

## АДАПТАЦИЯ ГИДРОБАЛЛИСТИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ МЕТАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

© 2023 г. А. Н. Ищенко<sup>а</sup>, В. В. Буркин<sup>а</sup>, В. З. Касимов<sup>а</sup>, А. С. Дьячковский<sup>а</sup>, А. В. Чупашев<sup>а</sup>,  
А. Ю. Саммель<sup>а</sup>, К. С. Рogaев<sup>а, \*</sup>, А. Д. Сидоров<sup>а</sup>, И. В. Майстренко<sup>а</sup>,  
Л. В. Корольков<sup>а</sup>, В. А. Бураков<sup>а</sup>, Н. М. Саморокова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Томского государственного университета  
Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36, стр. 27

\*e-mail: rogaev@ff.tsu.ru

Поступила в редакцию 01.08.2022 г.

После доработки 02.11.2022 г.

Принята к публикации 26.11.2022 г.

На основе баллистического проектирования выполнена оценка габаритов метательной установки с длиной ускорительного канала 20 см. Проведена адаптация гидробаллистического стенда к проведению испытаний малогабаритных метательных установок. С использованием малогабаритной метательной установки реализованы режимы входа в воду ударников через воздушный участок и непосредственно из ускорительного канала.

DOI: 10.31857/S0032816223020192, EDN: GTCEVV

### ВВЕДЕНИЕ

Исследование влияния друг на друга группы суперкавитирующих ударников с использованием одной метательной установки возможно только при их одновременном старте. Основные результаты одновременного группового старта и последующего суперкавитирующего движения близкорасположенных ударников приведены в работах [1–6]. Для исследования группового движения ударников, стартующих с задержками относительно друг друга, требуется применение нескольких метательных установок, которые позволяют не только обеспечить заданную задержку старта ударников, но и на старте планировать траекторию их движения.

Основным требованием к метательным установкам, ориентированным на исследования группового метания близкорасположенных ударников с заданным запаздыванием их старта, является минимизация их габаритных размеров, что позволяет размещать установки, а следовательно, и ударники наиболее близко друг к другу. При этом гидробаллистический стенд [7] должен быть адаптирован к таким метательным установкам и иметь возможность исследовать вход ударника в воду через воздушный участок между срезом ускорительного канала и поверхностью воды либо непосредственно в воду при выходе из ускорительного канала. В первом случае вариант компоновки стенда позволяет исследовать вход в воду ударников через воздушную

прослойку, во втором – предназначен для исследования старта калиберных ударников непосредственно в воду.

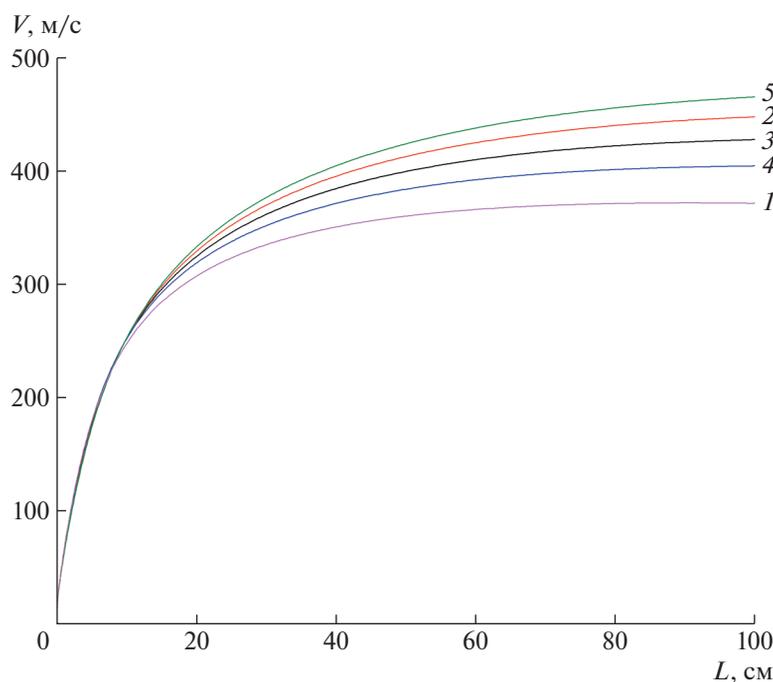
Целью данной работы является оценка возможностей малогабаритных метательных установок и адаптация гидробаллистического стенда к их испытаниям.

### БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Предварительная оценка возможных габаритов метательной установки проводилась с учетом данных, полученных в результате баллистического проектирования для ускорительных каналов калибрами 6, 8 и 10 мм под ударники массой до 80 г в скоростном диапазоне от 300 до 500 м/с и с ограничением максимального давления уровнем 400 МПа. Баллистическое проектирование выполнено в соответствии с работой [8]. Основные параметры установки изменялись в следующих пределах:

- объем камеры заряжания метательной установки от 3.5 до 22 см<sup>3</sup>;
- метаемая (ускоряемая) масса от 10 до 80 г;
- длина ускорительного канала до 100 см.

При проведении расчетов внутрибаллистических характеристик выстрела использовались параметры зернового одноканального пороха. Типичные результаты расчетов в виде зависимости



**Рис. 1.** Зависимость дульной скорости метаемой сборки от длины ускорительного канала для различных значений диаметра ствола  $d_{ст}$ , массы сборки  $m$  и объема камеры заряжения  $W_0$ : 1 —  $d_{ст} = 6$  мм,  $m = 28.1$  г,  $W_0 = 3.4$  см<sup>3</sup>; 2 —  $d_{ст} = 6$  мм,  $m = 28.1$  г,  $W_0 = 6.7$  см<sup>3</sup>; 3 —  $d_{ст} = 8$  мм,  $m = 50.0$  г,  $W_0 = 10$  см<sup>3</sup>; 4 —  $d_{ст} = 10$  мм,  $m = 78.0$  г,  $W_0 = 12.5$  см<sup>3</sup>; 5 —  $d_{ст} = 10$  мм,  $m = 78.0$  г,  $W_0 = 21.8$  см<sup>3</sup>.

дульной скорости от длины ускорительных каналов калибрами 6, 8 и 10 мм при различных объемах камеры заряжения приведены на рис. 1. Расчеты показали, что в установках с ускорительными каналами рассмотренных калибров требуемые характеристики по величине дульной скорости могут быть достигнуты с использованием метательных установок при длине ускорительного канала до 20 см, и они практически не зависят от объема камеры заряжения. Выполненное баллистическое проектирование показало перспективность метательной установки с длиной ускорительного канала до 20 см. Оценочные габариты такой установки находятся в пределах 150–300 мм, что позволяет разместить ее в пришлюзовой камере гидробаллистического стенда.

