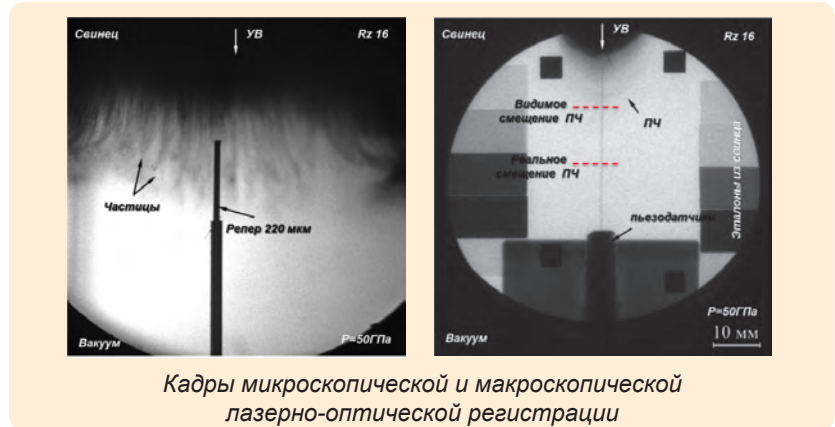


ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ГАЗОДИНАМИКИ И ФИЗИКИ ВЗРЫВА (ИФВ)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАРНО-ВОЛНОВОГО ПЫЛЕНИЯ

С целью обеспечения экологической безопасности при проведении исследований процесса ударно-волнового пыления при давлениях до ~ 50 ГПа в ИФВ создан испытательный комплекс на основе взрывозащитных герметичных камер (капсулы, малогабаритной взрывозащитной и защитной камеры), позволяющий проводить испытания с массой ВВ в нагружающем устройстве до ~ 200 г ТЭ. В 2018 г. с использованием комплекса проведена серия экспериментов с образцами из свинца и меди. В экспериментах для регистрации



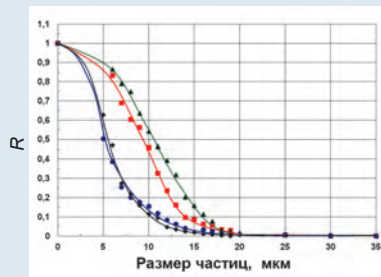
Кадры микроскопической и макроскопической лазерно-оптической регистрации

параметров выброса частиц использовали комплекс методик газодинамических измерений (лазерно-оптическая съемка, импульсная рентгенография, лазерно-оптическая методика гетеродин-интерферометра и пьезоэлектрических датчи-

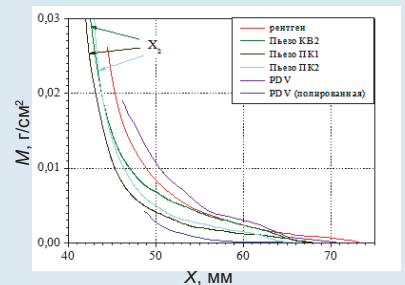
ков давления). Испытательный комплекс позволяет получить информацию о распределении скоростей и плотности потока частиц в направлении движения, удельной массе частиц в потоке и их характерных размерах.



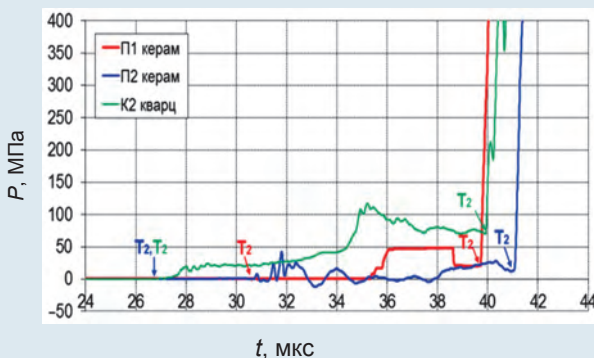
Внешний вид испытательного комплекса



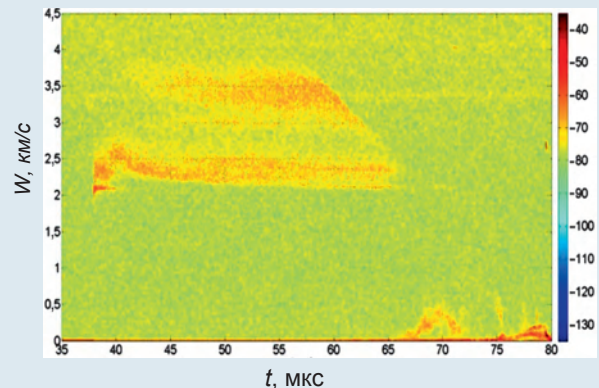
Распределение частиц по размерам



Распределение плотности потока частиц в направлении движения



Измерение давления пылевого потока пьезоэлектрическими датчиками



Спектрограмма скоростей движения ударника и пылевых потоков

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВА БЕРИЛЛИЯ

Получены экспериментальные данные по продольной и объемной скорости звука, а также коэффициенту Пуассона бериллия различных марок в диапазоне давлений ударной волны (УВ) 6–61 ГПа методом обратного удара. Движущийся образец из бериллия толщиной ~2 мм тормозился на преграде из LiF. С помощью лазерных интерферометров VISAR регистрировался профиль скорости контактной границы Be–LiF. В опытах использовались взрывные нагружающие устройства и пороховая нагружающая установка калибром 100 мм (ПНУ-100).

Как видно из графика, зависимость коэффициент Пуассона от интенсивности УВ $\nu(\sigma_x)$ имеет характерный излом в области давления УВ 20 ГПа, что, возможно, указывает на наличие полиморфного α - β -фазового превращения. Похожий характер зависимости $\nu(\sigma_x)$ получен для бериллия марки S200F в работе M. D. Knudson (Сандийская национальная лаборатория). Совокупность результатов позволяет объяснить ранее наблюдавшиеся «аномалии» в поведении бериллия при ударно-волновом нагружении, а именно неоправданно высокую пластичность, аномально образование в режиме сдвиговой неустойчивости Кельвина – Гельмгольца, образование «кавитационных» отверстий в режиме цилиндрической фокусировки ударных волн.

На основании данных, полученных в 2018 г., разработана новая релаксационная модель сдвиговой прочности бериллия различных марок, учитывающая деформационное и компрессионное упрочнение, термическое разупрочнение,

