

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «АЛТАЙ»
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА «МЕДИЦИНА БУДУЩЕГО»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
UNIVERSITÉ LYON 1

**ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ:
ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЯ, АНТИТЕРРОРИЗМ
И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ**

Тезисы XII Международной конференции «НЕМs-2016»
7–9 сентября 2016 года
(г. Томск, Россия)

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

The experiments were carried out using an optical furnace Uran-1. Dynamic regime heat flux was provided by moving the test sample during its heating heat flux along the optical axis of the elliptic reflector, the installation of "Uran-1". For this purpose, the electromechanical device was used that moves the sample at a speed of 4.75 cm/s. The rate of change of the heat flow was determined by the speed of movement of the sample. The measurement error of the heat flux does not exceed 10%.

The results of experimental study of ignition of gun-cotton at heating by means of increasing the radiation flux in the range $(0.2\div 22)$ W/cm² has been presented. A comparison of the delay times of the ignition at heating of the samples with variable and constant heat flux was performed. The data obtained has shown that in the investigated range of heat flux, the flammability of gun-cotton in dynamic heating conditions is higher than in static. Physical interpretation of the obtained results requires additional research.

This work was supported by Ministry of Education and Science under the Federal Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014-2020», the agreement № 14.578.21.0034, unique identifier PNI RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКАХ

**А.В. Литвинов¹, А.В. Курбатов¹, Д.Д. Аксененко¹, В.Ю. Михальцов¹, Д.И. Ваулин¹,
В.Б. Жаринов¹, В.А. Архипов², И.К. Жарова²**

¹Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск

²Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики
Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск

Проведены исследования горения высокоэнергетических материалов (ВЭМ) при их обдуве высокотемпературными и низкотемпературными трансзвуковыми воздушными потоками.

Схема экспериментальной установки (ЭУ) представлена на рис. 1.

Принцип работы установки основан на обдуве образцов ВЭС высокотемпературным потоком воздуха. Нагревание потока воздуха, поступающего из баллона высокого давления в камеру смешения, до температуры 1800 К осуществляется как за счет его смешения с ПС ТТ, так и за счет экзотермических реакций окисления водорода H₂ и окиси углерода СО, присутствующих в ПС, кислородом из воздушного потока.

Экспериментально установленные зависимости изменения средней температуры газовой смеси в камере смешения $T_{КСМ}$ и содержания в ней кислорода φ_{O_2} от соотношения расхода воздуха из баллона к расходу ПС из газогенератора $G_{ПС}$ показаны на рис. 2.

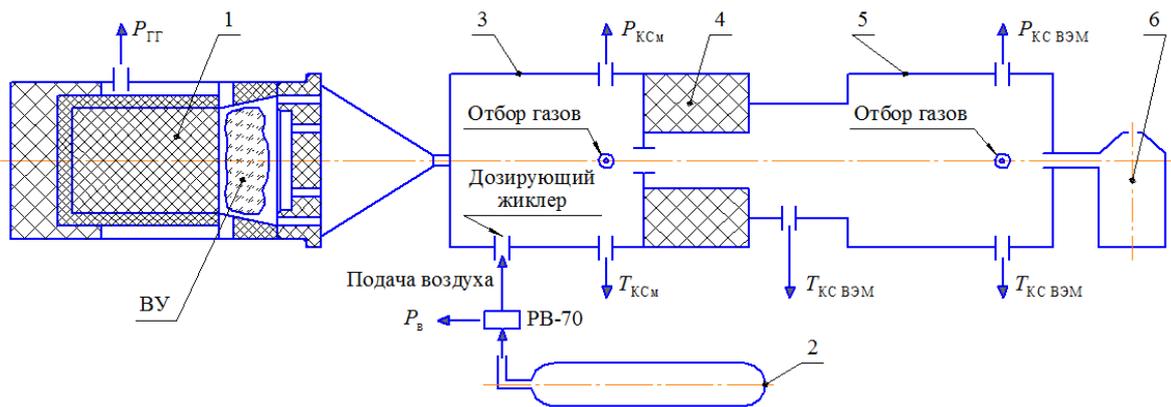


Рис. 1. Схема ЭУ для исследования горения ВЭМ:

- 1 – газогенератор продуктов сгорания (ПС) твердого топлива (ТТ); 2 – баллон со сжатым воздухом;
 3 – камера смешения ПС с воздухом; 4 – образец ВЭМ; 5 – камера сгорания ВЭМ;
 6 – отбор конденсированной фазы

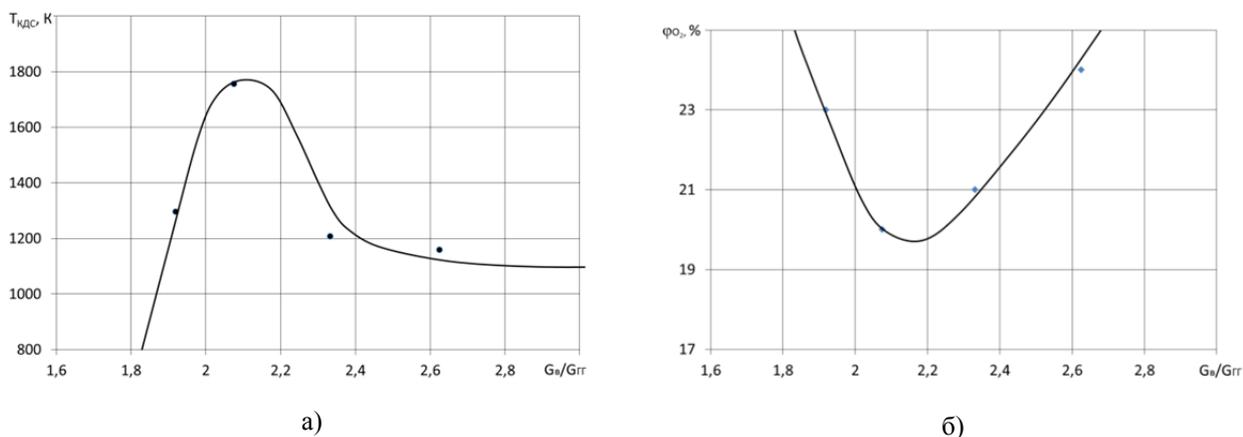


Рис. 2. Зависимость средней температуры в камере смешения и содержание в ней кислорода от соотношения ($G_{\text{в}}/G_{\text{ГГ}}$)

Можно видеть, что зависимость $T_{\text{КСМ}} = f\left(\frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{ПС}}}\right)$ характеризует наличие максимума ($T_{\text{КСМ}} \approx 1750$ К) в диапазоне значений аргумента $\left(\frac{G_{\text{в}}}{G_{\text{ПС}}}\right)$ от 2,05 до 2,15. Этому же диапазону изменения аргумента соответствует и минимум функции ϕ_{O_2} (~ 20 %).

Таким образом, состав газовой смеси на входе в камеру сгорания ВЭМ максимально приближен к параметрам воздуха в воздухозаборном устройстве (ВЗУ), и его подогрев до высоких температур является самым эффективным и малозатратным. Это позволило приступить к исследованию воспламенения и горения ВЭМ при высокотемпературном и низкотемпературном их обдуве воздушными потоками.

Результаты испытаний одного из образцов ВЭМ представлены на рис. 3.

Результаты испытаний показали устойчивое воспламенение ВЭМ при высокотемпературном обдуве и стабильный характер горения после воспламенения в режимах высокотемпературного и низкотемпературного обдува высокоскоростными воздушными потоками в камере сгорания ВЭМ.

