

## ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ И ФИЗИКИ ВЗРЫВА (ИФВ)

На экспериментальном полигоне ИФВ во вновь построенном каземате силами сотрудников ИФВ и НТЦФ смонтирована рентгеновская установка БИМ 234.3000. Произведен ее физический пуск. Установка является первой частью комплекса из трех установок РГК-Б, задача которого — проводить рентгенографические исследования изделий в трех ракурсах. Установка опробована в натурном взрывном эксперименте с использованием многокадрового регистратора изображений на ПЗС матрицах.

На базе электронно-оптических преобразователей диодного типа и многоканальной ПЗС камеры разработана цифровая многоканальная кадровая система регистрации рентгеновских изображений субмикросекундно-диапазона.

Система предназначена для оснащения трехлучевого комплекса РГК-Б и способна решать практически весь комплекс задач, стоящих перед газодинамиками и решаемых методом импульсной рентгенографии.

В 2006 году введен в строй испытательный водоем на внутреннем полигоне ИФВ. Водоем предназначен для изучения подводных взрывов и их воздействия на объекты.

Для испытания ударостойкости конструкций методом обращенного удара создан газодинамический ударный стенд принципиально новой конструкции «Удар 1М».

С помощью стенда можно испытывать объекты практически любой конфигурации, значительных размеров и массы (до 300 кг в одномодульном варианте), в том числе содержащие опасные материалы (ВВ, радиоактивные и токсичные материалы), на воздействие ударных нагрузок при скоростях удара до 30 м/с (имитация автотранспортных аварий, падений). Объединив несколько модулей, можно в соответствующее число раз увеличить предельную для испытаний на этом стенде массу объекта. Стенд отличается простотой конструкции, меньшими размерами

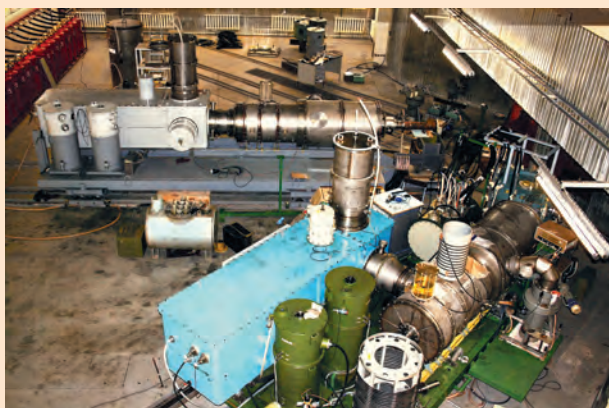
и стоимостью. В двух экспериментах (максимальная скорость ствола 12 и 25 м/с) подтверждено соответствие его рабочих характеристик проектным.

Исследования пороговой скорости удара при инициировании взрыва, реакции отечественных ВВ на локальное нагружение проводились с использованием ударного взрывного стенда СТВОЛ-65. В процессе нагружения ВВ в диапазоне скоростей соударения 24–60 м/с зарегистрированы напряжения на границе между ВВ и корпусом в случае взрыва и при его отсутствии, получены данные по энерговыделению нестационарного процесса, определены пороговые скорости инициирования взрыва.