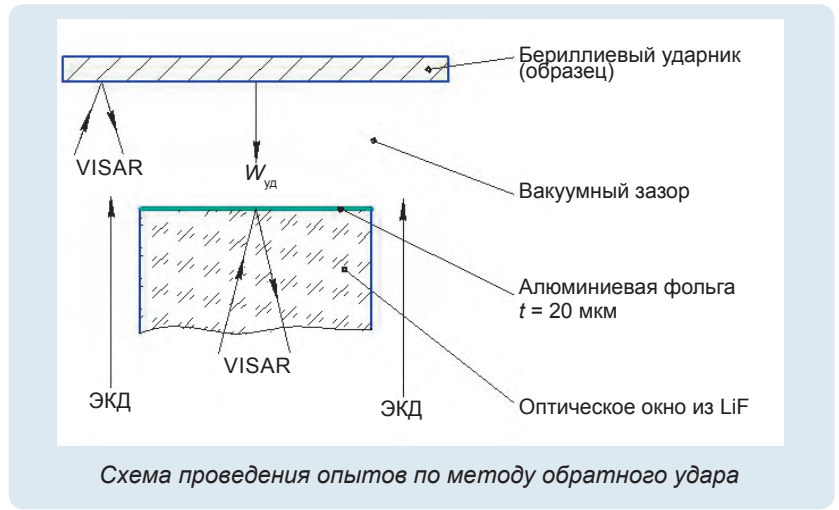
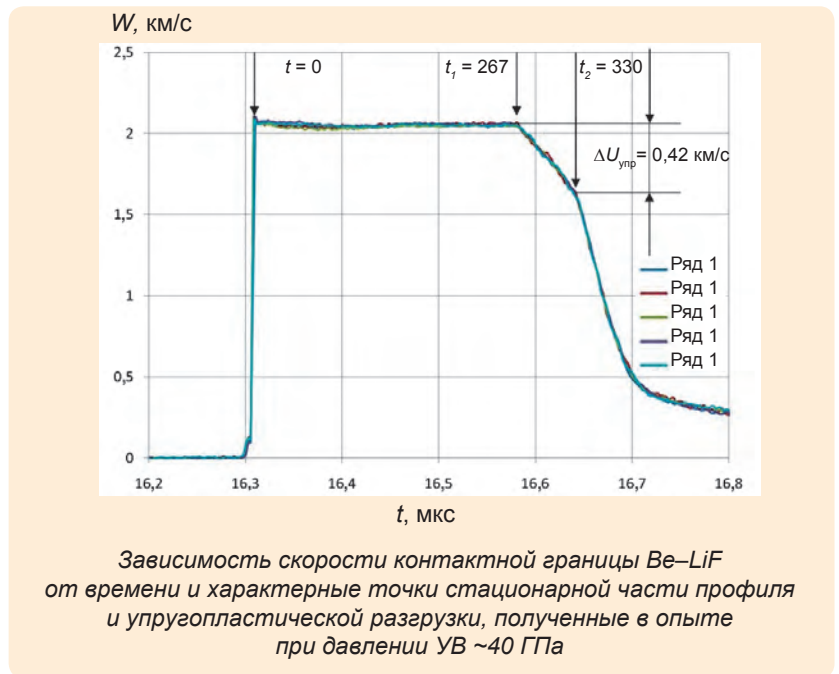


Схема проведения опытов по методу обратного удара



Зависимость скорости контактной границы Be–LiF от времени и характерные точки стационарной части профиля и упругопластической разгрузки, полученные в опыте при давлении УВ ~40 ГПа

скорость деформирования и релаксацию упругих напряжений. В отличие от известных моделей деформирования новая модель учитывает зависимость коэффициента Пуассона от текущей температуры и давления и кратковременное разупрочнение в сильных ударных волнах. Это позволило описать ряд экспериментов, проведенных в последние годы.

Основные уравнения модели:

- динамический предел текучести $Y_d = 3G\dot{\epsilon}_i - \frac{Y_d - Y_S}{\tau}$;
- время релаксации упругих напряжений

$$\tau = \frac{\tau_0(1 - \bar{T})}{\left(1 + \frac{\dot{\epsilon}_i}{\dot{\epsilon}_{i0}}\right)^{0,5}}, \tau_0 = 2 \cdot 10^{-6},$$

$$\dot{\epsilon}_{i0} = 1\bar{n}^{-1}, \bar{T} = T / T_m.$$

($\dot{\epsilon}_i$ – скорость деформации);
– стационарный предел текучести $Y_S = Y_S(1 + f_1)f_2(t) \frac{G}{G_0}$,

$$Y_0 = 0,36 \text{ ГПа}, G_0 = 156 \text{ ГПа},$$

(G – модуль сдвига);
– функция деформационного упрочнения

$$B1: \epsilon_0 = 0,$$

$$BB1: \epsilon_0 = 0,05;$$

– функция кратковременного разупрочнения

$$f_2(t) = \frac{1}{0,1} \varphi_2(\dot{\varepsilon}_i) \dot{\varepsilon}_i f_2 + \frac{1-f_2}{\tau_S},$$

$$\tau_S = 5 \cdot 10^{-7} \text{ с}$$

(τ_S – время установления гомогенной температуры),

$$\varphi_2 = 1 - e^{-\dot{\varepsilon}_i \tau_S}, \quad \dot{\varepsilon}_i = 2 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$$

– коэффициент Пуассона

$$\nu = 0,5 - 0,22 \cdot \left(1 + e^{-\left(0,3 \frac{T}{1+T_\Phi}\right)^4} \right) \times \left(1 - \left(\frac{T}{T_m} \right)^6 \right),$$

$T_\Phi = 1520 - 38,75P - 3,125P^2$ – линия фазового перехода в бериллии (P – давление).

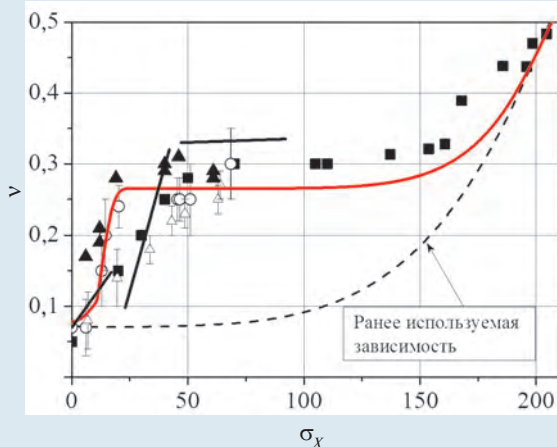
С использованием новой релаксационной модели сдвиговой прочности бериллия удалось также удовлетворительно описать полученные ранее данные по развитию заданных возмущений на нагружаемой границе ускоряемого бериллиевого лайнера в разных режимах нагружения. На графиках приведены расчетные зависимости амплитуды возмущений (A) от пройденного пути (S) и экспериментальные данные, полученные во ВНИИЭФ при ударном

и безударном нагружениях давлением ~ 50 ГПа.

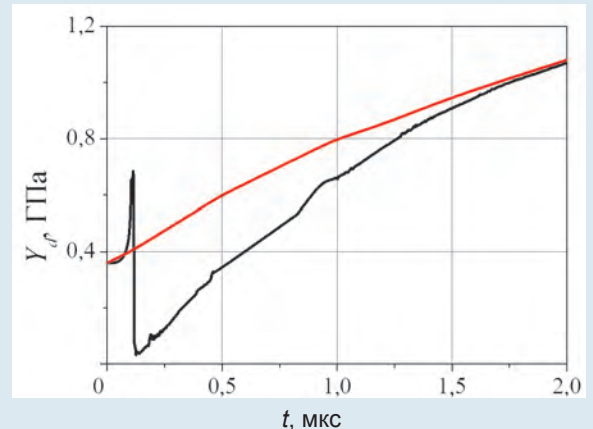
Ранее описать рост возмущений в бериллии при ударно-волновом и безударном нагружении с использованием одной модели не удавалось.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СНАРЯДОФОРМИРУЮЩЕГО ЗАРЯДА