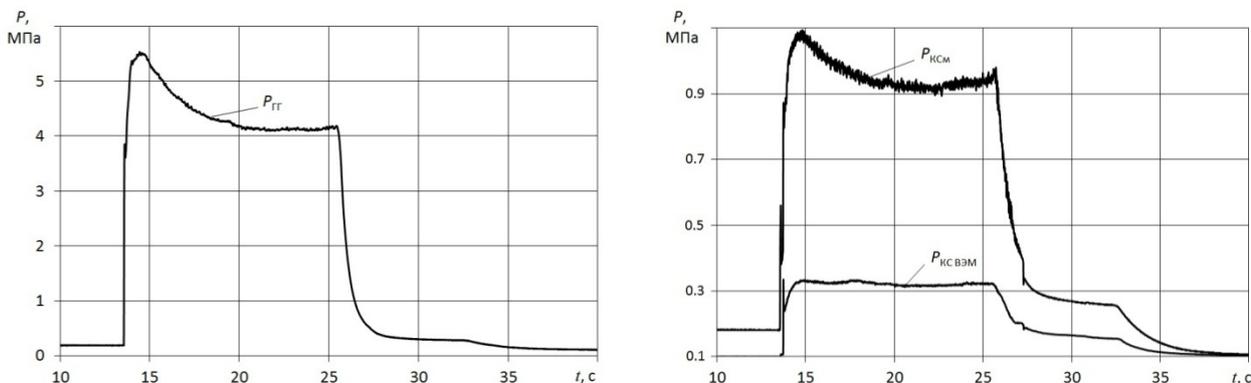


Рис. 3. Диаграммы $P(t)$: $P_{ГГ}$ – давление в газогенераторе; $P_{КСМ}$ – давление в камере смешения; $P_{КСВЭМ}$ – давление в камере сгорания с образцом ВЭМ

Важным этапом в исследовании горения ВЭМ является моделирование структуры и параметров высокоскоростных воздушных потоков.

Экспериментальное исследование проводилось в НИИ ПММ ТГУ с использованием модельной аэродинамической установки (МАУ) разработки ИТПМ СО РАН [1].

Схема модернизированной МАУ показана на рис. 4.

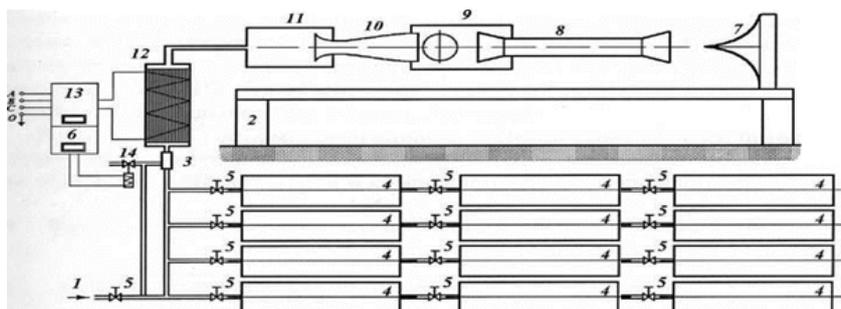


Рис. 4. Схема МАУ: 1 – система подвода воздуха; 2 – рама; 3 – основной клапан диаметром 19 мм; 4 – баллоны со сжатым воздухом суммарным объемом 480 дм³; 5 – механические вентили; 6 – пульт управления; 7 – рассекагель; 8 – диффузор диаметром 140 мм; 9 – рабочая камера; 10 – профилированные сопла диаметром 100 мм; 11 – форкамера объемом 7 дм³; 12 – электрический нагреватель; 13 – источник электропитания мощностью 20 кВт; 14 – управляющий клапан

Для адаптации МАУ применительно к задачам исследований структуры и основных параметров сверхзвуковых воздушных потоков изготовлены и интегрированы в МАУ плоская и осесимметричная модели ВЗУ и проточной части камеры сгорания, геометрическое подобие которых позволи-

ло осуществлять оптические съемки сверхзвуковых течений (плоская модель) и измерять параметры воздушных потоков (осесимметричная модель), соответствующие схеме на рис. 5.