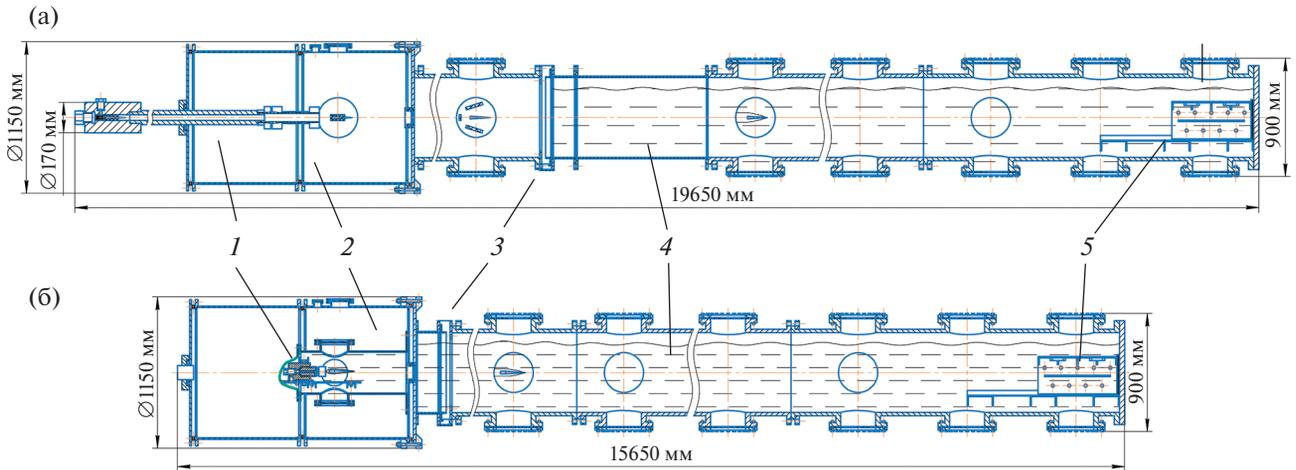
#### КОНСТРУКЦИЯ СТЕНДА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 2а показана схема стенда, использующего баллистические установки длиной до 500 см для исследования высокоскоростного суперкавитирующего движения в экстремальных режимах. Данный гидробаллистический стенд позволяет реализовать групповой пушечный старт суперкавитирующих ударников с дульной скоростью, близкой к скорости звука в воде. В частности, в работе

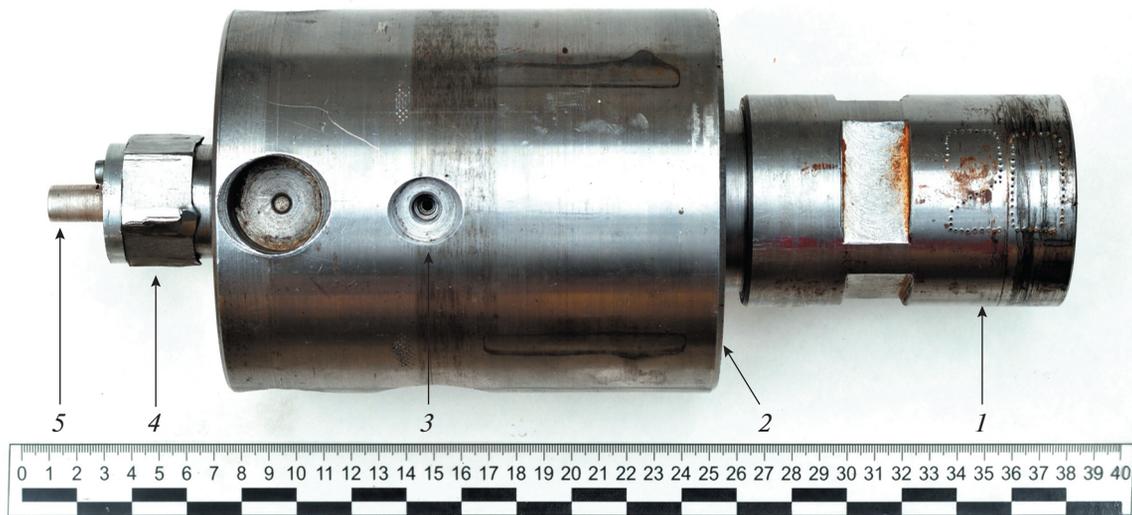
[1] опубликованы результаты по разработке методики исследования высокоскоростного движения группы суперкавитирующих ударников в воде при одновременном старте со скоростью в диапазоне 1000–1100 м/с. В работе [4] представлены результаты для скоростей 1400–1500 м/с.

На рис. 2б приведена схема размещения одного экземпляра малогабаритной метательной установки, реализованная в рамках адаптации гидробаллистического стенда. В вакуумном глушителе соосно стенду смонтирована пришлюзовая камера, которая в зависимости от целей эксперимента может заполняться водой. Малогабаритная метательная установка монтируется в пришлюзовой камере, ось ускорительного канала несколько выше оси гидробаллистического стенда, это вынужденное техническое решение, вызванное необходимостью предусмотреть возможность установки двух малогабаритных метательных установок.