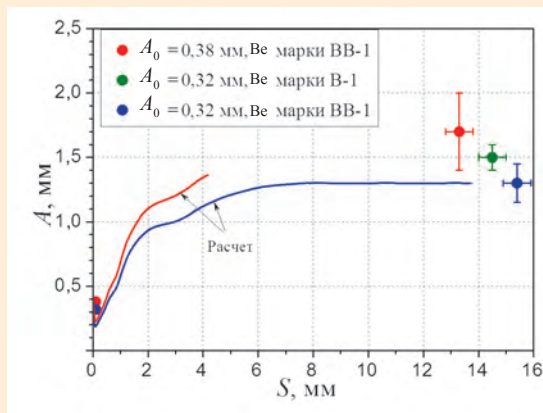
В 2018 г. в ИФВ разработана и внедрена в гидродинамический код широкодиапазонная релаксационная модель упругопластического деформирования меди. Данная модель



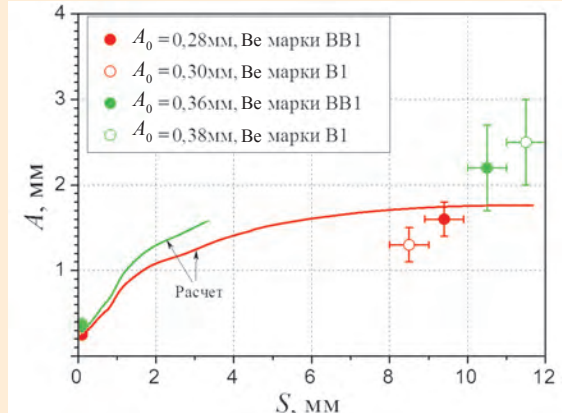
Зависимость коэффициента Пуассона от давления в УВ: — расчетная зависимость; ○, △, ▲ – данные ВНИИЭФ; ■ – данные Сандийской национальной лаборатории (M. Knudson); — — данные ВНИИЭФ



Зависимость динамического предела текучести бериллия от времени при ударном нагружении бериллия до 50 ГПа с учетом (—) и без учета (—) кратковременного разупрочнения



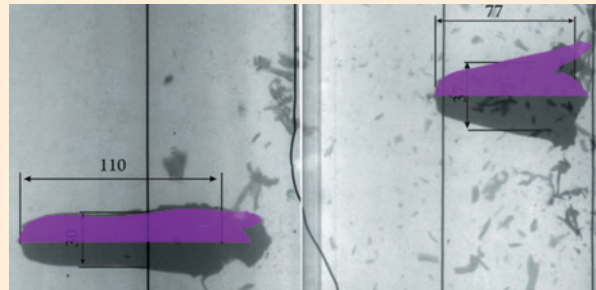
Ударно-волновое нагружение



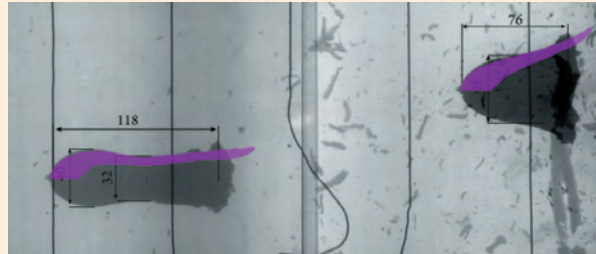
Безударное нагружение

Зависимость роста амплитуды возмущений на границе лайнера от пройденного пути

построена с учетом основных процессов, сопровождающих деформирование материалов: деформационного и компрессионного упрочнения, снижения прочности при гомогенном разогреве среды, временно-го разупрочнения за фронтом ударной волны, изменения механизма пластического деформирования, отжига при длительном воздействии повышенных температур. По результатам специализированных экспериментов подобраны параметры модели для меди марки М0. С помощью данной модели без дополнительных корректировок параметров удалось удовлетворительно описать сложный процесс формирования поражающего элемента снарядоформирующего заряда.



а



б

Экспериментальная и расчетная форма поражающего элемента в двух опытах: формирование поражающего элемента за счет процесса «натекания» материала оболочки (а) и за счет процесса «выворачивания» оболочки (б)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОНИКАНИЯ ГАЗА В ДИСПЕРГИРОВАННЫЙ СВИНЕЦ

Исследован процесс сжатия ксенона свинцовым лайнером диспергированным после его нагружения нестационарной ударной волной амплитудой ~40 ГПа с градиентом давления за фронтом ~80 ГПа/см. При разгрузке свинец переходил в жидкое состояние, испытывал множественное откольное разрушение и диспергирование значительной части металла. Газ, сжимаемый диспергированным свинцом, может частично проникать в него.

Цель исследований – выяснение факта затекания газа внутрь диспергированного свинца и оценка массы газа, проникшего внутрь.

В экспериментах с помощью установки мягкого спектра гамма-квантов «Страус-Р» регистрировалось состояние свинцового образца после разгрузки в зазор шириной 25 мм при следующих условиях:

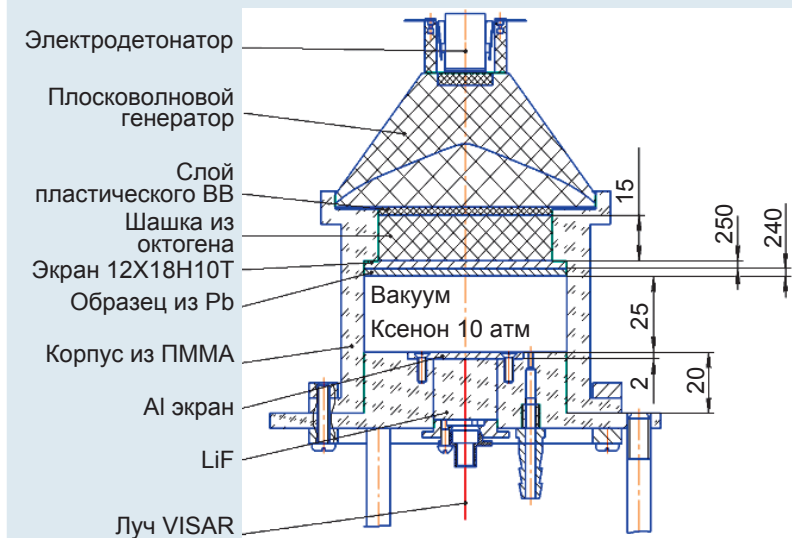


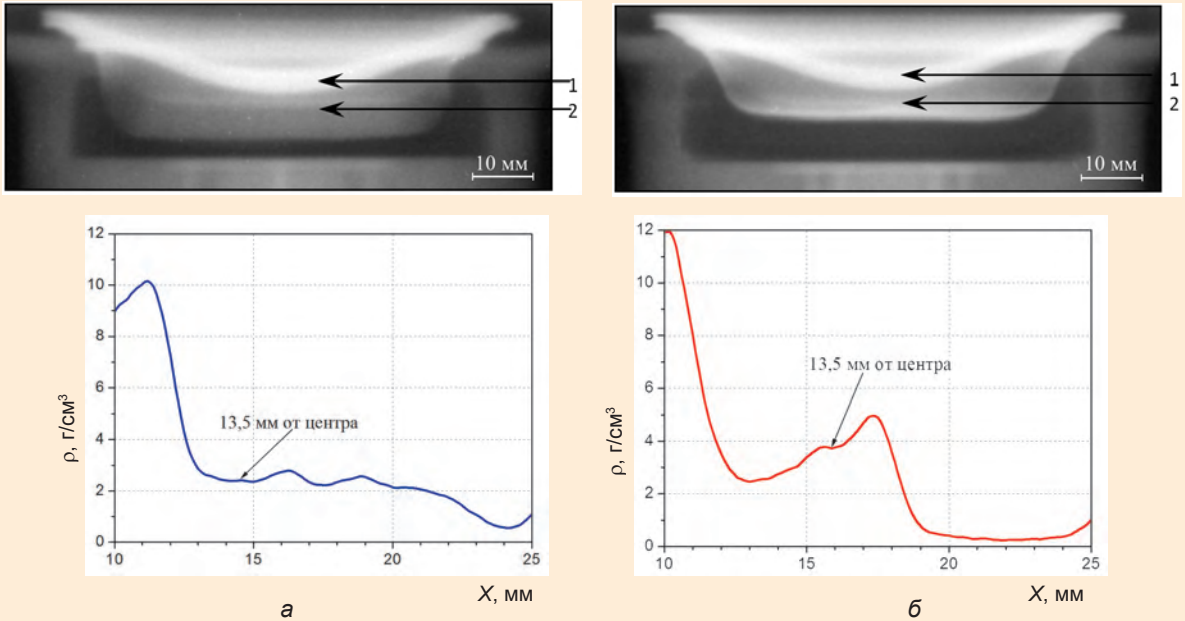
Схема экспериментальной сборки

- зазор вакуумировался до остаточного давления 0,1 атм.;
- зазор заполнялся ксеноном под давлением 10 атм.

На основании рентгеновских изображений оценивалось распределение плотности в диспергированном свинце.

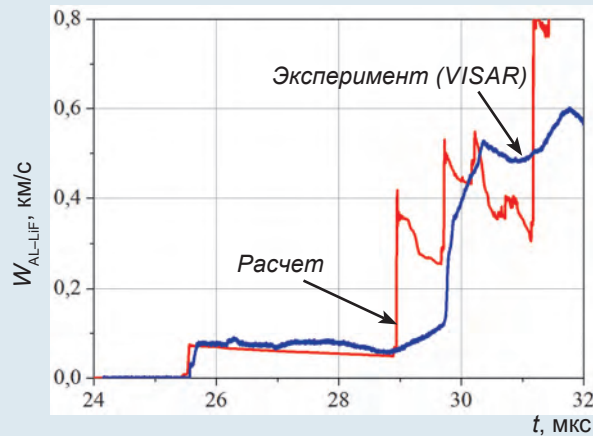
Рентгенографические измерения дополнялись измерением скорости свободной поверхности образца, скорости УВ

в ксеноне и скорости контактной границы Al–LiF с помощью лазерных доплеровских методов. Для сравнения были проведены аналогичные опыты с заменой свинцового лайнера на стальной. В этом случае сталь не плавилась после нагружения и не диспергировалась, поэтому затекания газа в этих экспериментах заведомо не происходило.

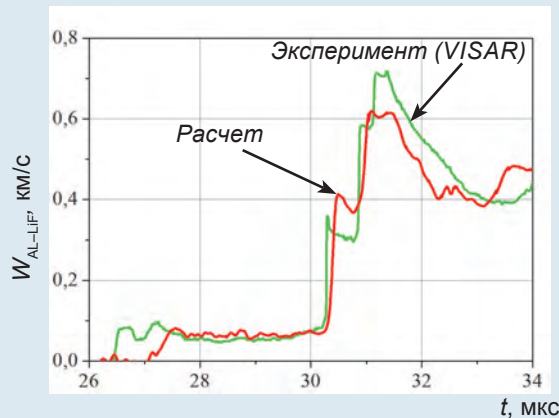


Результаты экспериментов (рентгеновские снимки и графики зависимости) при расширении свинца в вакуумированный зазор (а) и зазор, заполненный ксеноном при начальном давлении 10 атм (б):
1 – сталь + свинец, 2 – диспергированная часть свинцового образца

Как видно из графика, в опыте со стальным (недиспергированным) лайнером после первой ударной волны по алюминию проходят еще две волны, отраженные от границы Хе–Fe, что соответствует расчету. В опыте со свинцовым лайнером отраженных ударных волн не наблюдается и картина движения алюминиевого экрана сильно отличается от расчетной. Это обусловлено тем, что часть газа проникла в диспергированный свинец и четкой границы Хе–Pb не существует. Об этом же свидетельствуют результаты импульсного рентгенографирования состояния системы в момент сжатия ксенона диспергированным свинцом. Как видно из графиков распределения плотности, свинец не компактируется при взаимодействии с ксеноном до начальной плотности 11 г/см^3 , а представляет собой область с плотностью не выше 5 г/см^3 , что объясняется наличием ксенона между частицами диспергированного свинца. Численных методов расчета этого процесса пока не существует.



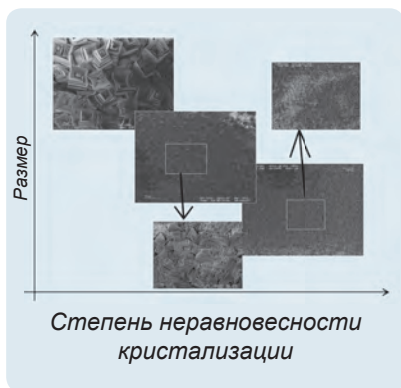
Экспериментальная и расчетная зависимости скорости движения границы Al–LiF от времени при сжатии ксенона диспергированным свинцом



Экспериментальная и расчетная ($\rho_0 = 0,055 \text{ г/см}^3$, $\gamma = 1,4$) зависимости скорости движения границы Al–LiF от времени при сжатии ксенона стальным лайнером

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА

В 2018 г. отделом химии и технологии взрывчатого вещества (ВВ) ИФВ разработан способ неравновесной перекристаллизации ВВ из газовой фазы, позволяющий получать частицы ВВ в форме наноструктурированных кристаллитов, состоящих из большого числа кристаллов толщиной 200–800 нм.



На рисунке на примере ТЭНа показано изменение кристаллической формы в зависимости от условий кристаллизации. Видно, что увеличение степени неравновесности кристаллизации приводит к формированию более дискретной структуры, состоящей из множества мелких кристаллов.

Достоинство разработанного способа перекристаллизации ВВ – возможность управления размерами кристаллов путем изменения технологических параметров перекристаллизации ВВ. Способ обеспечивает получение поликристаллических частиц ВВ, состоящих из большого числа монокристаллов, что приводит к повышению детонационной способности ВВ и взрывчатых составов на его основе. Большое число границ раздела кристаллов в поликристаллической частице ВВ обеспечивает высокую реакционную способность, недостижимую при классической технологии перекристаллизации. С использованием поликристаллических ВВ возможно получение взрывчатых составов с уникальным сочетанием свойств. Так, пластичный взрывчатый состав, состоящий из гексогена с небольшим количеством инертной связки, имеет критическую толщину детонирующего слоя 1,5 мм, а такой же состав, но изготовленный из наноструктурированного поликристаллического гексогена, имеет критическую толщину менее 0,3 мм.