Начаты расчетно-экспериментальные исследования поведения ВВ при динамическом

### Основные технические характеристики системы

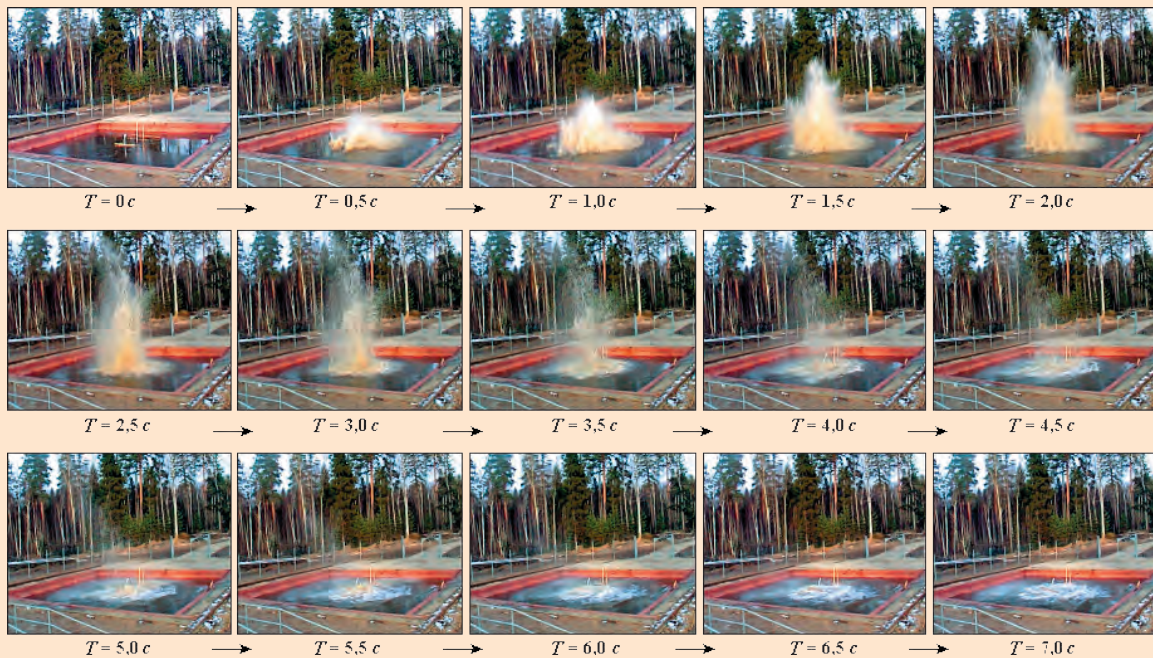
Число независимых каналов (кадров регистрации)	12
Длительность каждого кадра	0,2–5 мкс
Интервал времени между кадрами	0–100 мкс
Размер рабочего поля $\gamma$ -конверторов	до 150 мм
Динамический диапазон регистрации	$\sim 10^3$



Рентгеновская установка БИМ 234.3000

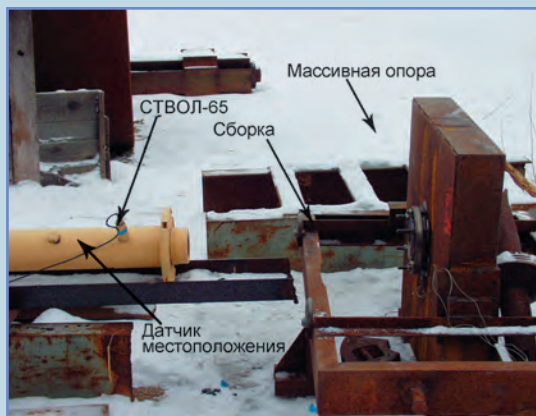


Ударный стенд «Удар 1М» в процессе сборки

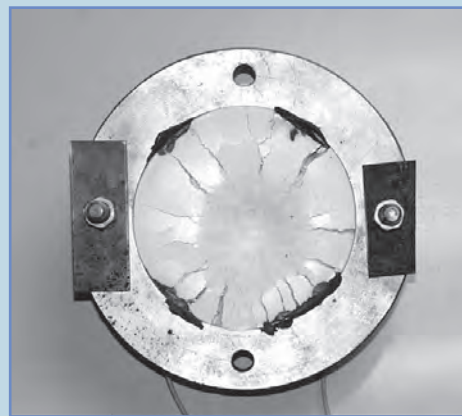


Развитие водяного столба от взрыва заряда ВВ в водоеме на глубине 2 м

ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ И ФИЗИКИ ВЗРЫВА (ИФВ)