Внешний вид малогабаритной метательной установки показан на рис. 3. Для справки, у пистолетов длина ствола может достигать 200 мм, дульная скорость находится в пределах 300 м/с, давление в канале ствола может достигать 250 МПа. В нашем случае масса метаемого ударника, который может быть изготовлен из сплава ВЖ, значительно превышает массу стандартных изделий. В связи с этим требуется обеспечить функциони-



**Рис. 2.** Схема гидробаллистического стенда с размещением: **а** – установки для исследования высокоскоростного суперкавитирующего движения в экстремальных режимах [7]; **б** – малогабаритной метательной установки. 1 – метательная установка, 2 – вакуумный глушитель, 3 – шлюз, 4 – гидробаллистическая трасса, 5 – пулеприемник.

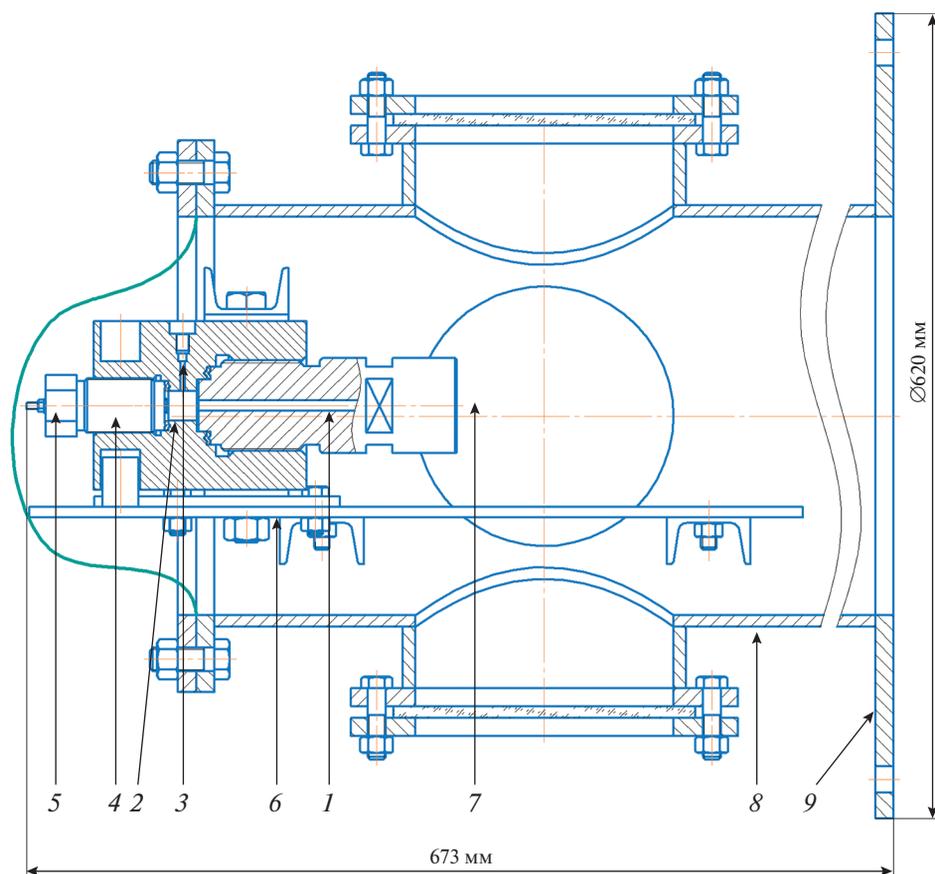


**Рис. 3.** Внешний вид малогабаритной метательной установки с длиной ускорительного канала 20 см: 1 – ускорительный канал, 2 – камера заряжания, 3 – гнездо установки датчика давления, 4 – винтовой затвор, 5 – разъем цепи инициирования.