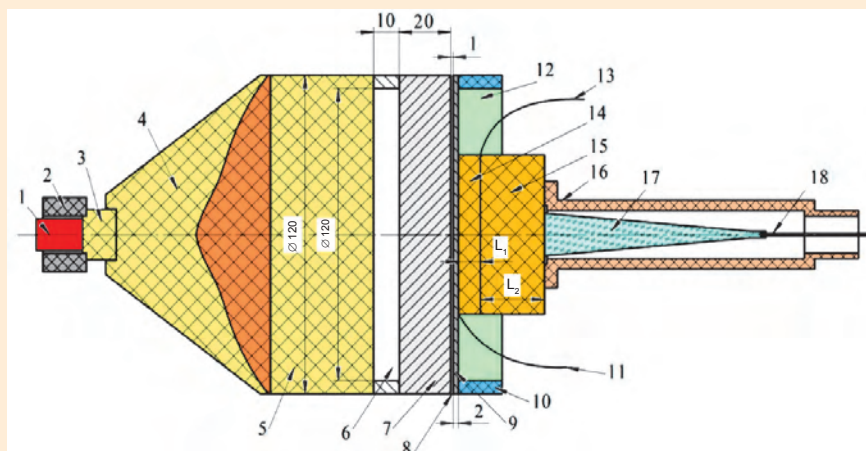
На изобретение «Способ управляемой перекристаллизации взрывчатых веществ» оформлено техническое реше-

ние. Изобретение может применяться во всех областях техники, где требуется получение взрывчатых веществ и взрывчатых составов на их основе с высокой детонационной способностью.

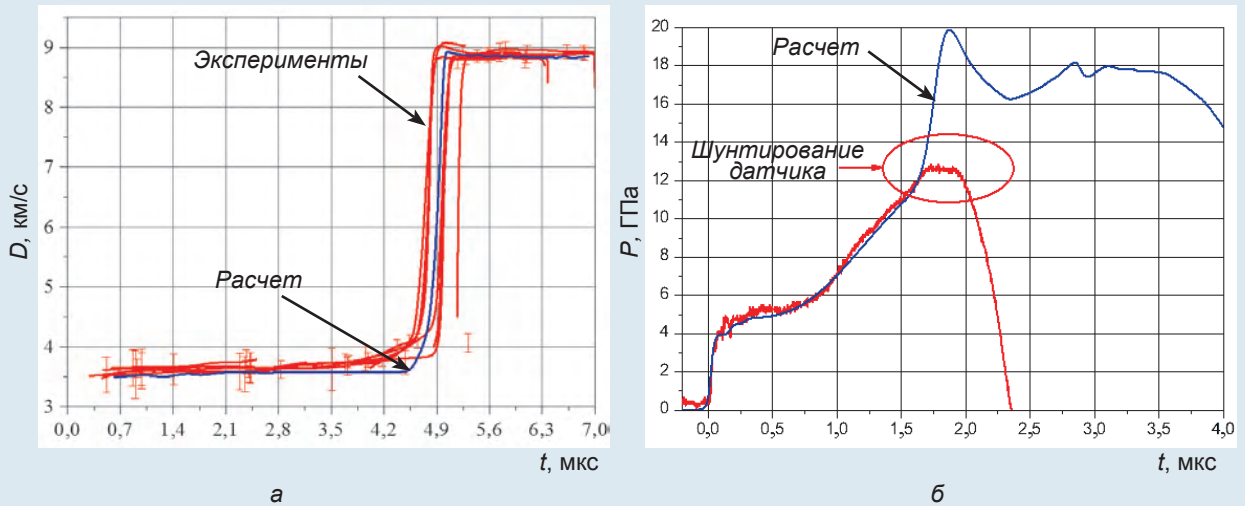
КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕТОНАЦИИ С УЧЕТОМ РАЗОГРЕВА «ГОРЯЧИХ ТОЧЕК»

В 2018 г. разработана и внедрена в гидродинамический код кинетическая модель детонации состава на основе октогена с учетом разогрева «горячих точек». Именно расчет разогрева очага за счет объемной экзотермической реакции разложения является принципиальным отличием предложенной модели. По результатам специальных экспериментов подобраны параметры модели. Проведено численное моделирование опытов по исследованию возбуждения детонации ударными волнами малой интенсивности.

С помощью предложенной модели удалось в единой манере удовлетворительно описать результаты всех серий опытов, выполненных в разных постановках. Это дает основание сделать вывод о перспективности



Эскиз экспериментальной сборки: 1 – электродетонатор; 2 – розетки; 3 – запальная шашка; 4 – плосковолновой генератор; 5 – активный заряд ВВ; 6 – воздушный зазор; 7 – экран № 1; 8 – воздушный зазор; 9 – экран № 2; 10 – корпус; 11, 13 – манганиновый датчик; 12 – обойма; 14, 15 – исследуемые образцы; 16 – корпус; 17 – излучатель; 18 – диэлектрический волновод



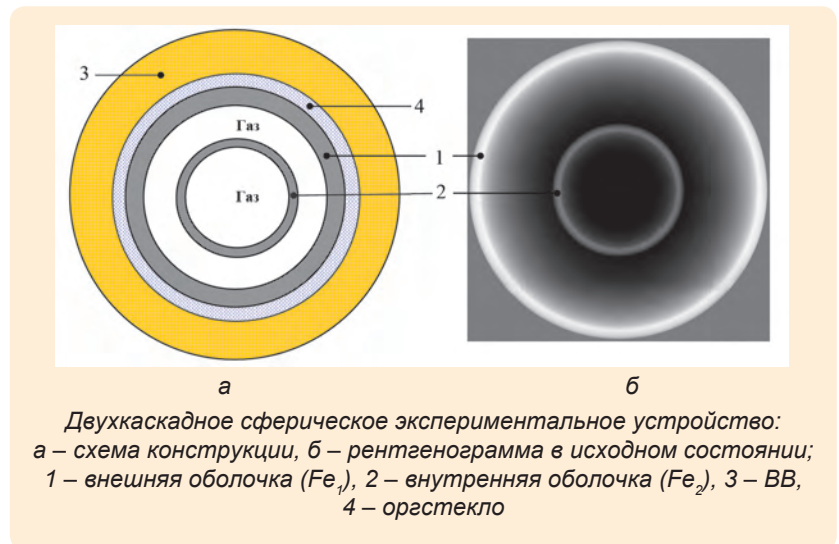
Сравнение экспериментальных и расчетных временных зависимостей скорости ударной волны (а) и давления в ВВ (б)

развития данной модели с точки зрения ее применения для численного моделирования возбуждения детонации в твердых взрывчатых веществах.

КВАЗИИЗОЭНТРОПИЧЕСКАЯ СЖИМАЕМОСТЬ ГАЗООБРАЗНОГО ГЕЛИЯ ПРИ ДАВЛЕНИИ ~ 10 ТПа

С использованием сферической двухкаскадной камеры и блока взрывчатого вещества (ВВ) массой 85 кг ТЭ проведены два эксперимента: в одном неидеальная плазма гелия сжималась давлением $P \sim 10000$ ГПа до плотности $\rho \sim 11$ г/см³, в другом неидеальная плазма дейтерия сжималась давлением $P \sim 18500$ ГПа до плотности $\rho \sim 14$ г/см³.