Установка для проведения экспериментов



Образец из взрывчатого состава после нагружения

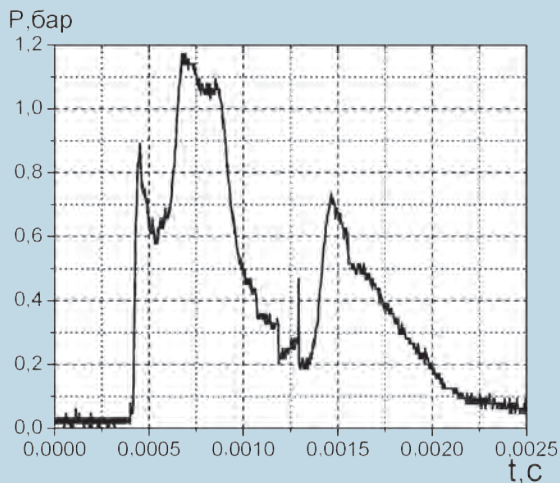


Диаграмма P(t) без взрыва

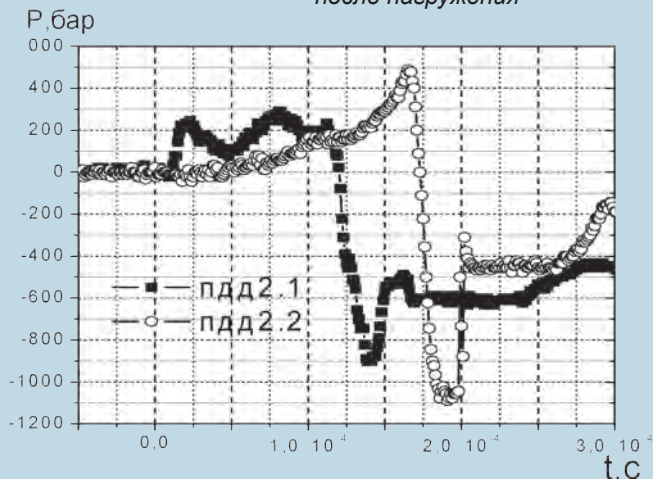


Диаграмма P(t), взрыв ВВ



деформировании с использованием модификации широко известного метода составного стержня Гопкинсона (ССГ). Целью исследований является определение характеристик механической реакции ВВ на низкоскоростное ударное воздействие, при реализации которого в образце возникает взрывчатое превращение. Информация такого рода необходима для создания расчетной модели взрыва при аварийном воздействии на изделия, содержащие ВВ.

В практику газодинамического эксперимента внедрена методика датчика динамического давления

