие конденсации концентрация паров горючего в газовой смеси уменьшается и сдвигается в область воспламенения

Отметим, что если концентрация паров тяжелого углеводородного горючего в газовой смеси достаточно велика, то показатель адиабаты смеси γ близок к единице ($\gamma \approx 1$). Например, химический состав газовой смеси, состоящей из кислорода и насыщенных паров циклогексана при температуре 351 К и давлении 0,1 МПа, имеет вид $0,933 \text{ C}_6\text{H}_{12} + 0,067 \text{ O}_2$, а ее показатель адиабаты равен 1,06.

Хорошо известно [2], что для параметров плоской ударной волны в политропном газе справедливы следующие формулы:

$$\frac{T}{T_0} = \frac{[2\gamma M^2 - (\gamma - 1)][(\gamma - 1)M^2 + 2]}{(\gamma + 1)^2 M^2}, \quad \frac{P}{P_0} = \frac{2\gamma}{\gamma + 1} M^2 - \frac{\gamma - 1}{\gamma + 1}, \quad M = \frac{D}{c_0}, \quad C_0 = \gamma \frac{P_0}{\rho_0}.$$

Здесь c и D – скорость звука и скорость ударной волны; M – число Маха; P , T , ρ и γ – давление, температура, плотность и показатель адиабаты. Индекс “0” соответствует начальному состоянию.

Пусть ударная волна распространяется по переобогащенной тяжелым углеводородным горючим газовой смеси с близким к единице показателем адиабаты. Как видно из приведенных формул, если $\gamma \approx 1$, температура газа на фронте ударной волны практически не растет ($T/T_0 \sim const$). Поскольку давление насыщенных паров есть функция температуры, то, соответственно, его изменение в ударной волне также невелико. В то же время давление газа (и, соответственно, парциальное давление паров горючего) в ударной волне может существенно возрасти ($P/P_0 \sim M^2$). Таким образом, следует ожидать, что парциальное давление горючего станет выше давления насыщенных паров. А это приведет к конденсации паров горючего в ударной волне.

Конденсация меняет химический состав газа, уменьшая концентрацию паров горючего. В результате химический состав переобогащенного горючим газа сдвигается в направлении области воспламенения. При достаточно большой величине конденсации состав газа может сместиться внутрь самой области воспламенения (рис. 1). Таким образом, рассматриваемая смесь, начальная концентрация паров горючего в которой превышает ВКПВ, может взрываться.

Отметим, что принципиальная возможность конденсации за фронтом ударной волны в газе Ван дер Ваальса отмечалась ранее [2]. Вопрос о возможности конденсации паров горючего в ударной волне на примере конкретной смеси и влияние такой конденсации на взрывобезопасность оставался открытым.

В настоящей работе будет рассмотрена конденсация паров горючего за плоской ударной волной в переобогащенной парами циклогексана газовой смеси. Будет проанализировано влияние конденсации на параметры, химический состав газа и взрывные характеристики смеси.

Описанная выше принципиальная возможность конденсации паров горючего за фронтом ударной волны нетривиальна, поскольку для большинства газовых смесей приближенное условие $\gamma \approx 1$ несправедливо. Таким образом, конденсация паров горючего за фронтом ударной волны в большинстве газовых смесей невозможна, так как увеличение парциального давления паров вследствие сжатия меньше, чем увеличение давления насыщенных паров из-за скачка температуры [2].

Расчет конденсации паров горючего в ударной волне. Типичный качественный профиль давления в ударной волне при наличии конденсации паров горючего показан на рис. 2. Первоначальная насыщенная концентрация паров соответствовала верхнему концентрационному пределу воспламенения.

Расчет параметров потока сразу за передним ударным фронтом (конденсация еще не началась) произведен по общепринятой системе алгебраических уравнений, включающей законы сохранения и уравнение состояния идеального газа. При расчете параметров потока в момент окончания конденсации полагалось, что конденсированная фаза находится в тепловом и механическом равновесии с газом, а давление насыщенных паров и парциальное давление циклогексана (P_{sat}^f и P^f) равны. Объемом конденсированной фазы пренебрегалось. Вследствие конденсации мольная доля окислителя увеличивается с $\alpha_0^{O_2} = 0,076$ до $\alpha^{O_2} = 0,092$. Увеличение концентрации горючего на 20% вследствие конденсации сдвигает состав смеси внутрь области воспламенения. Из рис. 2 также видно, что конденсация приводит к увеличению давления и температуры. Кинетика конденсации в данной работе не рассматривалась. Таким образом, штриховая кривая показывает профиль давления между передним фронтом волны и моментом окончания периода индукции качественно.

При наличии конденсации паров горючего молярная масса газа может увеличиться и в несколько раз. Например, расчет параметров волны для сильно переобогащенной горючим смеси с начальными параметрами $\alpha_0^f = 0,99$, $\alpha_0^{O_2} = 0,01$, $P_0 = 0,559$ МПа, $T_0 = 423,15$ К, $\rho_0 = 13,27$ кг/м³ и скоростью $D = 440$ м/с дает: $P/P_0 = 5,39$, $P = 3,01$ МПа, $P_{sat}^f = P^f = 2,85$ МПа, $u = 19,2$ м/с, $T = 529$ К,

$\rho = 55,7 \text{ кг/м}^3$, $\rho^f = 54,5 \text{ кг/м}^3$, $\rho^{O_2} = 1,16 \text{ кг/м}^3$, $\rho^* = 248 \text{ кг/м}^3$, $\mu = 81,2 \text{ кг/кмоль}$. Таким образом, к моменту окончания конденсации около 82 % паров горючего переходит в жидкость. В результате конденсации мольная доля окислителя увеличивается более чем в 5 раз, с $\alpha_{O_2} = 0,01$ до $\alpha_{O_2} = 0,053$.

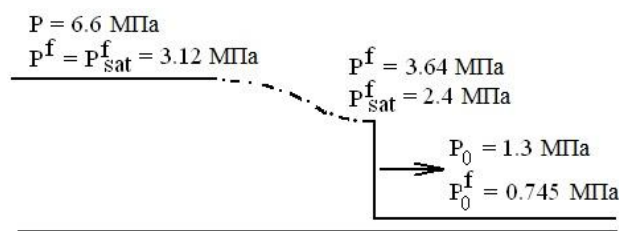


Рис. 2. Качественный профиль ударной волны при наличии конденсации паров горючего. Смесь: $0,076 \text{ O}_2 + 0,351 \text{ N}_2 + 0,573 \text{ C}_6\text{H}_{12}$. $D = 550 \text{ м/с}$. Штриховая кривая соответствует зоне конденсации

Сделана оценка скорости конденсации. Она достаточно велика, чтобы существенно изменить состав газовой фазы в ударной волне, генерируемой взрывом облака взрывчатого газа, имеющего характерный размер порядка нескольких метров.

Заключение. Рассмотрен эффект конденсации паров тяжелого углеводородного горючего за фронтом плоской ударной волны, распространяющейся в переобогащенных горючим газовых смесях циклогексана с кислородом и азотом. Конденсация ведет к увеличению давления и температуры и может существенно (до нескольких раз) увеличить содержание окислителя в газе. В результате смеси, начальная концентрация паров горючего в которых превышает верхний концентрационный предел воспламенения, могут взрываться, если конденсация сдвинет химический состав смеси в область воспламенения.

Конденсация паров должна быть принята во внимание при обеспечении пожаро- и взрывобезопасности промышленных зданий и сооружений, в которых могут иметь место утечки и разливы тяжелых жидких углеводородов с высоким давлением насыщенных паров. Например, она должна учитываться при проектировании спринклерных систем, вентиляции, расчете механической прочности сооружений и обеспечении аварийного сброса давления при взрыве. Рассмотренный конденсационный процесс может быть существенен и при иницировании взрыва газовых смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baker, W.E., Cox, P.A., Westine, P.S., Kulesz, J.J., Strehlow, R.A. // Explosion Hazards and Evaluation, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam–Oxford–New York, 1983.
2. Ландау, Л.Д., Лифшиц, Е.М. // Гидродинамика (Теоретическая физика, т. VI), Наука, Москва, 1986.
3. Зельдович, Я.Б. // Избранные труды (Химическая физика и гидродинамика), под ред. Ю.Б. Харитона, Наука, Москва, 1984.