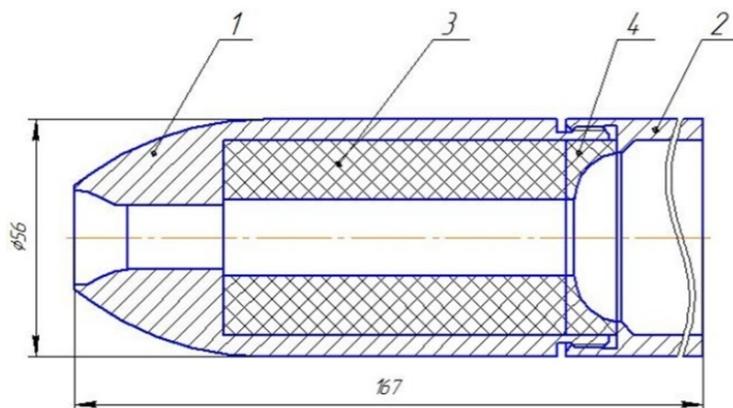


Рис. 5. Схема плоской и осесимметричной моделей: 1 – корпус с ВЗУ; 2 – выходной патрубков; 3 – вкладыш имитатора ВЭМ; 4 – прижимная шайба

Разработанная методика экспериментальных исследований апробирована при проведении оптических съемок сверхзвуковых течений и визуализации косых скачков уплотнения в проточном тракте плоской модели (рис. 6), измерении температуры торможения, динамического и статического давлений в осесимметричной модели при числе Маха $M = 5$ на входе в ВЗУ (рис. 7).