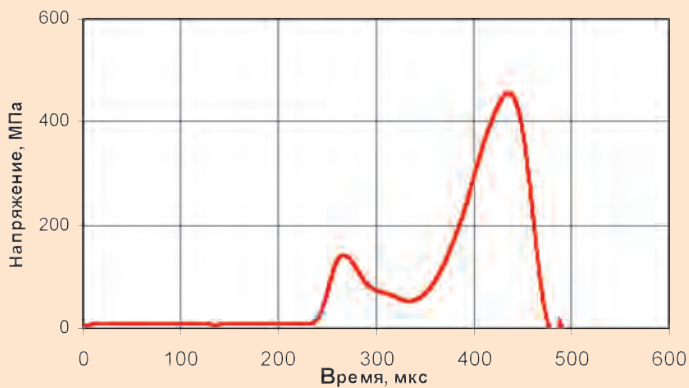
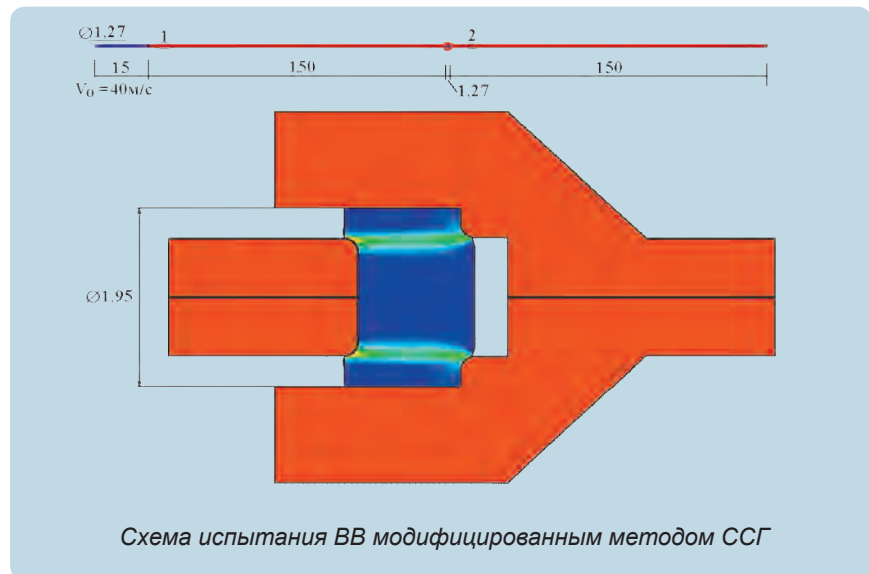
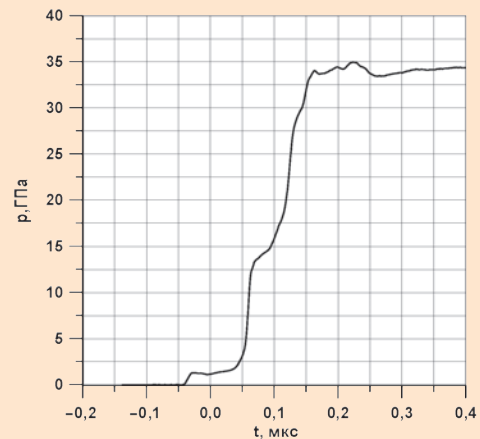
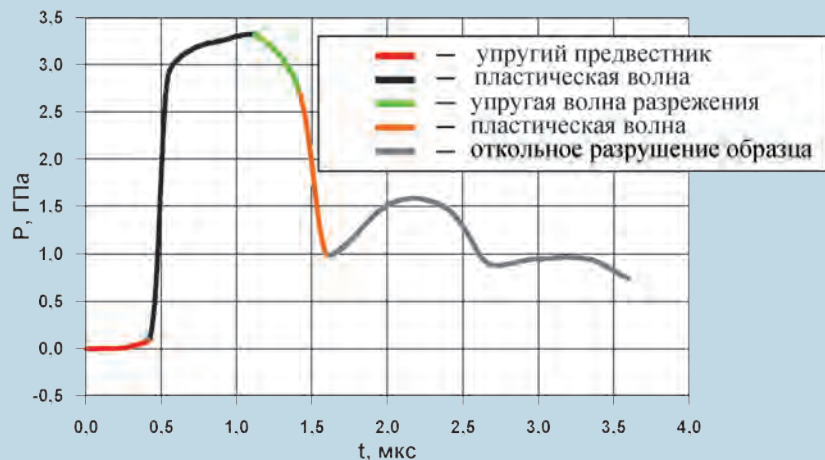


Диаграмма  $\sigma$ - $t$  в проходящей волне напряжения при наличии взрывчатого превращения в образце (второй максимум является следствием воздействия на опорный стержень ССГ волны давления)



Зависимость давления от времени в стали 3 при давлении нагружения выше фазового  $\alpha$ - $\epsilon$  перехода

на основе пьезополимера поливинилиденфторида (ПВДФ-датчик). Характеристики датчика: толщина 10–30 мкм, площадь рабочей зоны 2–100 мм<sup>2</sup>, временное разрешение ~1 нс (уровень лазерного интерферометра), диапазон рабочих давлений 0–36 ГПа в легких (фторопласт) и до 100 ГПа в тяжелых материалах (Fe, U). Датчики изготавливаются в ИФВ и технологическом отделении ВНИИЭФ. Работа датчика описана физической моделью, в рамках которой получены аналитические выражения для характеристик электрического отклика (ток, заряд) и амплитудной характеристики. ПВДФ-датчик используется для регистрации волн сжатия и разгрузки и позволяет получить



Регистрация ПВДФ-датчиком реакции мишени из алюминия АД-1 ( $\Delta = 5$  мм) на удар пластины из того же материала ( $\Delta = 3$  мм,  $W = 400$  м/с)

достаточно полную информацию о реакции материала на ударное нагружение.