© П. А. Фомин, В. С. Айрапетян, 2015

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА СИЛАНСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ И ГАЗОПЫЛЕВЫХ СИСТЕМ

Павел Аркадьевич Фомин

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий, тел. (383)361-07-3, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Сделана оценка размера ячейки детонационной волны в силано-воздушных смесях. Малый размер ячейки (порядка 2 см у стехиометрической смеси) свидетельствует о высокой детонационной опасности силано-воздушных смесей.

Рассчитаны параметры взрыва и детонации силано-воздушных смесей с добавками химически инертных микрочастиц. Результаты расчета могут быть использованы при оценке ослабления и управления параметрами детонационных волн химически инертными частицами.

Ключевые слова: силан, взрыв, детонация, размер детонационной ячейки, ослабление детонации.

CALCULATION OF EXPLOSION PARAMETERS OF SILAN – BASED GASEOUS AND DUST SYSTEMS

Pavel A. Fomin

Institute of hydrodynamics. M. A. Lavrent'ev, SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, pr. Lavrentyeva, 15; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D. Prof. of the Department of Special Devices and Technologies, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Detonation cell size in silane-air mixtures is estimated. Small values of the cell sizes (approximately 2 cm in stoichiometric mixture) indicate that the detonation hazard of the mixtures is very high.

Parameters of explosion and detonation in silane-air mixtures with additions of chemically inert microparticles are calculated. Results of calculation can be used in explosion safety engineering for mitigation and control of detonation.

Key words: silane, explosion, detonation, detonation cell size, detonation mitigation.

Введение. Газообразный силан (SiH_4) широко используется в полупроводниковой и фотохимической промышленности. Температура самовоспламенения силано-воздушной смеси ниже комнатной, в силу чего силан является источником постоянной пожаро- и взрывоопасности. Это подчеркивает важность исследования параметров взрыва и детонации силано-воздушных смесей для решения соответствующих проблем пожаро- и взрывобезопасности.

Размер ячейки газовой детонации является одной из основных характеристик детонационной опасности газовых смесей. В частности, он определяет геометрические пределы распространения детонационной волны и энергию прямого инициирования детонации. К сожалению, размер ячейки в силано-

воздушных смесях до сих пор не измерен экспериментально и не рассчитан теоретически, что затрудняет оценку детонационной опасности силано-воздушных смесей.

Известно, что добавки химически инертных частиц являются эффективным способом контроля и управления процессами горения и детонации газовых смесей. Такие добавки уменьшают давление и температуру взрыва (а следовательно, снижают тепловую и механическую нагрузку на промышленные конструкции при аварийных выбросах и последующих взрывах химически активных газов). Потери энергии детонационной волны на нагрев и разгон частиц могут приводить не только к снижению давления, температуры и скорости детонации, но и к увеличению размера детонационной волны и гашению детонации [1]. В то же время влияние химически инертных добавок на параметры взрывных процессов в силано-воздушных смесях до сих пор экспериментально не исследовалось.

В рамках данной работы рассчитаны параметры взрывных процессов в стехиометрической силано-воздушной смеси с добавками химически инертных частиц. Сделан расчет размера ячейки газовой детонации в рассматриваемой силано-воздушной смеси. Полученные результаты могут быть использованы при решении проблем взрывобезопасности производств, использующих силан.

Постановка задачи. Для расчета взрывных процессов в рассматриваемой двухфазной смеси использованы следующие предположения. Газ является идеальным, конденсированная фаза несжимаема. Частицы равномерно распределены по объему газа. Размер частиц достаточно мал, вследствие чего они находятся в тепловом и механическом равновесии с газом (температура и скорость газа и частиц равны). Парциальное давление и суммарный объем частиц, а также давление насыщенных паров конденсированной фазы пренебрежимо малы.

Сделан расчет параметров взрыва стехиометрической силано-воздушной смеси без и с добавками химически инертных частиц (Al_2O_3) при постоянных давлении P и объеме V . Полагалось, что в результате мгновенного взрыва смесь переходит в состоянии химического равновесия. Для расчетов использованы законы сохранения внутренней энергии (при $V = const$) и энтальпии (при $P = const$). Термодинамические параметры двухфазной смеси рассчитывались по приближенной модели химического равновесия, представленной в [1].

Проведен расчет параметров волны Чепмена-Жуге в рассматриваемой двухфазной смеси. Алгоритм расчета описан в [1].

Результаты расчетов. Результаты расчета параметров взрыва стехиометрической силано-воздушной смеси при постоянных давлении и объеме представлены на рис. 1; α - массовая доля частиц в двухфазной смеси, T - температура. Результаты расчета скорости детонации и параметров волны в плоскости Чепмена-Жуге представлены на рис. 2; D - скорость детонации, γ - показатель адиабаты.

Из рис. 1 видно, что давление взрыва рассматриваемой силано-воздушной газовой смеси при $V = const$ (9.15 атм) сравнимо с соответствующими величинами

нами давления при взрыве стехиометрических водородо-воздушной и метано-воздушной газовых смесей (8.01 атм и 9.77 атм соответственно [2]). Из рис. 2 следует, что давление и температура детонационной волны в плоскости Чепмена-Жуге в рассматриваемой силано-воздушной смеси (17.89 атм и 2973 К) также близки к соответствующим параметрам детонационной волны в стехиометрических водородо-воздушной и метано-воздушной смесях (15.6 атм, 2947 К и 19.13 атм, 3114 К соответственно [2]). Столь высокие давления и температуры, реализующиеся при взрывных и детонационных процессах в силано-воздушных смесях необходимо учитывать при расчете взрывобезопасности соответствующих технических устройств.

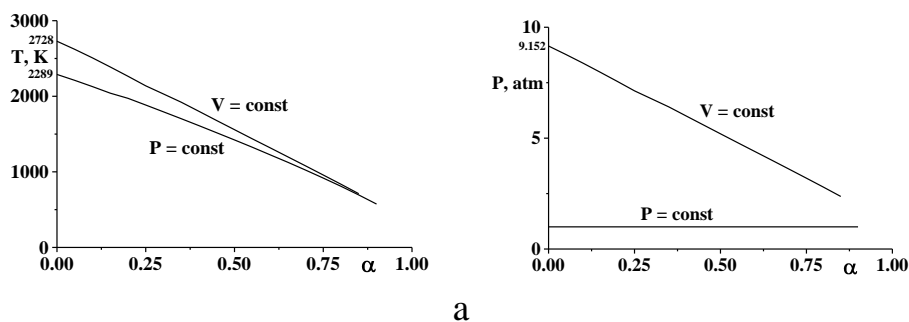


Рис. 1. Температура (а) и давление (b) при взрыве стехиометрической силано-воздушной смеси с частицами Al_2O_3 при $P = \text{const}$ и $T = \text{const}$

