

## **Многоцелевая баллистическая лаборатория: результаты и перспективы развития**

© В.В. Зеленцов, А.С. Карнейчик, В.С. Владимиров

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Рассмотрены история становления и развития, технические характеристики и экспериментальные возможности многоцелевой баллистической лаборатории (полигона) кафедры М-6, размещенной в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана. Описаны основные научные результаты, полученные в лаборатории. Обозначены направления дальнейшего развития уникального экспериментального комплекса.*

**Ключевые слова:** *экспериментальные исследования, баллистические испытания, вооружение и военная техника, физика быстротекущих процессов, испытательный комплекс, полигон, высокоскоростное метание.*

Одним из объектов, формирующих высокий научный и учебный потенциал и уникальность экспериментальных возможностей факультета ММ в области разработки вооружения, военной и специальной техники является многоцелевой баллистический комплекс (полигон), расположенный в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана. Этот комплекс создавался в середине 1970-х годов по инициативе и при активном участии выдающегося ученого, педагога и организатора, заведующего кафедрой М-6 профессора Бориса Викторовича Орлова. При создании полигона ставилась новая для вузовской науки тех лет задача обеспечения возможностей проведения в учебном заведении реальных испытаний реальных образцов метательной техники, ракетных и импульсных устройств для профильных научно-исследовательских и учебных лабораторных работ.

Испытательные стенды комплекса были сориентированы на изучение широкого спектра физических явлений, составляющих природу баллистических процессов и определяющих в итоге эффективность образцов ракетно-артиллерийского вооружения.

Технорабочий проект комплекса лабораторно-испытательных стендов был выполнен в проектно-конструкторском бюро НИИ проблем машиностроения (ныне НИИСМ). Комплекс получил общее наименование «Корпус 21-а», или «Многоцелевая баллистическая лаборатория (МБЛ) кафедры М-6».

В состав комплекса 21-а вошли:

- закрытый баллистический стенд с взрывной камерой (Стенд № 1);
- горизонтальный артиллерийский стенд (Стенд № 2);
- натурно-модельный стенд на базе гидровыстрела (Стенд № 4).

Все стенды закрыты земляным валом высотой до 3 м и шириной 4...8 м. В состав МБЛ включен также ряд вспомогательных помещений, вынесенных в отдельное здание из железобетонных плит за обваловку и соединенных со стендами подземным переходом.

Строительство испытательных стендов комплекса 21-а в поселке Орево Дмитровского района Подмосковья велось в основном «хозспособом», или методом «народной стройки», в которой участвовали и преподаватели, и студенты, и аспиранты, да и весь персонал кафедры и подразделений НИИ. В 1976 г. инженерные сооружения комплекса были приняты соответствующими комиссиями и сданы в эксплуатацию.

Первоначально МБЛ оснастили лишь традиционными измерительными средствами: тензометрическими датчиками деформации и давлений; станциями первичного преобразования сигналов; средствами регистрации этих параметров — светолучевыми (шлейфовыми) и запоминающими осциллографами.

С начала 1980-х годов комплекс стал активно оснащаться самыми современными аппаратными средствами исследования быстропротекающих процессов. Например, на стендах лаборатории был отработан и успешно внедрен оригинальный метод измерения параметров движения снаряда в канале ствола (ИПДС), основанный на принципе волноводной СВЧ-интерферометрии [1]. Развитие этой методики позволило распространить ее также на регистрацию параметров детонационных и ударных волн в трубах.

В течение нескольких лет комплекс был оснащен скоростными фотокинорегистраторами (СФР, ВФУ, СКС, ЖЛВ-2 и др.). Молодые специалисты МБЛ разработали и внедрили в практику исследований универсальную оптическую установку с многоканальной системой импульсной, в том числе лазерной, подсветки. В рамках единой аппаратной базы была реализована широкая номенклатура различных методов исследований: прямая съемка быстропротекающих процессов; теневая съемка газодинамики истечения струй и полета метаемых тел на разных участках траектории; оптическая регистрация микроперемещений, деформации, разрушения оболочек и т. п. [2].