Разработан новый мощный взрывчатый состав ГАМА на основе индивидуального ВВ ГАВ с приемлемыми характеристиками безопасности. Состав имеет хорошие перспективы для практического использования. В первой серии экспериментов с малогабаритными модельными кумулятивными зарядами кинетическая энергия кумулятивной струи повысилась в 1,2–1,3 раза, что подтверждает возможность существенного увеличения пробивного действия.

Завершена разработка снарядоформирующей боевой части «Гном» для снаряжения ракет реактивных систем залпового огня. По сравнению с аналогом бронепробитие повышено в 1,4

раза. Лучшая в России расчетно-экспериментальная база, банк данных по упругопластическим свойствам материалов, новые технические решения позволили

оптимизировать отбор энергии поражающего элемента и получить характеристики поражающего действия на уровне лучших западных аналогов.



Каверны в стальной преграде, пробитые кумулятивными зарядами с ВС ГАМА (вверху) и ОМА (внизу)



Полет ПЭ и его взаимодействие с броней



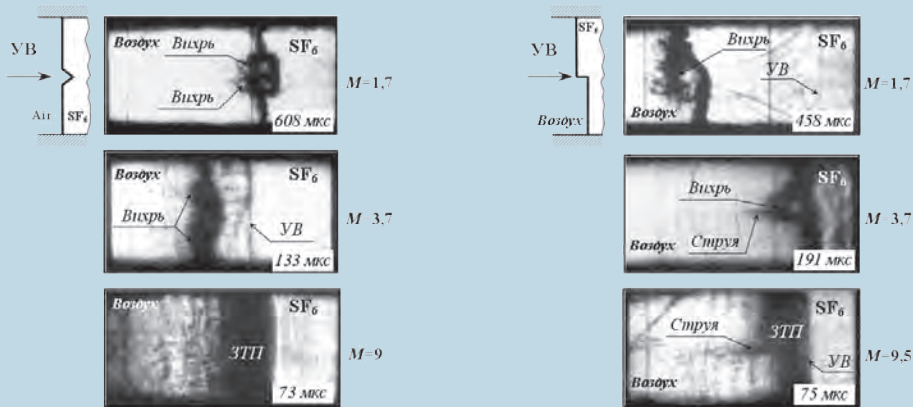
а



б

Пробитая броня: а — вид спереди; б — вид сзади



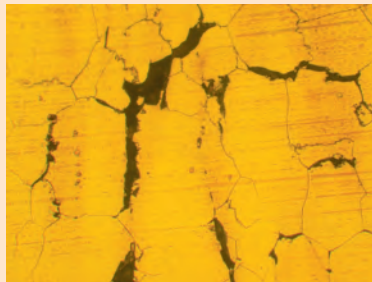


Кинограммы экспериментов по исследованию развития двумерных локальных возмущений (время отсчитывается от момента прихода УВ на контактную границу)