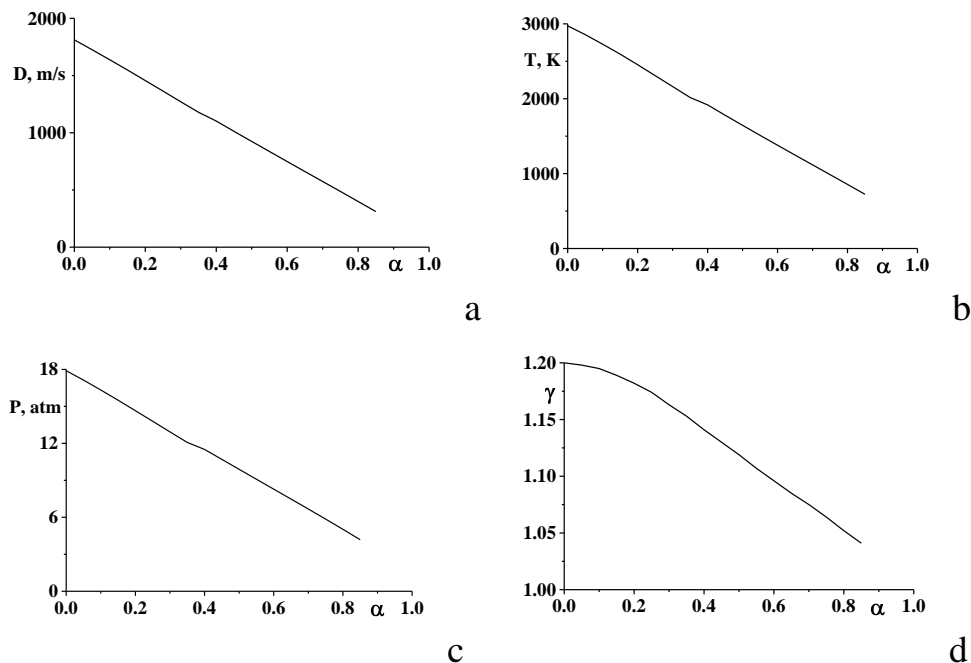


Рис. 2. Параметры детонации в стехиометрической силано-воздушной смеси с частицами Al_2O_3

Как следует из рис. 1 и 2, увеличение массовой доли частиц ведет к существенному снижению давления и температуры смеси при взрыве, уменьшению скорости детонации, давления и температуры смеси в плоскости Чепмена-Жуге. Таким образом, изменяя концентрацию твердой фазы можно существенно ослаблять тепловую и механическую нагрузку на промышленные конструкции, вызванные взрывом или детонацией силано-воздушных смесей.

В [3] сделаны расчеты задержки воспламенения стехиометрической силано-воздушной смеси с помощью детальной кинетики. На основе расчетов получена Аррениусовская формула, описывающая величину задержки воспламенения τ как функцию температуры T , давления P и концентраций реагирующих компонент ξ_{SiH_4} и ξ_{O_2} ($P_0 = 1$ атм):

$$\tau = 1.37 \cdot 10^{-10} \left(\frac{P}{P_0}\right)^{-0.47} \xi_{SiH_4}^{-0.84} \xi_{O_2}^{-0.07} e^{9695/T}.$$

Указанная формула и рассчитанные в работе параметры волны Чепмена-Жуге использованы для расчета размера ячейки газовой детонации по модели [4]. Получено (рис. 3), что размер ячейки в рассматриваемой силано-воздушной смеси имеет тот же порядок величины, что и размер ячейки в стехиометрических водородо-воздушной и метано-воздушной смесях, что свидетельствует о высокой детонационной опасности силано-воздушных смесей.

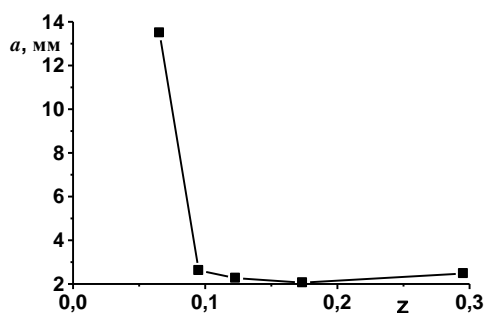


Рис. 3. Поперечный размер a детонационной ячейки в смеси SiH_4 с воздухом (z – мольная доля SiH_4)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fomin P.A., Chen J.-R. Effect of chemically inert particles on thermodynamic characteristics and detonation of a combustible gas // *Combustion Science and Technology*. 2009. Vol. 181, No. 8. P. 1038–1064.
2. Николаев Ю.А., Топчиян М.Е. Расчет равновесных течений в детонационных волнах в газах // *Физика горения и взрыва*. 1977. Т. 13. No. 3. С. 393–404.
3. D.A. Tropin, A.V. Fedorov. Physical and Mathematical modeling of the ignition and combustion of silane in transient and reflected shock waves // *Tenth International Symposium on Hazards, Prevention and Mitigation of Industrial Explosions (X ISHPMIE)*, Bergen, Norway, 10-14 June 2014.
4. Васильев А.А., Николаев Ю.А. Модель ячейки многофронтной газовой детонации // *Физика горения и взрыва*. 1976. Т. 12. No. 5. С. 744–754.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕНСОРА ДЛЯ ДАТЧИКА КОНТРОЛЯ ДИАМЕТРА

Любовь Васильевна Шебалкова

ОАО «Научно-исследовательский институт электронных приборов», 630005, Россия, г. Новосибирск, ул. Писарева, 53, ведущий инженер-руководитель группы; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, старший преподаватель кафедры АИУС, тел. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

Микроволновые датчики и системы широко используются в нефтеперерабатывающей, химической и металлургической промышленности при работе в агрессивных средах. Среди микроволновых датчиков, работа которых основана на возбуждении конструктивных узлов резонаторов, может встретиться большое разнообразие их форм. К ним можно отнести и проходной резонатор, имеющий два порта, что значительно упрощает получение информации об измеряемом параметре – резонансной частоте в отличие от классических форм резонатора. В данной статье описано моделирование такого резонатора на частотах S диапазона.

Ключевые слова: проходной резонатор, резонатор, датчик диаметра, электродинамическое моделирование.

3D FULL WAVE ELECTROMAGNETIC MODELING OF DIAMETER SENSOR

Lyubov V. Shebalkova

JSC «Scientific research Institute of electronic devices», 630005, Russia, Novosibirsk, 53 Pisarev str., leading engineer-team manager; Novosibirsk State Technical University, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 Prospekt K. Marksa, senior lecturer of AICS Department, tel. (383)216-05-48, e-mail: lvsheb@list.ru

Microwave control systems and sensors are used widely in oil refining, chemical and metallurgical industries. A large variety of resonator shapes is found among microwave sensors. As well there is a reentrant resonator with two waveguide ports that simplify the delivering of measurement information about resonance frequency. The 3D electromagnetic modeling of this resonator is considered in this paper.

Key words: reentrant resonator, resonator, diameter sensor, 3D full wave analysis, electromagnetic modeling.

Проходные резонаторы применяются для контроля различных технологических параметров, например для измерения диаметра диэлектрических частиц в диапазоне от 30 до 100 мкм в химической промышленности, фармакологии [1]. Представленный в данной работе объемный проходной резонатор предназначен для использования в качестве сенсора для датчика контроля диаметра диэлектрических шнуров. Для подтверждения теоретических расчетов [2] была создана трехмерная модель проходного объемного резонатора, представленная на рис. 1. Данная электродинамическая модель представляет собой отрезок волновода нестандартного сечения 720×10 мм произвольной длины с индуктивными штырями, длина рабочего участка между центрами индуктивных штырей составляет 140 мм. Индуктивные штыри распложены на продольной

оси симметрии волновода, их диаметр составляет 10 мм, они выполнены в виде металлических цилиндров. После составления геометрической модели важным этапом моделирования является определение граничных условий. При решении внутренних задач электродинамики для волновода или проходного резонатора обычно достаточно задать два порта – направления откуда приходит и куда уходит СВЧ мощность и произвести их калибровку. Остальные граничные условия присваиваются автоматически – стенкам волновода идеальная электрическая граница, штырям идеальный металл. После выполнения вышеописанной процедуры был проведен расчет S- параметров в полосе частот от 2,3 до 2,6 ГГц с шагом 10 МГц. Резонансная частота составила 2,45 ГГц. Как видно из рисунка 1 в резонаторе установился режим колебаний H_{101} , так как существует максимум распределения электромагнитного поля в центре резонатора.