Эффективными средствами визуализации стали внедренные устройства импульсной рентгеновской съемки. Во второй половине 1980-х годов появились сначала аппаратура РИНА ЗБ-6, а затем и более мощный комплект из шести аппаратов ПИР-600. Эта аппаратура обеспечила возможность рентгеновской съемки метаемых тел в пороховых газах

и продуктах детонации в непосредственной близости дульного среза ствольных установок (около поверхности метательного заряда взрывчатого вещества (ВВ)).

По техническому заданию МВТУ им. Н.Э. Баумана Институтом интроскопии АН СССР на стендах МБЛ была внедрена уникальная разработка, так называемый рентгеновский барьер. Это прибор, представляющий собой приемопередающую пару, — рентгеновский аппарат постоянного излучения и быстродействующий приемник излучения. Данное устройство позволило с высоким временным разрешением фиксировать момент появления метаемого тела или его фрагмента в зоне регистрации, например металла с конкретными характеристиками прозрачности в рентгеновской части спектра. Набор импульсных рентгеновских аппаратов в совокупности с рентгеновским барьером повысили эффективность и информативность опытов по метанию тел сложной конструкции, а также по экспериментальному изучению различных физических процессов, таких как кумуляция, взрывное формообразование и т. д.

Силами специалистов МБЛ в практику экспериментальных исследований ствольных систем были внедрены самостоятельно разработанные так называемые манганиновые датчики высоких (до 4...5 тыс. атм) давлений, основанные на пьезорезистивном эффекте. Малыми партиями эти датчики самостоятельно изготавливались для собственных нужд. В экспериментальные работы были внедрены также ножевые пьезометрические датчики давления в ударных воздушных волнах [3].

С появлением в стране предприятий по производству специализированной полигонной измерительной аппаратуры комплекс стал оснащаться средствами с маркой «СКБ ИЗАП» (г. Нижний Тагил). В МБЛ поступили современные измерительные системы: ФЭБ-5 и ФЭБ-7; информационно-измерительный комплекс «Ариэль»; локаторы «Ариэль 7/10» и «Ариэль 7/33»; станция регистрации импульсных давлений «Нейва 2-К» с комплектом пьезометрических датчиков семейств Т-6000 и 2Т-6000.

Наличие такой широкой номенклатуры датчиков и средств баллистических измерений потребовало внедрения самых современных средств регистрации аналоговых сигналов и автоматизированных систем регистрации, обработки и хранения экспериментальных данных. Поэтому баллистическая лаборатория стала площадкой для отработки и внедрения в практику экспериментальных исследований новейших для тех лет средств цифровой осциллографии, информационно-измерительных сетей, а также программ цифровой обработки и отображения экспериментальных данных.

Безусловно, такое интенсивное развитие комплекса не было бы возможным без серьезного кадрового обеспечения. Основу профессионального коллектива лаборатории (тогда отдела СМ6-2 НИИСМ) составили молодые выпускники и аспиранты МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Совокупность достигнутых возможностей многофункционального стендового оборудования, обширного набора современных измерительных и регистрирующих средств, а также наличие квалифицированных инженерных и научных кадров обеспечили чрезвычайно высокую информативность экспериментальных исследований, когда в условиях единичного эксперимента или небольшой серии опытов исследователь получал обширный массив разнородных данных о многих физических параметрах. Это позволяло весьма объемно представить исследуемый процесс в различных его проявлениях.

В результате развития комплекса был реализован ряд важнейших НИР, содержащих новые, нетрадиционные научные решения в области физики быстропротекающих процессов по заказам оборонных отраслей. Многие научные результаты, полученные в МБЛ, затем были внедрены при реализации прикладных ОКР в институтах и конструкторских бюро оборонных отраслей, а впоследствии использованы и в реальных образцах вооружения.

С началом эксплуатации МБЛ наибольшее внимание уделялось внутрибаллистическим исследованиям, направленным на решение задачи поиска нетрадиционных схем и методов высокоскоростного метания.