рование малогабаритной метательной установки при рабочих давлениях до 600 МПа. Детали, испытывающие повышенные нагрузки (см. рис. 3): ускорительный канал 1, камера заряжания 2, винтовой затвор 3 – изготовлены из стали марки ОХНЗМФА со значительным запасом по прочности. Для инициирования заряда взрывчатого вещества используется электрокапсюльная втулка ЭКВ-30, установленная в винтовом затворе. Конструкция винтового затвора разборная, предусмотрена возможность смены электрокапсюльной втулки и, при необходимости, центрального электрода цепи инициирования. Разъем 5 цепи

инициирования показан на рис. 3. Использование электрокапсюльной втулки в качестве запала обеспечит техническую возможность с достаточной точностью синхронизировать моменты старта при групповом пуске, а также регулировать задержку инициирования при необходимости.

Камера заряжания 2 имеет гнездо 3 для установки датчика давления 2Т6000. Пьезоэлектрический датчик 2Т6000 регистрирует динамику изменения давления в камере заряжания в ходе эксперимента. Для преобразования сигналов (зарядов) датчика давления используется аппаратура регистрации давления “Нейва 10000”. Последующая



**Рис. 4.** Эскиз размещения малогабаритной метательной установки с длиной ускорительного канала 20 см на гидробаллистическом стенде: 1 – ускорительный канал, 2 – камера заряжания, 3 – гнездо установки датчика давления, 4 – винтовой затвор, 5 – разъем цепи иницирования, 6 – устройство крепления метательной установки, 7 – иллюминатор прищлюзовой камеры, 8 – прищлюзовая камера, 9 – фланец крепления к гидробаллистической трассе.

обработка полученных результатов позволяет скорректировать условия заряжания для достижения требуемых скоростей метаемых ударников. Ускорительный канал 1 гладкий без нарезов, он вкручивается в камеру заряжания. Конструкцией предусмотрено использование упорной резьбы и обтюрирующего медного кольца.

Эскиз размещения одного экземпляра малогабаритной метательной установки с длиной ускорительного канала 20 см в прищлюзовой камере гидробаллистического стенда приведен на рис. 4. Прищлюзовая камера в зависимости от цели исследований позволяет реализовать следующие варианты старта:

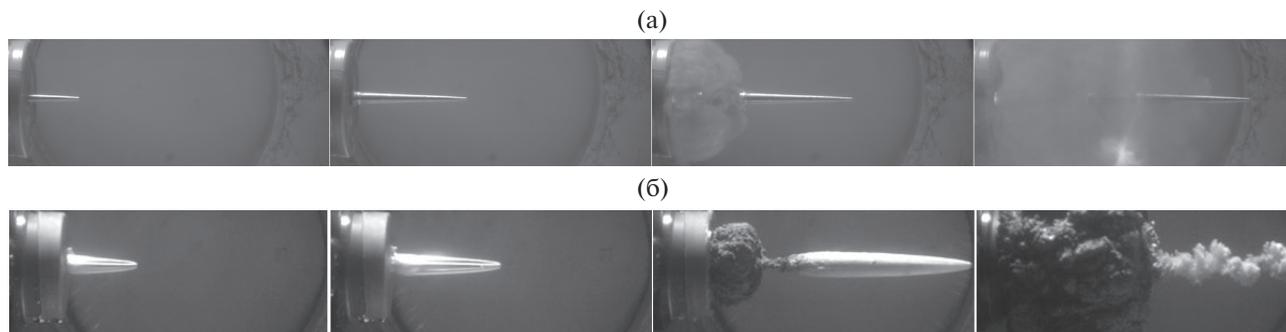
- метаемая сборка, включающая в себя подкалиберный ударник (ударники), выходя из ускорительного канала, попадает в воздушный участок, после чего метаемый ударник, освобождаясь от ведущих устройств, через съемный шлюз-разделитель переходит в трассу с водой;

- калиберный ударник после выхода из ускорительного канала проходит воздушный участок и, далее, попадает в трассу с водой;

- калиберный метаемый ударник, выходя из ускорительного канала, попадает непосредственно в трассу с водой (при этом воздушный участок заполнен водой).