На рис. 2 видно разбиение трехмерной структуры на тетраэдры, размер которых зависит от размера элемента конструкции. От размера тетраэдра непосредственно зависит и точность полученных результатов. При расчетах и разбиении структуры на тетраэдры были использованы пять адаптивных итераций, точность расчета S параметров составила 1,2 %.

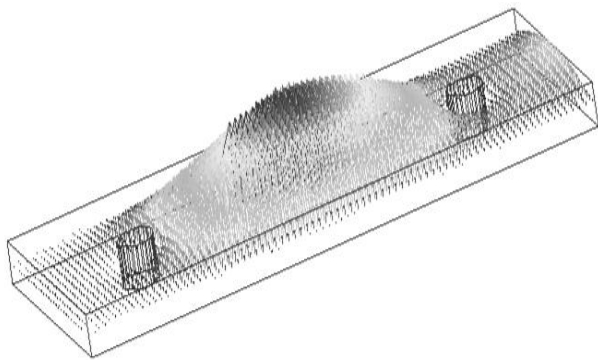


Рис. 1. Распределение поля в электродинамической модели проходного резонатора

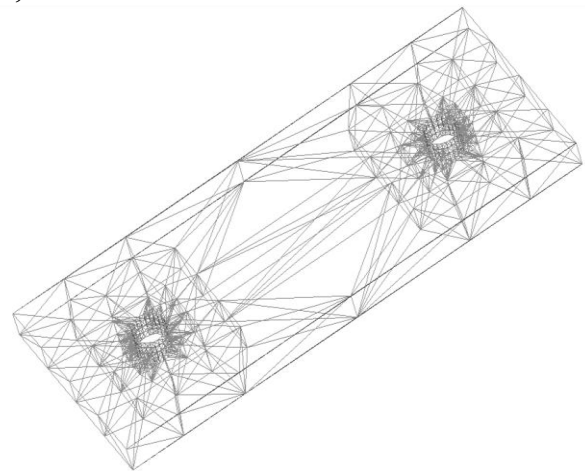


Рис. 2. Разбиение трехмерной структуры резонатора на тетраэдры

Следующий шаг – составление трехмерной модели самого сенсора, для этого в вышеописанной модели необходимо добавить технологическое отверстие для проводки диэлектрических цилиндрических образцов. Данное отверстие выполнено в виде воздушного цилиндра диаметром 10 мм, размещаемого на одной оси с индуктивными штырями. Таким образом, отверстие находится в пучности электрического поля, создаваемого проходным резонатором (рис. 3). Расчет производился в той же полосе частот, что и в предыдущей модели.

На рис. 4 представлен график модуля коэффициента отражения проходного резонатора, полученное значение, составляющее -20 дБ, свидетельствует об высоком уровне согласования, коэффициент стоячей волны по напряжению составляет порядка 1,2 отн. ед.

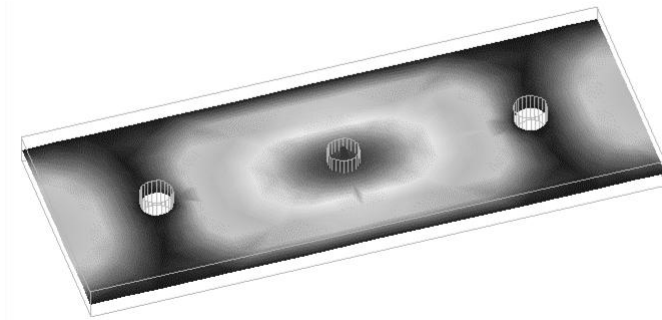


Рис. 3. Электродинамическая модель с технологическим отверстием

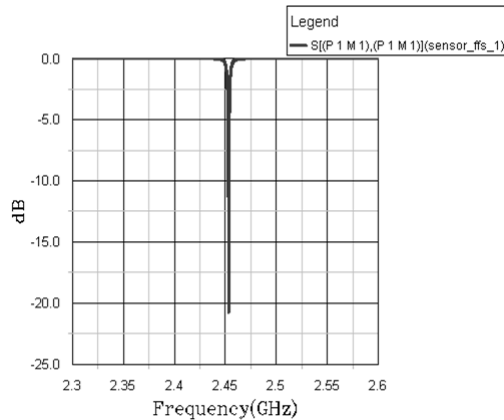


Рис. 4. Модуль коэффициента отражения

На рис. 5 изображен график модуля коэффициента передачи, резонансная частота составляет 2,45 ГГц, именно на этой частоте коэффициент передачи практически равен 0, что свидетельствует о том, что мощность из порта 1 в порт 2 передается без потерь.

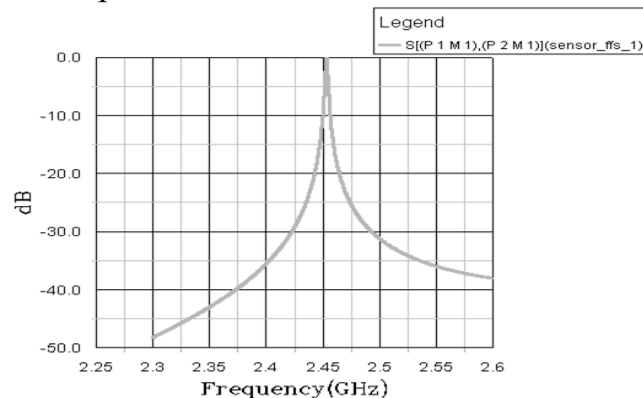


Рис. 5. Модуль коэффициента передачи пустого резонатора

Далее переходим к этапу непосредственного моделирования работы сенсора диэлектрическими образцами цилиндрической формы. В качестве материала для образцов выбраны 2 диэлектрика с различными параметрами (диэлектрическая проницаемость 2,2 и 5). Для каждого образца последовательно производился расчет S – параметров для различных радиусов; в табл. 1, 2 приведены значения резонансных частот f и частотного сдвига Δf для каждого образца соответственно.

В качестве примера на рис. 6 представлен график модуля коэффициента передачи для материала, имеющего диэлектрическую проницаемость 2,2 и радиус 0,5 мм, как и предполагалось, резонансная частота смещается влево относительно резонансной частоты ненагруженного проходного резонатора, так как образец проходит через пучность поля параллельно узкой стенке волновода [2]. Такая же картина характерна и для других образцов.

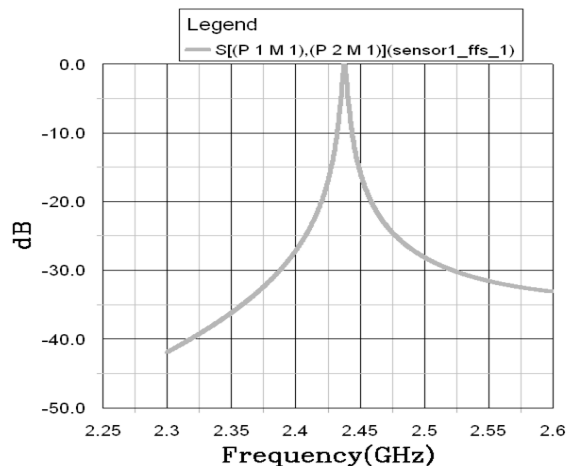


Рис. 6. Модуль коэффициента передачи ($r=0.5\text{мм}$; $f=2.4377\text{ГГц}$; $\epsilon=2.2$)

Таблица 1

Значение резонансных частот при различных диаметрах диэлектрического шнура ($\epsilon = 5$, $\text{tg } \delta = 0.0015$)

r , мм	f , ГГц	Δf , ГГц
0.5	2.4365	0.0135
1	2.4308	0.0192
1.5	2.4202	0.0298
2	2.4089	0.0411
2.5	2.3918	0.0582
3	2.3711	0.0789

Таблица 2

Значение резонансных частот при различных диаметрах диэлектрического шнура ($\epsilon = 2.2$, $\text{tg } \delta = 0.001$)

r , мм	f , ГГц	Δf , ГГц
0.5	2.4377	0.0123
1	2.4359	0.0141
1.5	2.4332	0.0168
2	2.4296	0.0204
2.5	2.4245	0.0255
3	2.4188	0.0312

На рис. 7 изображены графики зависимости изменения резонансной частоты Δf нагруженного резонатора относительно пустого резонатора от радиуса образца для различных диэлектрических материалов. Частотный сдвиг зависит и от радиуса, и от свойств материала, следовательно, данный проходной резо-

натор можно применять в качестве датчика при контроле диаметра и для контроля сплошности (отсутствия воздушного заполнения) диэлектрических шнуров.