Одним из направлений стало взрывное ствольное метание (ВСМ), где в отличие от пороховых артиллерийских установок использовались заряды низкоплотного взрывчатого вещества (НВВ). Внутрибаллистические процессы ВСМ имели повышенную интенсивность и носили ярко выраженный ударно-волновой характер.

При экспериментально-теоретической отработке этих схем были получены убедительные научные результаты, заинтересовавшие оборонную отрасль. В частности, при сравнительно малых длинах ствола (0,7 м) в калибре 23 мм достигались скорости метания более 1800 м/с. При этом выстреливались удлиненные и соответственно эффективные поражающие элементы (удлинение более 20).

В качестве отдельного направления ВСМ была проработана схема метания «с подгоном», когда предварительно разогнанный снаряд получал доускорение путем синхронизированного подгона дополнительными зарядами НВВ, расположенными по длине канала ствола.

На стендах МБЛ впервые в стране была обоснована и подвергнута детальным экспериментальным и теоретическим исследованиям оригинальная схема высокоскоростного метания, получившая рабочее наименование БИКАС (бикалиберная артиллерийская система), или более

корректно — схема метания с цилиндро-коническим каналом ствола и снарядом с пластическим деформируемым поршнем. Схема основана на принципе дополнительного ускорения метаемого элемента в канале переменного сечения за счет гидродинамического эффекта в сужающемся коническом участке ствола [4; 5].

На экспериментальных установках БИКАС, выполненных как по схеме ВСМ, так и по классической (пороховой) схеме, тоже были достигнуты весьма значительные для ствольных систем скорости метания, а именно: около 3,6 км/с для компактных метаемых элементов и более 2,4 км/с для поражающих элементов с удлинением свыше 10.

Одна из актуальных проблем оборонных отраслей, поставленных перед МБЛ, — необходимость экспериментальной отработки ствольных метательных систем с использованием жидких метательных веществ (ЖМВ). Универсальность свойств и характеристик стендов, а также наличие в распоряжении исследователей аппаратуры, способной одновременно регистрировать энергосиловые (давление в различных сечениях канала ствола) и кинематические (перемещение, скорость и ускорение снаряда в канале ствола) параметры определили высокую эффективность внутрибаллистических экспериментальных исследований установок с ЖМВ.

Перед МБЛ была поставлена и задача поиска путей вооружения легких авиационных боевых средств ствольными артиллерийскими системами повышенного могущества, в частности установка орудий калибра выше 30 мм на легкие фронтовые бомбардировщики и вертолеты. Это потребовало, с одной стороны, снижения энергии отката ствольных систем, а с другой — решений, уменьшающих влияния околодульных процессов (промежуточной баллистики) на авиационные конструкции. Данные решения также были найдены и экспериментально отработаны.

Наряду со ствольными баллистическими исследованиями на стендах МБЛ были выполнены и другие работы по актуальным направлениям экспериментальной физики быстропротекающих процессов, востребованных оборонной отраслью. К таким исследованиям можно отнести поиск методов и схем сохранного улавливания метаемых элементов при лабораторных стрельбах; отработку физики высокоскоростного метания с поверхности ВВ с формообразованием поражающего элемента по схеме метания «ударное ядро»; электродинамические схемы высокоскоростного метания. И это далеко не полный перечень работ и научных результатов, полученных в МБЛ.

В качестве самостоятельного направления результативных научных исследований следует отметить и собственные разработки коллектива МБЛ в области методов и средств информационного обеспечения экс-

периментов, т. е. создания и внедрения в практику исследований новых эффективных методов измерения параметров быстропротекающих процессов, а также средств автоматизации регистрации, обработки и хранения экспериментальной информации.

Результатами всех перечисленных выше видов и направлений работ в исследовании схем метания, процессов внутренней и промежуточной баллистики, а также в разработке средств и методов экспериментальных исследований стало множество важнейших научных достижений. В совокупности с теоретическими моделями и расчетными программами, разработанными в МВТУ им. Н.Э. Баумана, этот широкий спектр научных результатов комплексных исследований был передан отраслевым институтам и конструкторским бюро для дальнейшего внедрения при разработке ими перспективных образцов вооружения и военной техники.