В эксперименте с гелием теневое изображение границ оболочек, сжимающих исследуемый газ, получено при одновременном использовании тормозного излучения трех мощных бетатронов, работающих в режиме последовательной генерации трех импульсов рентгеновского излучения. В опыте использовалась индивидуальная оптико-электронная система детектирования,



Двухкаскадное сферическое экспериментальное устройство: а – схема конструкции, б – рентгенограмма в исходном состоянии; 1 – внешняя оболочка (Fe_1), 2 – внутренняя оболочка (Fe_2), 3 – ВВ, 4 – оргстекло

которая активируется синхронно с импульсами бетатрона.

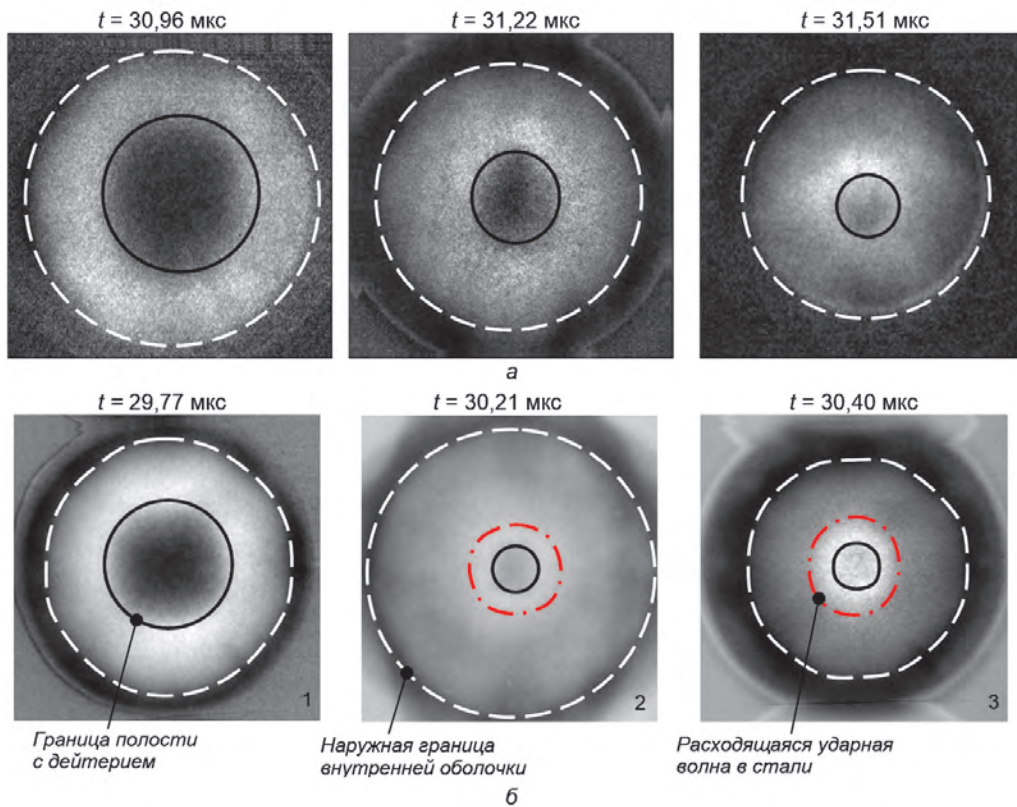
При исследовании сжимаемости дейтерия впервые в качестве источника излучения вместо одного из бетатронов применялся сильноточный ускоритель ЛИУ-Р-Т с граничной энергией электронов 12 МэВ и просвечивающей способностью объектов массовой толщиной до 280 г/см². Плотность неидеальной плазмы дейтерия и гелия определена по измеренному радиусу оболочки в момент ее «остановки». Давление сжатой плазмы получено на основе газодинамических расчетов, учитываю-

щих реальные характеристики экспериментального устройства.

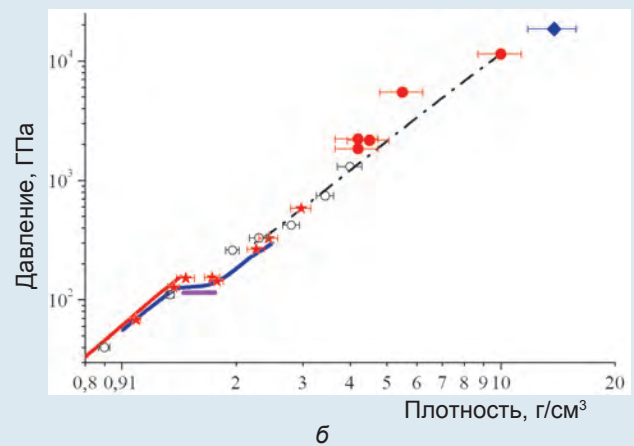
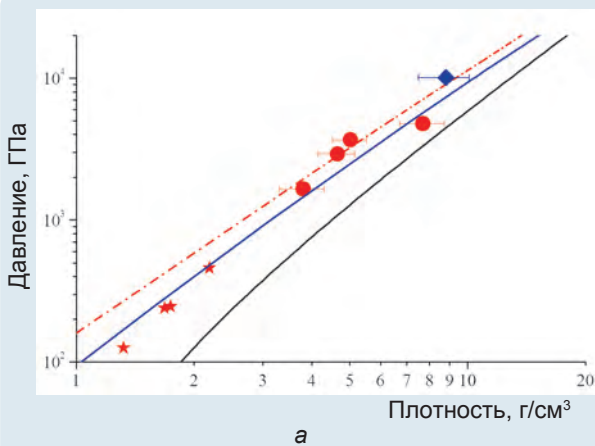
На основании газодинамических расчетов можно сделать следующие выводы:

- в момент максимального сжатия в гелиевой плазме реализуется давление $P_{вс} = 10062$ ГПа и температура $T = 94900$ К при измеренной плотности сжатой плазмы $\rho = (8,8 \pm 1,3)$ г/см³ и сжатии $\sigma = \rho/\rho_0 \approx 240$;

- в момент максимального сжатия в дейтериевой плазме реализуется давление $P_{вс} = 18500$ ГПа и температура $T = 56800$ К при измерен-



Результаты экспериментов по квазиизэнтропическому сжатию плазмы гелия и дейтерия давлением $P \sim 10000$ и 18500 ГПа соответственно: а – рентгенограммы сжатой полости оболочки (2) с плазмой гелия; б – рентгенограммы сжатой полости оболочки (2) с плазмой дейтерия; кадры № 1 и № 3 – источник излучения БИМ234.300, кадр № 2 – источник излучения ЛИУ-Р-Т



Квазиизэнтропическая сжимаемость плазмы гелия (а) и дейтерия (б).

Эксперименты: \blacklozenge – настоящая работа; \bullet , \star , \circ – данные ВНИИЭФ (устройства цилиндрической и сферической геометрии); —, — — — — теоретические расчеты, предсказывающие фазовый переход в плазме сжатого дейтерия. Изэнтропы: — — — — $S = 23,5$ Дж/г·К, — — — — $S = 26$ Дж/г·К; относительная удельная энтропия: 1 – $S/R = 14,9$; 2 – $S/R = 16,3$; 3 – $S/R = 0$

ной плотности сжатой плазмы $\rho = (13,8 \pm 2,0)$ г/см³ и сжатии $\sigma = \rho/\rho_0 \approx 460$.