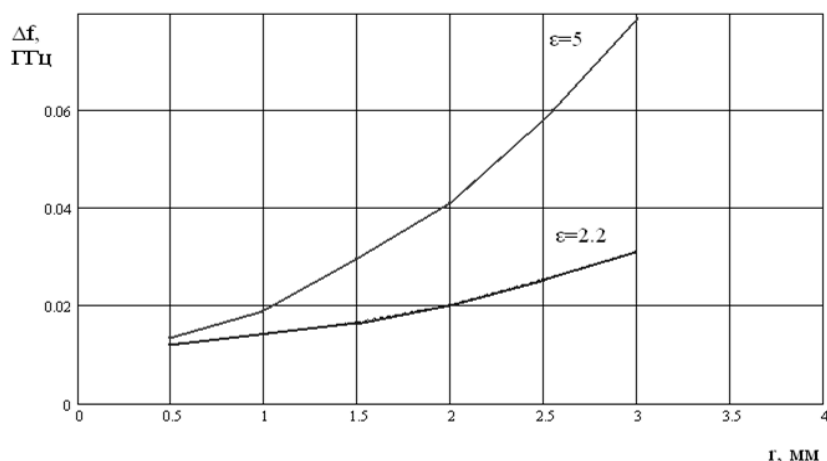


Рис. 7. Графики зависимости $\Delta f = f_{\text{рез.нагр.}} - f_{\text{рез.}}$ от радиуса образца (r) для каждого значения ε

Как видно из рис. 7 изменение резонансной частоты прямопропорционально увеличению диаметра образца и его диэлектрической проницаемости.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования данных датчиков для контроля изменения диаметра и появления воздушных полостей при автоматизированном производстве детонационных шнуров, изготавливаемых методом экструзии.

Заключение

В статье рассмотрены основные моменты составления электродинамической модели проходных резонаторов, относящихся к микроволновым сенсорам, на частотах S диапазона; подтверждена теоретическая зависимость изменения резонансной частоты системы при помещении тестируемого образца в пучность электромагнитного поля, возбуждаемого в данном случае колебанием типа H_{101} . Датчик имеет высокую чувствительность к изменению контролируемого параметра, к тому же простую конструкцию. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования данных датчиков для контроля изменения диаметра и появления воздушных полостей при автоматизированном производстве детонационных шнуров, изготавливаемых методом экструзии на взрывоопасных производствах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Викторов В.А., Лункин В.В., Совлуков А.С. Радиоволновые измерения параметров технологических процессов [Текст].- М.: Энергоатомиздат, 1989.-208 с.
2. Reentrant Resonators for Microwave Measurement Units, V. B. Romodin, L. V. Shebalkova, 2002 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Proceeding, p.p. 1365-1368, vol.2, Seattle, 2002.

© Л. В. Шебалкова, 2015

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ ГАДФИЛЬДА ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ

Анатолий Васильевич Гуськов

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: a.guskov@corp.nstu.ru

Константин Евгеньевич Милевский

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, кандидат технических наук, доцент кафедры газодинамических импульсных устройств, тел. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Надежда Федоровна Чайка

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры наносистем и оптоэлектроники, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Валентин Алексеевич Ломан

Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, студент гр. МБ-21 факультета летательных аппаратов, тел. (383)225-24-64, e-mail: Loman_95@mail.ru

Изучены физико-механические характеристики стали гадфильда после ударно-волнового нагружения. Выявлены зависимости изменения параметров удлинения, плотности, твёрдости от глубины упрочняемого слоя.

Ключевые слова: сталь Гадфильда, упрочнение взрывом.

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HADFIELD STEEL UNDER SHOCK WAVE LOADING

Anatoly V. Guskov

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa st., Ph. D. associate professor of department of gas-dynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Konstantin E. Milevskiy

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa st., Ph. D. associate professor of department of gas-dynamic impulse devices, tel. (383)346-25-65, e-mail: gdd@craft.nstu.ru

Nadegda F. Chayka

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630018, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo Str. 10, Ph. D., associate professor of nanosystems and optical engineering, tel. (383)343-91-11, e-mail: kaf.nio@ssga.ru

Valentin A. Loman

Novosibirsk state technical university, 630073, Russia, Novosibirsk, 20 K. Marksa st., Student aircraft faculty, gr. MB-21, tel. (383)225-24-64, e-mail: Loman_95@mail.ru

Have studied the physical and mechanical characteristics of Hadfield steel after shock wave loading. Identified according to changes in the parameters of elongation, density, hardness of the depth of the reinforcement layer.

Key words: Hadfield steel, hardening of the explosion.

Сталь Гадфильда обладает исключительной восприимчивостью ко всем способам упрочнения, в том числе и к взрыву [1]. Первые исследования упрочнения этой стали выполнены авторами патента в начале 1950-х годов. В 1960 г. опубликовано исследование Хольцмана и Кована, где исследована ударно-волновая обработка стали Гадфильда.

Процесс упрочнения взрывом стали Гадфильда нашел широкое применение в промышленности.

Сталь 110Г13Л обладает следующими механическими свойствами: предел прочности $\sigma_b = 800-900$ МПа; условный предел текучести $\sigma_t = 310-350$ МПа; относительное удлинение (пластичность) $\delta = 15-20$ %; относительное сужение $\psi = 50-30$ %; начальная твердость в исходном состоянии 200 НВ [2].

Упрочнения стали Гадфильда, можно осуществлять квазистатической нагрузкой и ударно-волновой нагрузкой. Упрочнение квазистатической нагрузкой осуществляется на глубину всего 2-5 мм, в то время как упрочнение взрывом возможно на глубину до 40 мм [3]. Механизм упрочнения при квазистатической нагрузке можно проследить при деформации зёрен металла. Чем больше деформация зёрен, тем больше упрочнение.

В качестве взрывчатого вещества принято высокоскоростное взрывчатое вещество ЛВВ11-01. Использование пластического взрывчатого вещества обусловлено тем, что оно способно с высокой точностью копировать поверхность упрочняемого изделия.

Образцами взяты технологические пробы (клиновидные бруски высотой 110 мм, длиной 210 мм, шириной при основании клина 55 мм, при вершине 16 мм) рис. 1.