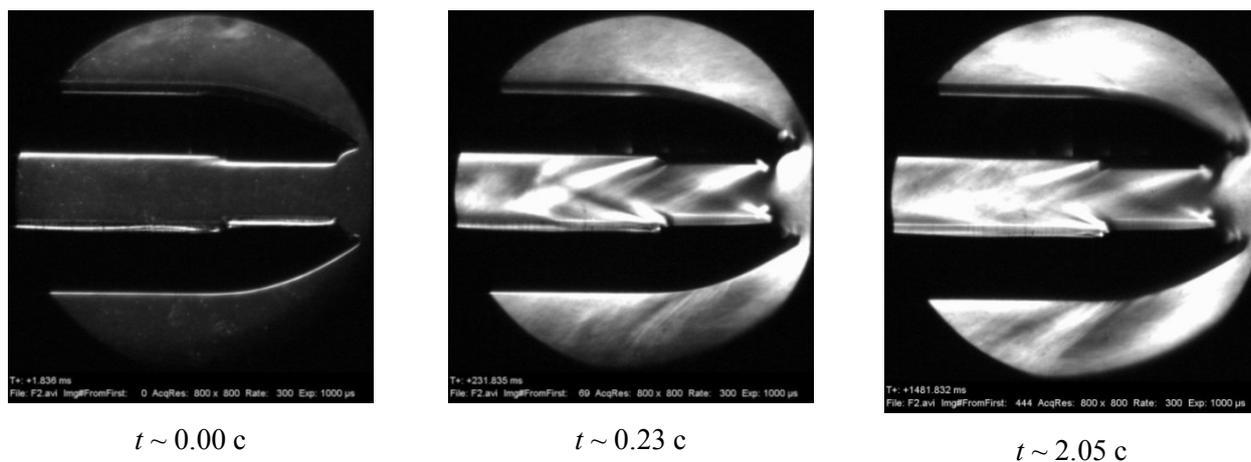


Рис. 6. Кадры видеосъемки обтекания плоской модели при $M = 5$

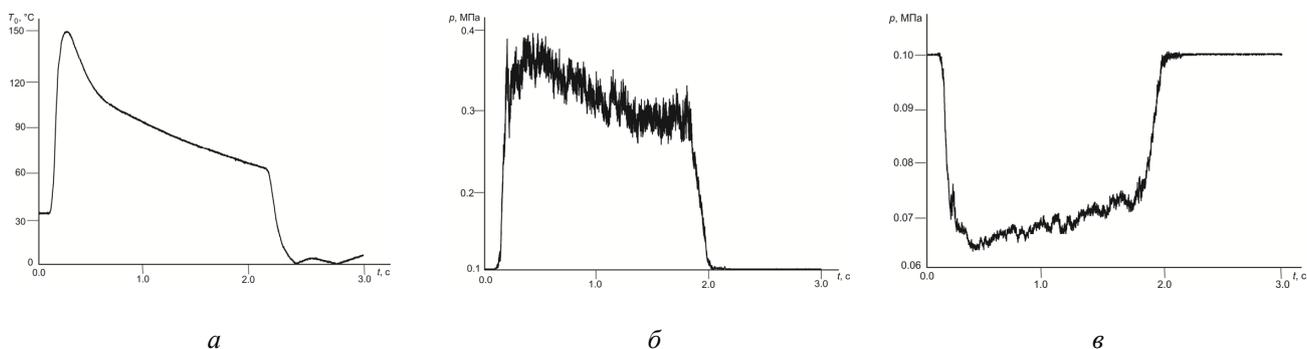


Рис. 7. Результаты измерений: температуры торможения (а); динамического (б) и статического давлений (в) в проточном тракте осесимметричной модели при $M = 5$

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке математических моделей горения ВЭМ в высокоскоростных воздушных потоках.

Литература

1. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть 1: Установки для научных исследований. Новосибирск : Параллель, 2014. 551 с.

DOI: 10.17223/9785946215596/29

EXPERIMENTAL FACILITIES TO STUDY THE BURNING OF HIGH-ENERGY MATERIALS IN HIGH-SPEED AIRFLOW

A.V. Litvinov¹, A.V. Kurbatov¹, D.D. Aksyonenko¹, V.Yu. Mikhaltsov¹, D.I. Vaulin¹,
V.B. Zharinov¹, V.A. Arkhipov², I.K. Zharova²

¹JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

²Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of TSU, Tomsk

Study on high-energy materials (HEM) burning while their blowing with high-temperature and low-temperature transsonic airflow was carried out.

Experimental facility (EF) diagram is given in Figure 1.

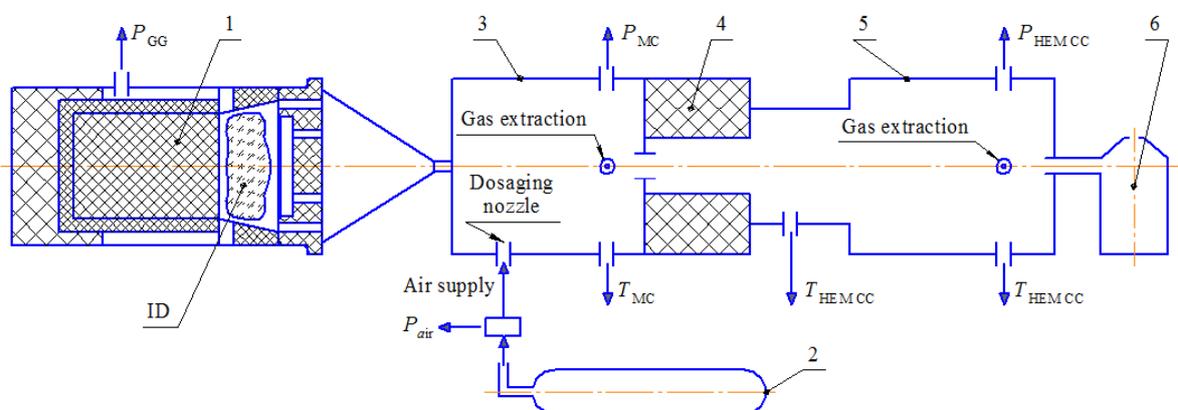


Fig. 1. EF diagram to study the burning of HEM: 1 – gas generator of combustion products (CP) of solid propellant (SP); 2 – compressed air flask; 3 – CP mixing chamber; 4 – HEM sample; 5 – HEM combustion chamber; 6 – condensed phase extraction

The principle of operation is based on blowing the HEM samples with high-temperature airflow. The heating of airflow, coming from high pressure flask into the mixing chamber up to a temperature of 1800 K, is due to its mixing with SP CP, as well as the exothermic reactions of oxidation of hydrogen H_2 and carbon monoxide CO, being in CP, with oxygen from airflow.

The experimentally determined dependences of changes of gas mixture average temperature in the mixing chamber T_{MC} and oxygen content in it φ_{O_2} , from the ratio of air flow rate from the flask to the consumption CP from gas generator G_{GG} , are shown in Figure 2.