Критерием истинности приведенных значений давления

является хорошее совпадение экспериментальных данных и расчетных $R(t)$ -диаграмм.

В лабораторных экспериментах по многократному ударному сжатию газообразных дейтерия и гелия достигнуты состояния, превышающие

предполагаемые параметры в таких планетах-гигантах Солнечной системы, как Юпитер и Сатурн. Анализ разработанной методологии позволяет надеяться на возможность исследований квазиизоэнтропической сжимаемости неидеальной плазмы гелия во ВНИИЭФ до давлений $P \sim 20000$ ГПа.

РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Силами сотрудников ИФВ, ИЯРФ и НПЦФ введен в опытную эксплуатацию радиографический комплекс (РГК), предназначенный для решения задач диагностики динамических объектов массовой толщиной до 280 г/см² методом многокадровой и многоракурсной импульсной радиографии в жестком тормозном излучении ускорителей электронов.

В состав РГК входят три стационарных циклических ускорителя БИМ234.3000, линейный индукционный ускоритель ЛИУ-Р-Т, расположенный соосно с центральным бетатроном, и система регистрации радиографических изображений.

Повышенная по сравнению с бетатронами комплекса более чем в 20 раз доза тормозного излучения, полученная на ЛИУ-Р-Т, позволит принципиально изменить качество диагностики динамических объектов значительной массовой толщины. Изображение полости типа «ромб» (см. рисунок) получено в системах формирования изображений БИМ234.3000 и ЛИУ-Р-Т за преградами равной массовой толщины, являющейся предельной для бетатронов комплекса.

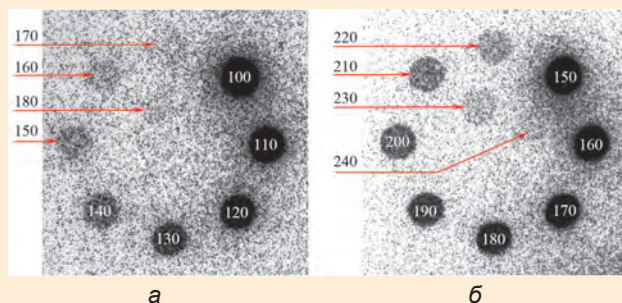
Несмотря на различную просвечивающую способность ускорителей РГК, их одновременное применение в однократном динамическом эксперименте позволит получить ин-

Технические характеристики РГК

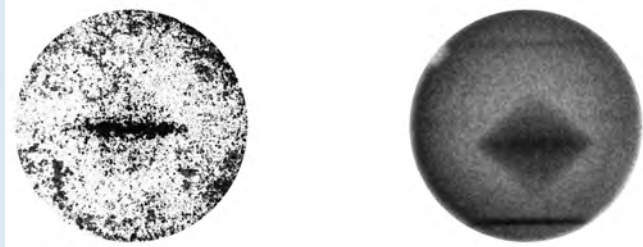
Параметр	Значение
Количество направлений просвечивания	4
Межракурсный угол	$0^\circ \pm 45^\circ$
Количество импульсов излучения в одном ракурсе	1–3
Максимальное количество импульсов излучения в одном эксперименте	10

Технические характеристики ускорителей РГК

Параметр	БИМ234.3000	ЛИУ-Р-Т
Граничная энергия электронов, МэВ	56	12
Размер фокусного пятна, мм	4×2	~4
Длительность моноимпульса излучения, нс	≤ 100	~48
Длительность импульсов излучения в мультиимпульсном режиме, нс	170, 160, 100	–
Просвечивающая способность на 1 м, г/см	230	280–290



Изображение свиного «дырочного» клина на расстоянии 4 м от мишеней в СФИ БИМ234.3000 № 3 (а) и ЛИУ-Р-Т (б). Система регистрации: сканер Agfa CR-30x, единственный фотохромный экран MS-3 + 2Pb по 1 мм, $S = 1600$ отн. ед.



Изображение полости типа «ромб» в шаре из ВНЖ $\varnothing 60$ мм за дополнительной преградой: а – БИМ234.300, б – ЛИУ-Р-Т. Суммарная массовая толщина объекта ~ 190 г/см². Система регистрации: сканер Agfa CR-30x, единственный фотохромный экран MS-3 + 2Pb по 1 мм, $S = 1600$ отн. ед.

формацию, объем и ценность которой будут определяться сочетанием необходимых индивидуальных возможностей всех ускорителей комплекса.

Преимущества перед аналогами:

- получение до 10 рентгенографических изображений в трех ракурсах съемки в одном эксперименте;

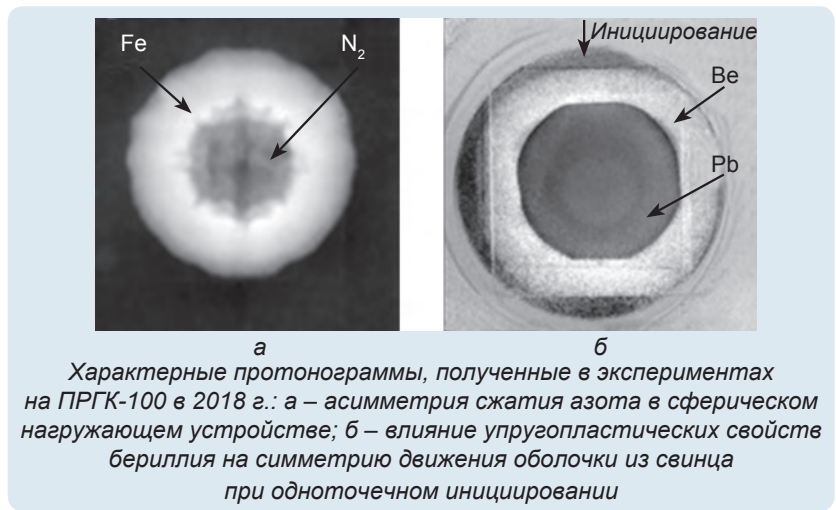
- просвечивание объектов массовой толщиной до 280 г/см² в ракурсе ЛИУ-Р-Т и до 230 г/см² в ракурсах бета-тронов;

- комплексная диагностика объекта с применением до 6 методик одновременно.

По совокупности параметров комплекс не имеет аналогов в ядерно-оружейном комплексе.