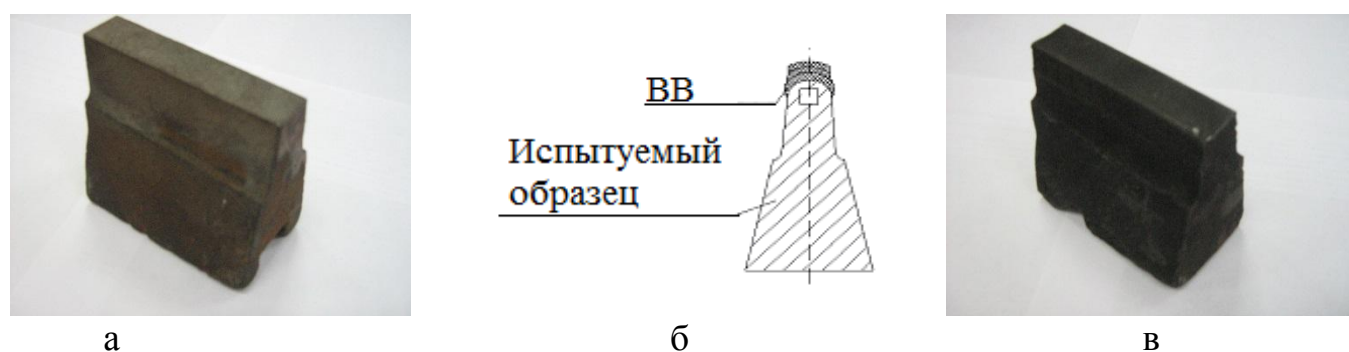


Рис. 1. Схема расположения взрывчатого вещества:

а – изделие до упрочнения, б – на образце, в – изделие после упрочнения

Схема расположения взрывчатого вещества моделирует схему всестороннего сжатия (рис. 1 б). Такая схема позволяет препятствовать развитию напывов металла. Если при обычном сжатии, происходит изменение геометрии об-

разца и как следствие, изменение геометрии упрочняемого изделия, то по схеме всестороннего сжатия изменения в геометрии практически не происходят, что позволяет говорить о целостности образца и об упрочнении на большую глубину.

После взрывного нагружения проводили замеры твердости упрочняемых поверхностей по методу Роквеллу. Перед замером поверхность зачищали наждаком на грубом, а затем на мелком камне. Для каждой технологической пробы определяли среднее значение твердости по замерам в нескольких точках (10 на каждый образец) упрочняемой поверхности по всей глубине детали [4].

На рис. 2 изображена схема раскроя образца, для дальнейших испытаний.

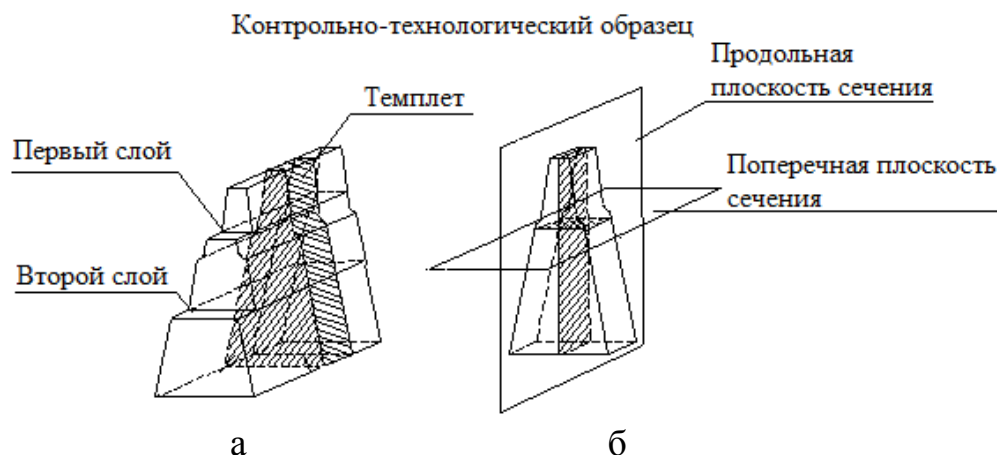


Рис. 2. Схема раскроя технологической пробы для подготовки образцов на металлографический анализ

Схема замера твердости представлена на рис. 3.

На рис. 4 представлены зависимости распределение твердости по образцу от шага точек замера.

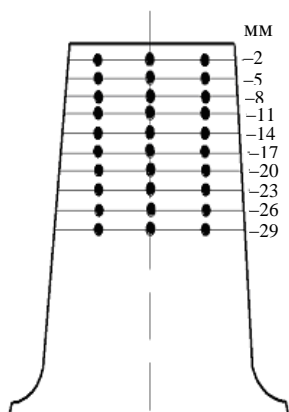


Рис. 3. Схема расположения точек замеров твердости по глубине технологической пробы в мм

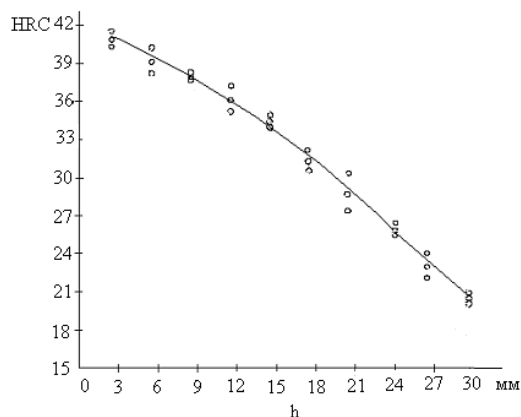


Рис. 4. Зависимость твердости образца от расстояния от поверхности, h – расстояние от поверхности

Проводились испытания на растяжение. От обработанных взрывом технологических проб отрезали слой толщиной 14 мм, из которого изготавливали ци-

линдрические пятикратные образцы для испытания на растяжение по ГОСТ 1497-84 [5]. Растягивались образцы после нагружения. Испытания на растяжение проводились на машине Р-5. Металлографические исследования проводили следующим образом. Строение металла после литья и закалки изучали на темплетях, из которых вырезали образцы в поперечном и продольном направлениях для изготовления шлифов (рис. 2, а и б).

На рис. 5 видно, что удлинение образцов происходит до пикового значения, которое имеет образец № 5, а потом удлинение уменьшается.



Рис. 5. Удлинение образцов после нагружения

Проводилась оценка размеров зерна средний размер зерна по обоим слоям, примерно одинаков, однако наглядно появление полос скольжения на небольших глубинах после взрывного нагруже-



ния (рис. 6)[5].

а



б

Рис. 6. Микроструктура стали 110Г13Л (x250). Образцы, упрочненные ударной волной, образованной взрывчатым веществом толщиной 12 мм:

а – до упрочнения, б – после взрывного упрочнения

Были проведены исследование образцов на изменение плотности по слоям [6]. Для определения плотности были предоставлены 9 образцов стали после деформации и 8 образцов до деформации.

На графике (рис. 6) видно, что плотность образцов возросла после взрывного нагружения. Так же видно, что у предъявленных образцов плотность уменьшается от первого образца к девятому.