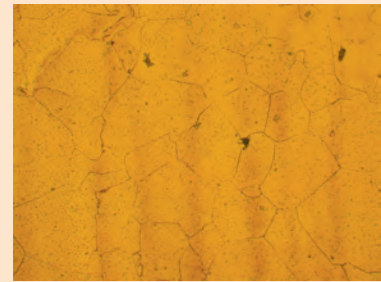
Гидродинамически неустойчивости играют существенную роль в процессах кумуляции энергии. В экспериментах по исследованию развития двумерных локальных возмущений на неустойчивой (по Рихтмайеру–Мешкову) границе воздух-SF<sub>6</sub>, ускоряемой ударной волной, возмущение имело вид либо канавки с треугольным профилем поперечного сечения, либо ступеньки (излом контактной границы). Получено, что развитие этих возмущений существенно зависит от числа Маха, определяющего сжатие SF<sub>6</sub>. При малых числах Маха (малом сжатии) возмущения развиваются в виде вихрей, при больших — вихри быстро размываются интенсивно развивающейся зоной турбулентного перемешивания (ЗТП).

Разработана методика исследования процесса компактирования поврежденных ударной волной конструкционных материалов. Для обоснования методики выполнено численное моделирование, проведены взрывные эксперименты, проведено сопоставление расчетных зависимостей  $\sigma_x(t)$  с данными записей манганиновых датчиков и результатами металлографических исследований по конечной поврежденности  $\omega_k$  образца.

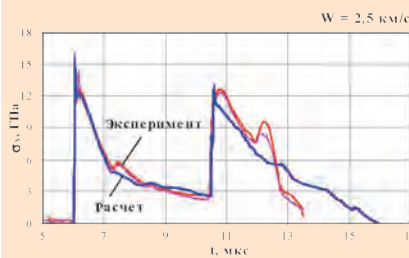
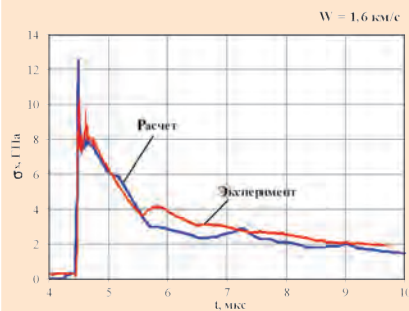
Передано в серийное производство для АЭС устройство перекрытия вентиляционного ка-



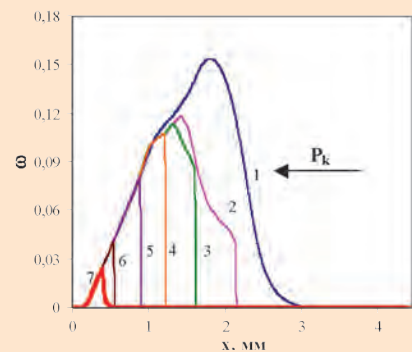
Образец без компактирования



Образец с компактированием



Зависимость напряжения от времени



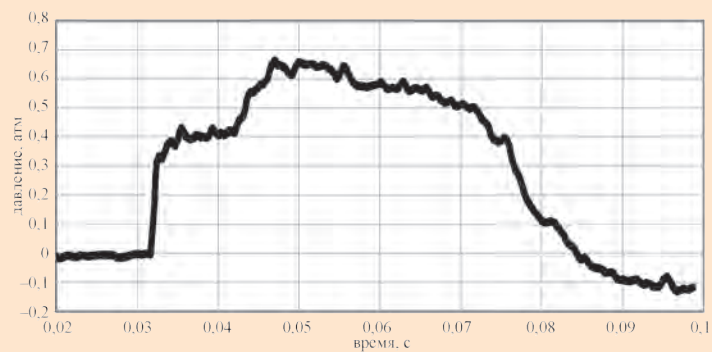
Распределение поврежденности  $\omega$  по толщине образца в различные моменты времени:

- 1 — 5,3 мкс,
- 2 — 8,9 мкс,
- 3 — 9,1 мкс,
- 4 — 9,3 мкс,
- 5 — 9,5 мкс,
- 6 — 9,7 мкс,
- 7 — 9,9 мкс