РАБОТЫ НА ПРОТОННОМ РАДИОГРАФИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПРГК-100

На протоннографическом комплексе ПРГК-100 проведены эксперименты, направленные на повышение функциональных возможностей комплекса, развитие методов регистрации и обработки протоннографических изображений, а также получение эксперимен-



Характерные протонограммы, полученные в экспериментах на ПРГК-100 в 2018 г.: а – асимметрия сжатия азота в сферическом нагружающем устройстве; б – влияние упругоэластических свойств бериллия на симметрию движения оболочки из свинца при одноточечном иницировании

тальных данных для совершенствования методик расчетов. С применением многокадровой протонной радиографии проведены исследования:

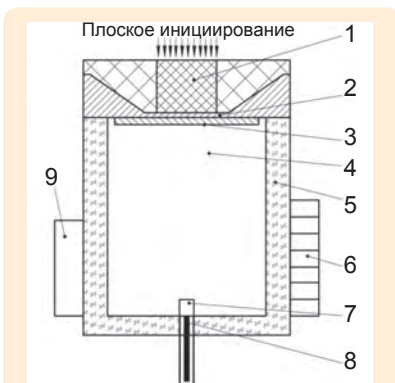
- количественных параметров потока частиц, выбрасываемых со свободной поверхности свинца при разгрузке в газ (ксенон);

- развития заданных возмущений и асимметрии сжатия газовой полости и применительно к задачам исследования квазиизоэнтропической сжимаемости газов и термоядерной плазмы в сферическом нагружающем устройстве;

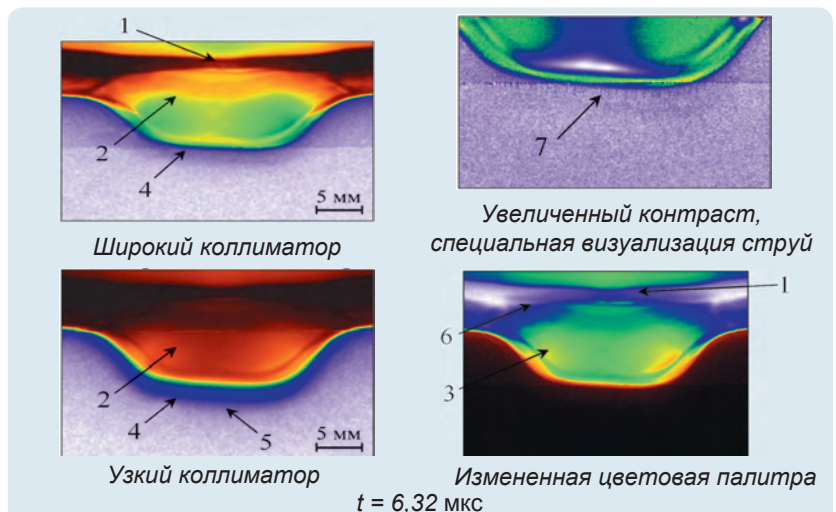
- струйного газодинамического течения;

- упругоэластических свойств бериллия в сферическом нагружающем устройстве при одноточечном иницировании.

На ПРГК-100 проведен опыт по исследованию ударно-волнового пыления с поверхности свинцового образца с заданной шероховатостью при разгрузке в газ (ксенон), находящегося в полости при атмосферном давлении. Для количественных измерений характеристик пылевого потока использовали три методики, работающие на разных физических принципах: радиографическую, пьезоэлектрическую и PDV. Получено удовлетворительное согласие



Эскиз сборки: 1 – заряд ВВ; 2 – сталь; 3 – образец из свинца; 4 – полость с ксеноном; 5 – корпус; 6 – оптический ступенчатый клин; 7 – пьезодатчики; 8 – датчики PDV; 9 – оптический клин, сектор

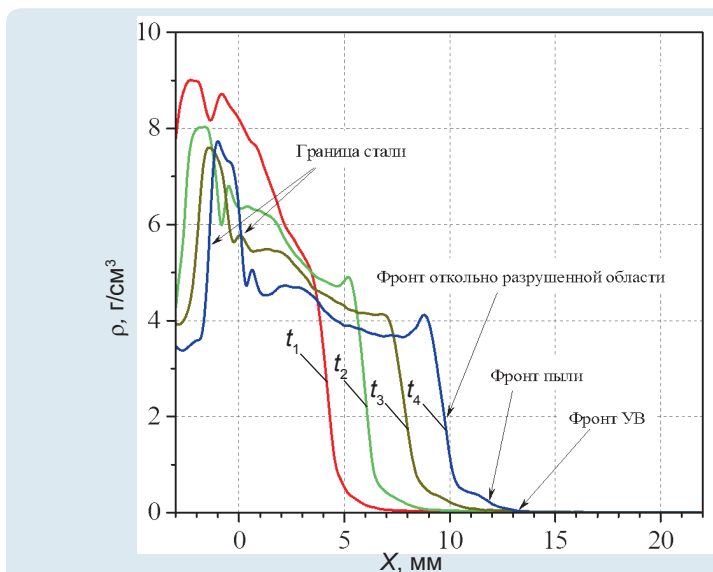


Фрагменты снимков взрывного процесса (псевдоцвет): 1 – сталь; 2 – откольно разрушенный образец; 3 – зона компактирования внутри откольно разрушенного образца; 4 – фронт пыли; 5 – фронт ударной волны в газе; 6 – свинец; 7 – струя

экспериментальных данных. В эксперименте зафиксировано полное диспергирование образца с образованием двух характерных областей: первая – область выброса со свободной поверхности частиц, взаимодействующих с газом; вторая область – диспергированный образец, образовавшийся в результате откольного разрушения.

РАЗРАБОТКА ВЗРЫВНЫХ РЕЖУЩИХ УСТРОЙСТВ

Завершены комплексные испытания взрывных режущих устройств, предназначенных для подводного демонтажа свайных опор морских нефтегазодобывающих платформ. Оработана принципиально новая схема взрывной резки стальной трубчатой конструкции с внешней стороны при условии наличия водной среды как снаружи, так и внутри трубы. На фотографиях показаны

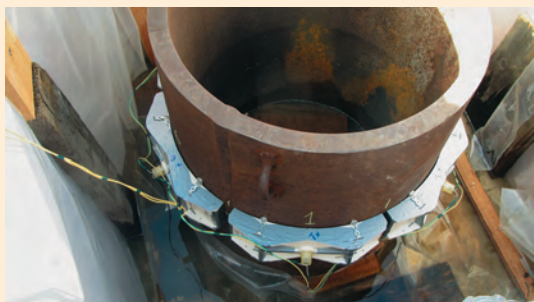


Распределение плотности в различные моменты времени от выхода ударной волны на свободную поверхность: $t_1 = 2,36$ мкс; $t_2 = 3,35$ мкс; $t_3 = 4,35$ мкс; $t_4 = 5,33$ мкс

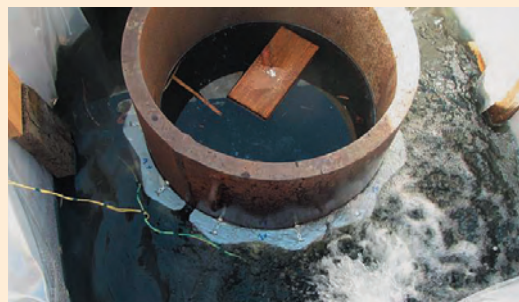
стадии зачетного эксперимента по наружной резке фрагмента свайной опоры – трубы $\varnothing 762 \times 45$ мм, размещенной в емкости с водой.

Основным преимуществом взрывных режущих устройств разработки ФГУП «РФЯЦ-

ВНИИЭФ» по сравнению с зарубежными аналогами является высокая эффективность реза, т. е. способность взрывным способом осуществлять демонтаж стальных толстостенных конструкций с использованием меньшего количества ВВ.



Сегментные заряды на трубе



Процесс заполнения водой



Общий вид кромки реза нижней части



Общий вид кромки реза верхней части

Эксперимент по взрывной резке трубы