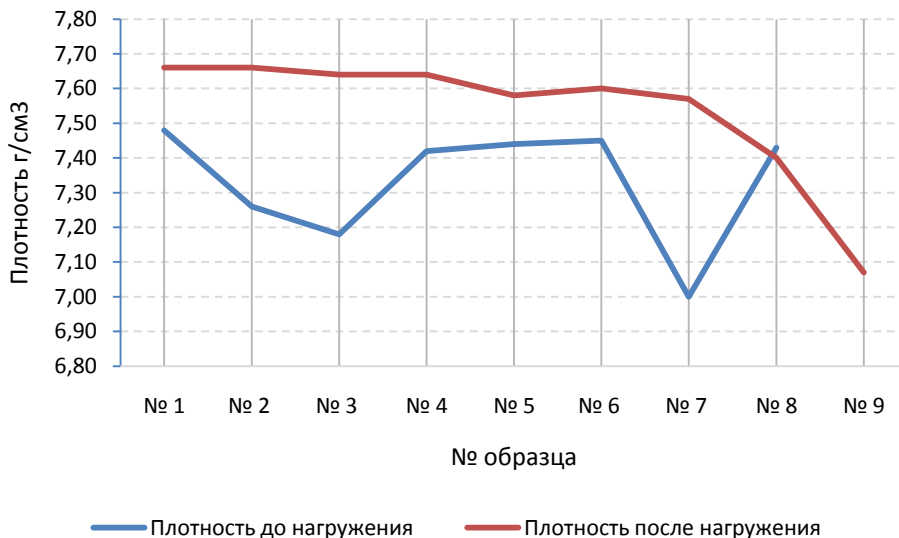


Рис. 6. Плотность образцов до и после нагружения

Опираясь на проведённые исследования физико-механических характеристик, в упрочнённом слое материала, можно выделить несколько подслоёв, с различными механическими свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск, 1972 г.
2. Лашко Н.Ф., Еремин Н.И. Фазовый состав и структура аустенитных сталей, М.:Машгиз,1957, 457 с
3. Гуськов А. В., Милевский К. Е., Яковлев А. Г. Сравнительный анализ упрочнения стали Гадфильда статической и высокоскоростной нагрузкой // Наука. Промышленность. Оборона труды XV всероссийской научно-технической конференции (г. Новосибирск, 23-25 апреля 2014г.) – Новосибирск НГТУ, 2014 – с 207 – 210.
4. Тушинский Л.И., Гуськов А. В., Милевский К. Е., Петров А. Ф. Влияние высокоскоростной ударной волны на микроструктуру и механические свойства стали Гадфильда 110Г13Л // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 4(25) с 186 – 194.
5. Guskov A.V., Milevsky K.E., N. Y. Mihaylova Research of Gadfield steel structure after dynamic loading // 7th World conference on explosives & blasting – Moscow, Russia, 2013.
6. Гуськов А. В., Милевский К. Е., Яковлев А. Г. Физико-механические свойства стали Гадфильда после ударно-волнового воздействия // Наука. Промышленность. Оборона труды XV всероссийской научно-технической конференции (г. Новосибирск, 23-25 апреля 2014г.) – Новосибирск НГТУ, 2014 – с 193 – 196.
7. ГОСТ 15139-69 Методы определения плотности (объемной массы) М.: Изд-во стандартов, 1981.

© А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, В. А. Ломан, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>В. М. Тиссен.</i> Сравнение методов прогнозирования ПВЗ по результатам соревновательного проекта МСВЗ	3
2. <i>А. Ф. Бродников, В. Я. Черепанов.</i> Определение метрологических характеристик калибраторов температуры с помощью миниатюрных ампул реперных точек	8
3. <i>Н. А. Вихарева, В. Я. Черепанов.</i> Метод измерений коэффициента черноты поверхностей в системе двух параллельных плоскостей.....	13
4. <i>Е. Ю. Кутенкова, Т. В. Ларина, О. В. Минин, И. В. Минин.</i> Оптоэлектронное устройство для измерения показателей качества жидких углеводородов.....	18
5. <i>Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко.</i> Приборы для мониторинга качества нефтепродуктов	23
6. <i>Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко.</i> Исследование метрологических характеристик анализатора содержания серы в нефтепродуктах СИМ-6.....	27
7. <i>Г. В. Шувалов, И. В. Минин, О. В. Минин, И. В. Клековкин, М. Г. Клековкина, О. А. Ясырова, Е. А. Костенко.</i> Исследование метода определения температуры вспышки нефтепродуктов на анализаторе СИМ-5	32
8. <i>С. В. Савелькаев, В. А. Литовченко.</i> Способ калибровки плоского контактного устройства.....	37
9. <i>Г. В. Симонова, Д. П. Симонов.</i> Проблемы метрологического обеспечения анализа цифровых изображений	42
10. <i>Н. А. Харитошин.</i> Верификация расчетов с помощью CST STUDIO SUITE.....	46
11. <i>С. В. Ромасько.</i> Методика определения коэффициентов интерполяции и экстраполяции СВЧ мер ослабления по модулю коэффициента отражения	50
12. <i>А. А. Вараксин.</i> Метрологический анализ факторов, ограничивающих предельную точность прогнозирования параметров вращения Земли	53
13. <i>А. В. Трифанов, В. Я. Костюченко, Д. Ю. Протасов.</i> Цифровая фильтрация как метод уменьшения погрешности определения электрофизических параметров носителей заряда в плёнках КРТ р-типа.....	58

14. <i>Е. А. Ханькова, А. С. Толстиков, А. А. Карауш.</i> Методика оценивания характеристик нестабильности бортовых часов навигационных спутников ГЛОНАСС	62
15. <i>А. С. Толстиков, А. С. Томилов, А. Р. Безродных.</i> Пути повышения точности синхронизации пространственно-разнесенных часов на основе применения навигационных сигналов ГЛОНАСС.....	67
16. <i>В. А. Райдугин.</i> Технология списания девиации курсовой системы ГМК-1А на вертолёте в полевых условиях.....	73
17. <i>А. А. Марач, М. М. Кузнецов, В. В. Коваленко.</i> Геометрические методы измерения расстояний.....	76
18. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> Выключатель взрывного типа на основе гиперкумулятивного заряда	81
19. <i>М. А. Кислин, Е. М. Хрубилова.</i> Перспективы ОСП с разделенными пороховыми зарядами	86
20. <i>Н. Н. Бардачевский, А. Н. Ефимов, Г. М. Мамедов.</i> Алгоритм определения маршрутов движения с использованием геоинформационных систем	92
21. <i>А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, М. С. Хребтова.</i> Соединение кольцевой заготовки на корпусе сваркой взрывом.....	102
22. <i>А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, Я. С. Зезюлинский.</i> Теплоперенос в процессе высокоскоростного разгона типового ведущего пояска по каналу артиллерийской установки	107
23. <i>М. С. Комбаров, М. Е. Титаренко, М. М. Кузнецов.</i> Практика применения программного обеспечения для обработки результатов измерения на микроскопах ИМЦЛ.....	112
24. <i>В. С. Кулик, В. Б. Ромодин.</i> Исследование суммарной диаграммы антенной системы неконтактного датчика цели.....	117
25. <i>Г. А. Куриленко, В. С. Айрапетян, Г. В. Григорьева.</i> Прогнозирование долговечности изделий по мощности теплового источника в очаге повреждаемости.....	121
26. <i>С. Н. Шарифуллин, В. Б. Ломухин.</i> Научные проблемы выбора ремонтно-восстановительного покрытия для машин и механизмов	126
27. <i>А. А. Марач, М. М. Кузнецов, В. В. Коваленко.</i> Оптико-электронные методы определения дальности	135
28. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> Метод заканчивания скважины	140
29. <i>А. Г. Батурин.</i> Анализ информативных признаков объекта обнаружения, расположенного на фоне отражающей поверхности.....	148
30. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> Метод создания импульсной плазменной антенны	151
31. <i>С. Л. Микерин, А. И. Плеханов, А. Э. Симанчук, А. В. Якиманский.</i> Генерация широкополосного терагерцового излучения в резонансных ориентированных органических средах.....	155

32. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> О возможном механизме образования холмов на дне воронки при ударном кратерообразовании	164
33. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> Взрывной генератор плоской волны для кумулятивных перфораторов	180
34. <i>О. В. Минин, В. Ф. Минин, И. В. Минин.</i> Метод формирования высокоскоростных составных кумулятивных струй в зарядах перфоратора.....	185
35. <i>В. И. Ознобихин, В. Б. Ромодин, Т. В. Ячменева.</i> Исследование целевых функций, используемых при проектировании антенных решеток	192
36. <i>М. В. Орлова.</i> Адаптивная компенсация помех в комплексированных системах ближней локации.....	197
37. <i>П. И. Остроменский, В. Г. Эдвабник.</i> Современные направления повышения достоверности виброиспытаний бортовой электронной аппаратуры.....	202
38. <i>А. В. Комлацкий, Е. В. Проскуряков.</i> Расчет основных параметров взрыва осколочных мин направленного поражения.....	204
39. <i>В. Б. Ромодин, В. С. Кулик.</i> Исследование влияния производственных допусков на параметры волноводно-щелевой антенны.....	210
40. <i>Ю. М. Фартышев, М. М. Кузнецов, А. К. Гаутцель, В. Ю. Языков.</i> Контроль технологической дисциплины как условие стабильности производственного процесса	214
41. <i>П. А. Фомин, В. С. Айрапетян.</i> Конденсация паров горючего за фронтом ударной волны в газе	219
42. <i>П. А. Фомин.</i> Расчет параметров взрыва силаносодержащих газовых и газопылевых систем	223
43. <i>Л. В. Шебалкова.</i> Электродинамическое моделирование сенсора для датчика контроля диаметра.....	227
44. <i>А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, Н. Ф. Чайка, В. А. Ломан.</i> Исследование физико-механических свойств стали Гадфильда при ударно-волновом нагружении.....	232