Несомненно, с внедрением в эксплуатацию баллистической лаборатории повысилась и эффективность учебного процесса. Студенты, заканчивавшие училище, были вооружены практическими знаниями в области экспериментальной отработки современных образцов вооружения.

Ярким и убедительным подтверждением достигнутых возможностей и научной результативности экспериментального комплекса, безусловно, стала защита четырех докторских и более двадцати кандидатских диссертаций, которые в значительной степени базировались на экспериментальных результатах, полученных на стендах комплекса.

Вместе с тем с величайшим сожалением следует констатировать, что разрушительные процессы, произошедшие в конце прошлого века и в стране, и в оборонных отраслях промышленности, и в вузовской науке не только приостановили процесс развития комплекса, но и фактически полностью лишили его и технического, и кадрового потенциала.

Однако сохранилась основная часть стендового оборудования, определяющего экспериментальные возможности комплекса. Полностью работоспособны две баллистические трассы, взрывная камера, открытый стенд, защитный земляной вал и здание комплекса. Инженерные сети действуют, хотя и остро нуждаются в глубокой реконструкции.

По инициативе директора Дмитровского филиала профессора А.Г. Лескова и при активной поддержке НУК СМ руководство Университета приняло решение и выделило средства для ремонта строительной части комплекса (здания, кровля и интерьеры), а также для профилактических и восстановительных работ на основном технологическом оборудовании.

В 2006 г. общие ремонтно-восстановительные работы были в основном завершены, проведены испытания, в результате которых компетентная комиссия подписала акт о возможности использования стендового оборудования в экспериментальных работах. Но, к сожалению,

богатейшее некогда приборное оснащение комплекса в значительной степени было утрачено. Сохранившаяся часть измерительных средств морально и физически устарела и в лучшем случае могла использоваться весьма ограниченно, поскольку никак не отвечала ни современным требованиям к учебному процессу, ни тем более передовым научным достижениям.

В 2010 г. в Дмитровском филиале была создана специализированная рабочая группа «Экспериментальная физика быстропротекающих процессов» (ЭФБП), организационно включенная в состав учебной лаборатории Ц-2. В группу вошли несколько опытных сотрудников, некогда работавших в МБЛ. Активное участие в восстановительных работах и освоении новых методик испытаний приняли студенты старших курсов факультета СМ, в том числе при выполнении НИР, курсовых и дипломных работ и проектов.

Огромным подспорьем в реализации планов возрождения комплекса явилась правительственная *«Программа развития национального исследовательского университета МГТУ им. Н.Э. Баумана»* и, в частности, включенные в нее мероприятия по *«...укреплению научной и учебно-лабораторной базы университета»*. В числе таких мероприятий *«...закупка современного оборудования для оснащения, переснащения и модернизации научно-образовательных центров, лабораторий и центров коллективного пользования»*.

При организационной поддержке ректората и руководства НУК СМ было подано и удовлетворено несколько заявок на приобретение уникального оборудования для МБЛ. В 2009 г. был приобретен и внедрен в эксплуатацию *«Программно-аппаратный комплекс (система) обеспечения безопасных работ (СОБР)»*, включающий такие основные подсистемы, как:

- многоканальная асинхронная подсистема инициирования быстропротекающих процессов (схема электровзрывания), сопряженная со средствами аппаратного и программного контроля опасных зон и с аппаратурой контроля состояния боевых цепей;

- единая система мониторинга помещений и оборудования;
- система блокировки подрывов в опасных ситуациях.

В юбилейном для Дмитровского филиала 2010 г. выделены средства и приобретен уникальный аппаратно-программный комплекс (АПК) *«Сверхскоростной регистрации и обработки видеоинформации»*. Основу этого АПК составляют две современные высокоскоростные видеокамеры FASTCAM<sup>®</sup> SA-3 и SA-5 японской фирмы Photron<sup>®</sup>.