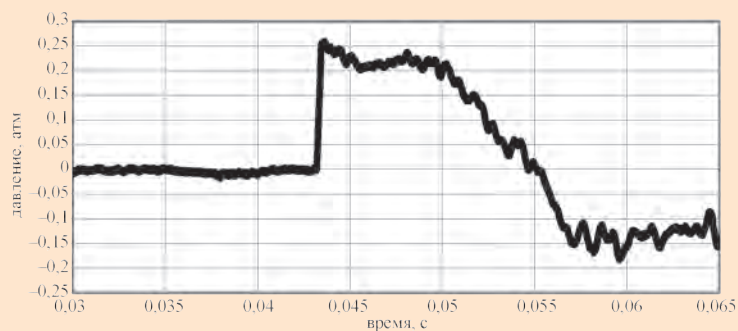
нала (УПК АР2261ТУ). Устройство предназначено для защиты вентиляционных каналов важных объектов, в том числе АЭС, от воздействия воздушной ударной волны (УВ) или волны разрежения (ВР) большой длительности, возникающих при внешних и внутренних техногенных авариях (взрывах). Устройство пассивного типа многократного действия, принцип работы основан на перекрытии вентиляционного канала лопастями при воздействии на них УВ или ВР, имеется механизм принудительного закрывания лопастей.

С использованием внедренного оптического комплекса, — аналога оптической системы VISAR — проведено исследование поведения цери в области  $\gamma$ - $\alpha$  фазового перехода при его ударно-волновом сжатии. Показано, что в диапазоне давлений от 1 до 3 ГПа в цери распространяется трехволновая конфигурация, связанная с наличием упругого предвестника ( $P_{HE} = 0,3$  ГПа),  $\gamma$ - $\alpha$  фазового перехода ( $P = 1,1$  ГПа) и пластической волны. Наряду с уточнением ударно-волнового профиля в цери впервые исследован процесс откольного разрушения и определены откольная прочность  $\sigma_p = 0,52$  ГПа и трещиностойкость  $K_{1d} = 15,4$  МПа $\cdot$ м $^{1/2}$ .

Разработан расчетно-экспериментальный модернизированный метод «возмущений» для

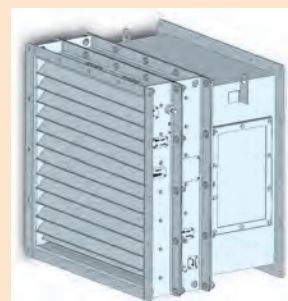


а



б

Осциллограмма импульса давления перед УПК (а), на расстоянии 4 м за УПК (б) при избыточном давлении падающей воздушной УВ 0,3 атм

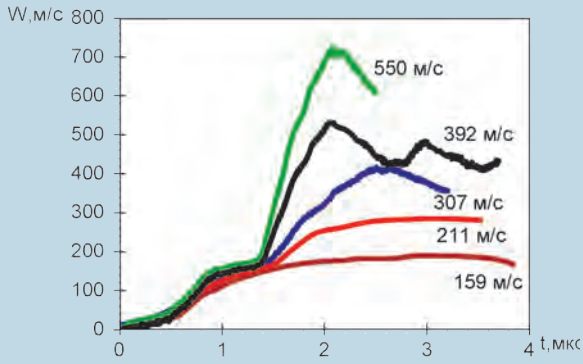


УПК

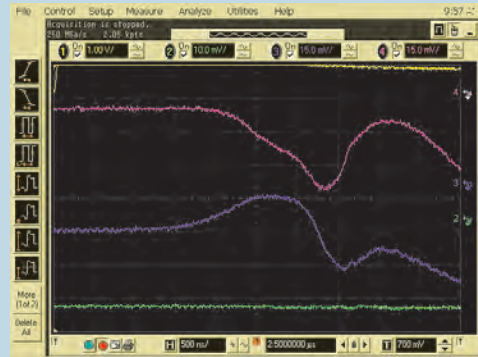
изучения сдвиговой прочности  $Y_d$  металла при интенсивности ударной волны до 100 ГПа. При проведении эксперимента исследуемый образец и образец-индикатор, на контактной поверхности которых выполнены возмущения, помещаются в прочные капсулы сохранения, что необходимо