CONTENTS

1. <i>V. M. Tissen</i> . Comparison of methods of forecasting PVZ project competition results IERS	3
2. <i>A. F. Brodnikov, V. Ya. Cherepanov</i> . Determination of metrological characteristics of the calibrators of temperature with the help of tiny vials of reference points	8
3. <i>N. A. Vikhareva, V. Ya. Cherepanov</i> . Method of the emissivity surfaces measuring in the system of two parallel planes	13
4. <i>E. Yu. Kutenkova, T. V. Larina, O. V. Minin, I. V. Minin</i> . Optoelectronic device for measuring indicators the quality of liquid hydrocarbons	18
5. <i>G. V. Shuvalov, I. V. Minin, O. V. Minin, I. V. Klekovkin, M. G. Klekovkina, O. A. Yasyrova, E. A. Kostenko</i> . Devices for monitoring of quality of oil products.....	23
6. <i>G. V. Shuvalov, I. V. Minin, O. V. Minin, I. V. Klekovkin, M. G. Klekovkina, O. A. Yasyrova, E. A. Kostenko</i> . Research of metrological characteristics of the analyzer of the content of sulfur in SIM-6 oil products	27
7. <i>G. V. Shuvalov, I. V. Minin, O. V. Minin, I. V. Klekovkin, M. G. Klekovkina, O. A. Yasyrova, E. A. Kostenko</i> . Development and research of the method of determination of temperature of flash of oil products	32
8. <i>S. V. Savelkaev, V. A. Litovchenko</i> . A method for calibrating a stripe contact devices	37
9. <i>G. V. Simonova, D. P. Simonov</i> . Problems metrological support analysis of digital images	42
10. <i>N. A. Kharitoshin</i> . Verification calculations using CST STUDIO SUITE	46
11. <i>S. V. Romasko</i> . Technique of determination of coefficients of interpolation and extrapolation of the microwave oven of measures of easing for reflection coefficient module.....	50
12. <i>A. A. Varaksin</i> . Metrological analysis of limiting factors limit the accuracy of forecasting the Earth rotation parameters.....	53
13. <i>A. V. Trifanov, V. Ya. Kostuchenko, D. Yu. Protasov</i> . Digital filtering as a reducing error method in determining electrophysical parameters of charge carriers in p-type MCT thins	58
14. <i>E. A. Hanikova, A. S. Tolstikov, A. A. Karaush</i> . Evaluating method of instability characteristics of onboard clocks GLONASS navigation satellites 62	62
15. <i>A. S. Tolstikov, A. S. Tomilov, A. R. Bezrodnikh</i> . Ways to improve synchronization accuracy spatially separated hours on the basis of applications GLONASS navigation signals.....	67

16. V. A. <i>Raydugin</i> . Technology of write-off of deviation of course system GMK-1A by the helicopter in field conditions	73
17. A. A. <i>Maratch</i> , M. M. <i>Kuznetsov</i> , V.V. <i>Kovalenko</i> . Geometric methods to measure distances	76
18. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> . I. V. <i>Minin</i> . The switch of explosive type on the basis of the hypercumulative charge	81
19. M. A. <i>Kislin</i> , C. M. <i>Hrubilova</i> . Perspectives OCP from the axis separated powder charge.....	86
20. N. N. <i>Bardachevsky</i> , A. N. <i>Efimov</i> , H. M. <i>Mamedov</i> . Algorithm for traffic routes using geographic information systems.....	92
21. A. V. <i>Guskov</i> , K. E. <i>Milevsky</i> , M. S. <i>Hrebtova</i> . The installation of annular workpiece on missile device with explosion welding.....	102
22. A. V. <i>Guskov</i> , K. E. <i>Milevskyi</i> , N. F. <i>Chayka</i> , Ya. S. <i>Zezyulinsky</i> . Heat transfer in high-speed model leading belt for channel gun mount	107
23. M. S. <i>Kombarov</i> , M. E. <i>Titarenko</i> , M. M. <i>Kuznetsov</i> . The practice of application software for processing the results of measurements on microscopes IMCL	112
24. V. S. <i>Kulik</i> , V. B. <i>Romodina</i> . Study of summary directivity pattern of antenna system of noncontact target sensor.....	117
25. G. A. <i>Kurilenko</i> , V. S. <i>Ayrapetian</i> , G.V. <i>Grigorieva</i> . Prediction product life power of heat sources in the hearth damageability.....	121
26. S. N. <i>Sharifullin</i> , V. B. <i>Lomukhin</i> . Scientific problem of choosing repair and restoration coatings for machines and mechanisms.....	126
27. A. A. <i>Maratch</i> , M. M. <i>Kuznetsov</i> , V. V. <i>Kovalenko</i> . Optoelectronic methods for determining the distance	135
28. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> , I. V. <i>Minin</i> . Method of well completion	140
29. A. G. <i>Baturin</i> . Analysis of informative features inherited to the object located against background surface.....	148
30. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> , I. V. <i>Minin</i> . Method of creation of the pulse plasma antennas	151
31. S. L. <i>Mikerin</i> , A. I. <i>Plekhanov</i> , A. E. <i>Simanchuk</i> , A. V. <i>Yakimansky</i> . A broadband terahertz radiation from a resonant poled organic media	155
32. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> , I. V. <i>Minin</i> . About the possible mechanism of formation of hills at the bottom crater at shock crater formation	164
33. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> , I. V. <i>Minin</i> . The explosive generator of the flat wave for cumulative punchers	180
34. O. V. <i>Minin</i> , V. F. <i>Minin</i> , I. V. <i>Minin</i> . Method of formation of high-speed compound cumulative jets in charges of the perforators.....	185
35. V. I. <i>Oznobishin</i> , V. B. <i>Romodina</i> , T. V. <i>Yachmeneva</i> . Research of the criterion functions used at design of antenna lattices.....	192
36. M. V. <i>Orlova</i> . Adaptive jamming compensation in complex short-range location systems.....	197

37. <i>P. I. Ostromecki, V. G. Edvabnik</i> . Modern ways of increasing the reliability of vibrasphere onboard electronic equipment	202
38. <i>A. V. Komlatskiy, E. V. Proskuryakov</i> . Main characteristics of directional fragmentation mine explosion manning detail.....	204
39. <i>V. B. Romodin, V. S. Kulik</i> . Study of the influence manufacturing tolerances on the parameters of waveguide slot antenna	210
40. <i>Yu. M. Fartyshch, M. M. Kuznetsov, A. K. Gaultsel, V. Yu. Yazikov</i> . Control of technological discipline as a condition for the stability of the production process.....	214
41. <i>P. A. Fomin, V. S. Ayrapetyan</i> . Fuel vapor condensation behind shock wave front in gas.....	219
42. <i>P. A. Fomin</i> . Calculation of explosion parameters of silan – based gaseous and dust systems	223
43. <i>L. V. Shebalkova</i> . 3D full wave electromagnetic modeling of diameter sensor	227
44. <i>A. V. Guskov, K. E. Milevskiy, N. F. Chayka, V. A. Loman</i> . Investigation of physical and mechanical properties of Hadfield steel under shock wave loading	232

Научное издание

XI Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2015

Международная научная конференция

СибОптика-2015

Т. 3

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *Л. Н. Шиловой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 24.04.2015. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 14,12. Тираж 100 экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 8.