Экспериментальные возможности видеокomплекса могут быть проиллюстрированы основными техническими характеристиками видеокамер:

FASTCAM SA-5	Монохромная (ч/б)	
	min время экспозиции, 1 мкс	
Частота кадров, 1/с	Разрешение [пикселей]	
	горизонтальное	вертикальное
5 000	1024	1024
75 000	320	264
100 000	320	192
755 000	128	24

FASTCAM SA-3	Цветная (12 бит)	
	min время экспозиции, 2 мкс	
Частота кадров, 1/с	Разрешение [пикселей]	
	горизонтальное	вертикальное
2 500	640	544
15 000	256	112
30 000	256	48
60 000	128	16

В процессе эксплуатации комплекса были поставлены и выполнены в числе других опыты по высокоскоростной съемке полета снарядов на трассах стендов № 1 и № 2 с высоким качеством изображения (разрешение до  $256 \times 1024$  пикселей) на скоростях метания до 1850 м/с. В одном из методических экспериментов видеокамерой SA-5 (частота съемки — 230 тыс. кадров/с) был зафиксирован процесс развития кумулятивной струи.

В продолжение оснащения лабораторно-испытательного комплекса современным оборудованием в рамках финансирования по «Программе развития...» ждут своей очереди заявки на современные средства цифровой регистрации измерительной информации и автоматизации экспериментов известной *Natinal Istruments*®, комплекты первичных преобразователей (датчиков) *Kistler*®, новейшие цифровые рентгено-импульсные средства визуализации и на другое специальное оборудование.

Усилия по восстановлению работоспособности инженерных сооружений лаборатории, совершенствованию инженерной инфраструктуры, несомненно, будут продолжены, как и усилия в приборном оснащении и кадровом обеспечении комплекса.



В настоящее время разрешительная и эксплуатационная документация на испытательное оборудование приводится в соответствие с современной нормативной базой, регулирующей опасные производства. Наличие такой документации необходимо для использования всего потенциала описываемого многоцелевого испытательного комплекса в полном объеме не только в учебном процессе и в поисковых НИР, но и в прикладных НИОКР.

В документации, направленной в государственные инстанции, испытательный комплекс МБЛ получил достаточно амбициозное и говорящее о многом наименование «Полигон».

Развивающийся полигон с взрывной камерой и все объекты (стенды), входящие в его состав, предназначены не только для выполнения работ, связанных с фундаментальными и прикладными экспериментальными исследованиями (испытаниями), проводимыми в рамках НИОКР в МГТУ им. Н.Э. Баумана, но и при экспериментальных лабораторных работах и учебных практиках в рамках учебных программ студентов, по тематикам кафедр СМ-4 и СМ-6, а также многих других заинтересованных подразделений МГТУ им. Н.Э. Баумана.

«Полигон» является многоцелевым лабораторно-испытательным и измерительно-вычислительным комплексом и позволяет исследовать, испытывать и отрабатывать натурные и модельные образцы артиллерийского и стрелкового оружия, малых ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ), средств высокоскоростного метания, различных видов боеприпасов, их макетов и составных частей.

На полигоне можно проводить широкий спектр экспериментальных исследований в области физики быстропротекающих процессов (импульсные процессы горения, взрыва, высокоскоростного метания, экспериментальная газо- и аэродинамика, высокоскоростное взаимодействие сред и движущихся объектов и т. п.).

На полигоне могут быть реализованы следующие виды экспериментальных исследований:

*фундаментальные исследования*

- внутрибаллистические исследования, промежуточная и внешняя баллистика, динамика и прочность;
- исследование процессов в РДТТ и газогенераторах;
- взаимодействие метаемых тел с преградами и целями;
- нетрадиционные схемы метания;
- физика взрыва, конечная баллистика, динамическое разрушение оболочек, кумуляция, исследование динамической защиты и свойств современных энергетических материалов;
- энерговыделение при высокоскоростном взаимодействии тел;
- механика сплошных сред, механика разрушения, прикладная газовая динамика и физика ударных волн;

*прикладные исследования*

- взрывные технологии, динамика и прочность высокотехнологичных конструкций из новых, в том числе композитных, материалов при динамическом и импульсном нагружении;
- исследование практических вопросов использования вооружения, боеприпасов, средств защиты и взрывных технологий при создании перспективных мобильных робототехнических комплексов;
- экспериментальные исследования в области разработки, производства, внедрения, эксплуатации, ремонта и утилизации вооружения, военной и специальной техники, технических средств противодействия терроризму;