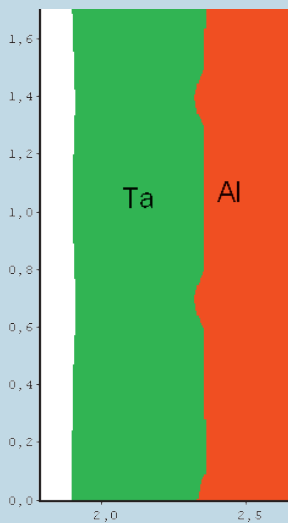
Испытание УПК на воздействие воздушной ударной волны и волны разрежения



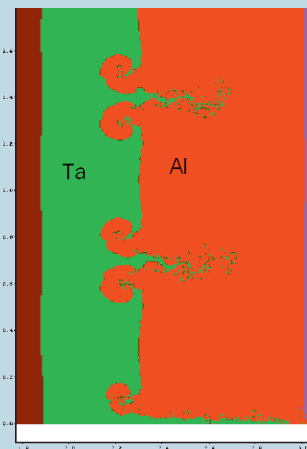
Профили скорости свободной поверхности церия, зарегистрированные при различных скоростях медного ударника



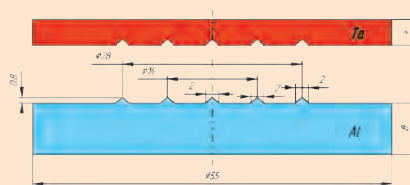
Характерная оциллограмма опыта



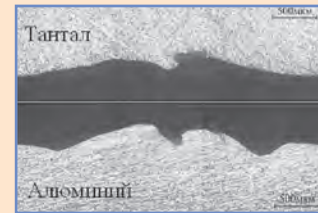
Конечная геометрия расчета с прочностью по функциональной модели, развитой во ВНИИЭФ



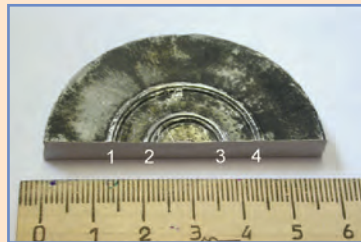
Расчет без прочности



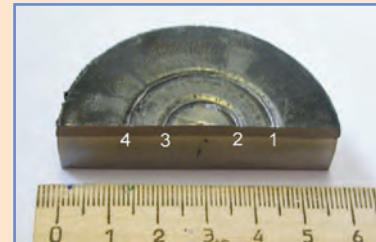
Эскизы образца и индикатора из АМгб



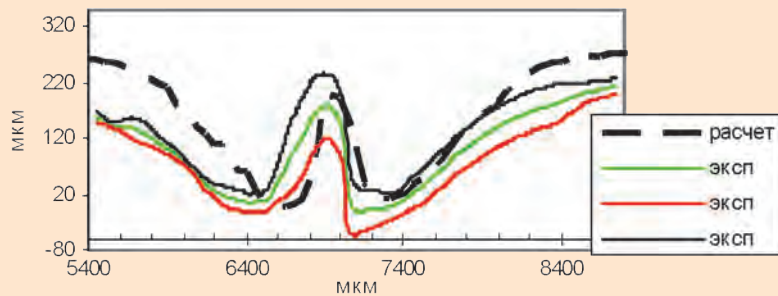
Срез исследуемых образцов



Сохраненный индикатор из АМгб



Образец из тантала



Расчетный и экспериментальный профили возмущений (на радиусе 7 мм). Расчет с временной потерей прочности (0,3 мкс)

для последующего анализа и определения параметров возмущений. При прохождении УВ через возмущенную границу реализуются условия, необходимые для развития неустойчивости Рихтмайера–Мешкова, и

амплитуда возмущений изменяется, что связано со свойствами исследуемых материалов. Конечная амплитуда возмущений непосредственно измеряется либо в исследуемом образце, либо в образце-индикаторе.