В конце водного участка трассы суперкавитирующий ударник взаимодействует с мишенью и в случае ее пробития попадает в мишенный блок. Конструкция прищлюзовой камеры позволяет установить два экземпляра описанной малогабаритной метательной установки с расстоянием 200 мм между осями ускорительных каналов.

Малогабаритная метательная установка в комплекте с адаптированным гидробаллистическим стендом испытана для двух вариантов ударников: калиберного ударника, входящего в воду через воздушный участок, и калиберного ударника, непосредственно входящего в воду из ускорительного канала. Соответствующие фоторегистрограммы приведены на рис. 5. Конструкцией гидробаллистического стенда предусмотрена возможность использования фоторегистраторов с зеркальной разверткой, высокоскоростных видеокамер, импульсных осветителей и различного вспомогательного оборудования.



**Рис. 5.** Выход ударника из ускорительного канала метательной установки: со скоростью 372 м/с в воздушный участок (а); со скоростью 391 м/с в воду (б).

Выполненные эксперименты показали возможность старта ударников из состояния покоя с требуемой скоростью порядка 300–400 м/с при использовании малогабаритной метательной установки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено баллистическое проектирование нескольких вариантов метательных установок, позволившее выбрать длину ускорительного канала установки с учетом требования минимизации ее габаритов. Подтверждена возможность применения методов баллистического проектирования для минимизации габаритов метательных установок. С использованием малогабаритной метательной установки реализованы режимы входа в воду ударников непосредственно на срезе ускорительного канала и через воздушный участок.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-19-00233, <https://rscf.ru/project/19-19-00233/>

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ищенко А.Н., Афанасьева С.А., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Чупашев А.В.* // Письма в ЖТФ. 2019. Т. 45. Вып. 20. С. 47. <https://doi.org/10.1134/S1063785019100225>
2. *Ищенко А.Н., Буркин В.В., Касимов В.З., Афанасьева С.А., Дьячковский А.С., Рогаев К.С.* // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 2. С. 451. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02138-z>
3. *Ищенко А.Н., Афанасьева С.А., Бондарчук С.С., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Хабибуллин М.В., Чупашев А.В.* // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 3. С. 661. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02188-3>
4. *Афанасьева С.А., Бондарчук И.С., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Ищенко А.Н., Рогаев К.С., Саммель А.Ю., Сидоров А.Д., Степанов Е.Ю., Чупашев А.В.* // Инженерно-физический журнал. 2021. Т. 94. № 6. С. 1528. <https://doi.org/10.1007/s10891-021-02429-z>
5. *Буркин В.В., Дьячковский А.С., Ищенко А.Н., Скибина Н.П., Фарапонов В.В., Чупашев А.В.* // Инженерно-физический журнал. 2022. Т. 95. № 1. С. 115. <https://doi.org/10.1007/s10891-022-02459-1>
6. *Ищенко А.Н., Буркин В.В., Дьячковский А.С., Чупашев А.В., Саммель А.Ю., Рогаев К.С., Сидоров А.Д.* // Письма в ЖТФ. 2022. Т. 48. Вып. 1. С. 8. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2022.01.51870/18978>
7. *Буркин В.В., Ищенко А.Н., Майстренко И.В., Фуфацев В.М., Дьячковский А.С., Бураков В.А., Корольков Л.В., Степанов Е.Ю., Чупашев А.В., Рогаев К.С., Саммель А.Ю., Сидоров А.Д.* Патент на изобретение № 2683148 РФ, G01M 10/00 (2006.01), F41F 3/07 (2006.01) // Оpubл. 26.03.2019. Бюл. № 9.
8. *Хоменко Ю.П., Ищенко А.Н., Касимов В.З.* Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.