*прорывные прикладные исследования* — экспериментальные исследования в целях создания (участия в создании) новых перспективных образцов вооружения, военной и специальной техники, основанных на новых физических принципах.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний день есть все основания полагать, что в результате продолжения совершенствования и оснащения многоцелевого баллистического комплекса современным оборудованием, формирования обновленного коллектива специалистов этот уникальный исследовательский объект снова займет достойное место в учебно-лабораторной базе Университета.

В организационном плане вполне созрел организационно-инвестиционный проект реализации на базе «Полигона» специализированного центра коллективного пользования «Экспериментальной физики быстропотекающих процессов МГТУ им. Н.Э. Баумана». Идея этого проекта уже озвучена руководству Университета и встретила поддержку.

Дальнейшее развитие и совершенствование оснащения «Полигона» предполагает достижение следующих обоснованно ожидаемых результатов:

- повышение качества учебного процесса в Университете и подготовки специалистов мирового уровня в области инженерной физики быстропотекающих процессов;
- преодоление наметившегося отставания в области экспериментальной отработки взрывных и метательных технологий в интересах различных отраслей промышленности;
- активное и эффективное участие Университета в НИОКР по развитию вооружения, военной и специальной техники и в конечном счете повышение значимости и роли Университета в укреплении обороноспособности страны.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Банников А.М., Беркутов А.М., Владимиров В.С., Карнейчик А.С. Алгоритм автоматизированной обработки информации при СВЧ-интерферометрических измерениях. *Обработка сложных сигналов на базе устройств цифровой техники. Сб. ст.* Рязань, РРТИ, 1985.
- [2] Владимиров В.С., Савельев М.С. Универсальная оптическая установка для исследования быстропотекающих процессов. *Методы расчета и проектирования систем и установок. Труды МВТУ.* Москва, Изд-во МВТУ, 1986, с. 10–17.
- [3] Бессонов В.В., Владимиров В.С., Чернявский С.Ю. Использование манганиновых датчиков для измерения высоких импульсных давлений. *Теоретические и экспериментальные исследования гиперзвуковых течений при обтекании тел и в средах. Сб. темат. ст. Института механики МГУ.* Москва, Изд-во МГУ, 1979, с. 116–122.
- [4] Быков Н.В., Зеленцов В.В., Карнейчик А.С. Влияние длины конического участка на баллистические характеристики цилиндроконических стволов с пластическими снарядами. *Оборонная техника*, 2012, № 8/9, с. 21–26.
- [5] Банников А.М., Мосейко В.О. Математическая модель движения деформируемого тела в сужающемся канале. *Методы расчета и проектирования систем и установок. Труды МВТУ.* Москва, Изд-во МВТУ, 1986, с. 3–9.

Статья поступила в редакцию 21.05.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

В.В. Зеленцов, А.С. Карнейчик, В.С. Владимиров. Многоцелевая баллистическая лаборатория: результаты и перспективы развития. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/626.html>

**Зеленцов Валентин Викторович** родился в 1937 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1961 г. Канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Ракетные и импульсные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Лауреат премии Президента РФ в области образования и премии Правительства РФ в области науки и техники. Автор более 190 научных работ в области вооружения, военной техники, термогазодинамики и проектирования ракетных комплексов. e-mail: sm6408@rambler.ru

**Карнейчик Александр Сергеевич** родился в 1948 г., окончил Куйбышевский политехнический институт в 1972 г. Канд. техн. наук, доц. кафедры «Ракетные и импульсные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 80 научных работ в области вооружения, специальных баллистических измерительных приборов и проектирования ствольных систем. e-mail: karas-dmitrov@mail.ru

**Владимиров Владимир Сергеевич** (1942–2013) выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана. Д-р техн. наук. Автор более 160 научных работ в области вооружения, высокоскоростного метания, проектирования ракетных и ствольных систем.