

Анализ стабильности начальной скорости полета дробин современных охотничьих и спортивных гладкоствольных патронов

С. А. Кондратьев¹, М. А. Кислин¹, А. Г. Дубровин¹, Н. А. Траулько¹, Н. А. Вихарева^{2}*

¹ АО «Новосибирский механический завод «Искра», г. Новосибирск, Российская Федерация

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: vihareva.nadeshda@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время проделана большая работа по совершенствованию охотничьих и спортивных гладкоствольных патронов. Большое внимание уделено увеличению скорости полета дробового снаряда без увеличения максимального давления пороховых газов при выстреле. В статье проведен анализ стабильности начальной скорости полета дроби современных охотничьих и спортивных гладкоствольных патронов.

Ключевые слова: охотничий и спортивный патрон, начальная скорость дробового снаряда, разброс начальной скорости дробового снаряда, пороховой заряд, погрешность дозирования порохового заряда, автоматическая линия снаряжения ОСП, стандартное отклонение

Analysis of stability of initial velocity of the shot of modern hunting and sports smoothbore cartridges

S. A. Kondratev¹, M. A. Kislin¹, A. G. Dubovin¹, N. A. Traulko¹, N. A. Vikhareva^{2}*

¹ JSC "Novosibirsk Mechanical Plant "Iskra", Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: vihareva.nadeshda@yandex.ru

Abstract. At present, a lot of work has been done to improve hunting and sports smoothbore cartridges. Much attention is paid to increasing the speed of the shot projectile without increasing the maximum pressure of the powder gases during the shot. The article analyzes the stability of the initial speed of the shot of modern hunting and sporting smoothbore cartridges.

Keywords: hunting and sporting cartridge, muzzle velocity of a shot shell, dispersion of muzzle velocity of a shot shell, powder charge, powder charge dosing error, automatic loading line of the OSB, standard deviation

Введение

Задача стрелка по поражению быстро движущихся целей (со скоростью до 35–48 м/с) охотничьих и спортивных патронов (ОСП) существенно облегчается с увеличением скорости полета дробового снаряда. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, с увеличением скорости полета дробового снаряда возможно уменьшить величину упреждения при стрельбе и, таким образом, повысить точность стрельбы. Во-вторых, большая скорость полета дробового снаряда уменьшает количество промахов в случаях, когда в момент выстрела цель начи-

нает маневрировать и уходит с предполагаемой траектории в момент выстрела. Например, в стендовой стрельбе при порывах ветра мишени часто изменяют траекторию.

Однако, необходимо не только повышение скорости полета дробового снаряда при выстреле, но и стабильность этой скорости в группе выстрелов (разброс скорости должен быть минимальным). Стрелок поражает мишень ОСП, который обеспечивает конкретную скорость полета дробового снаряда. Данное значение скорости может существенно отличаться от средней скорости в группе выстрелов, на которую (предполагаемую) при выборе упреждения рассчитывал стрелок.

Расчеты показывают, что:

- увеличение скорости полета дробового снаряда современного ОСП, имеющего среднюю скорость дробового снаряда 400 м/с, на 10% при стрельбе на круглом стенде (стрельба «Skeet») на дистанции 20 м приводит к возможности уменьшить упреждение на 17,5 см. При этом диаметр убойного круга дробового снаряда составляет 75 см, т.е. вероятность попадания летящей мишени в убойный круг увеличивается на 23%. Аналогично, если произойдет уменьшение скорости полета дробового снаряда на 10%, вероятность попадания уменьшится на эту же величину.

- увеличение скорости полета дробового снаряда на 10% при стрельбе на траншейном стенде (стрельба «Trap») на дистанции 40 м приводит к возможности стрелку поразить мишень на 0,01 секунды ранее. При скорости порыва ветра 15 м/с за это время мишень могла быть перемещена на 15 см. При этом диаметр убойного круга дробового снаряда составляет 75 см, т.е. вероятность попадания летящей мишени в убойный круг увеличивается на 20%. Аналогично, если произойдет уменьшение скорости полета дробового снаряда на 10%, вероятность попадания уменьшится на эту же величину.

Требования к мастеру спорта международного класса по стендовой стрельбе: 121 пораженная мишень из 125 возможных, т.е. надежность поражения должна составлять не менее 0,97. Поэтому увеличение вероятности поражения мишени на 20–23% очень актуально. Очень часто можно услышать от спортсменов требование, чтобы разброс начальной скорости дробового снаряда ОСП в группе выстрелов не превышал 10 м/с (2,5%). Возникает вопрос о технической возможности обеспечения этого требования.

Методы и материалы

В настоящее время распространено мнение о том, что для минимизации разброса скорости дробового снаряда при выстреле необходимо снаряжать ОСП с минимальным разбросом массы порохового заряда в патроне. Важно отметить, что для обеспечения снижения себестоимости ОСП снаряжаются на автоматических линиях высокой производительности, в которых применяется объемное дозирование пороха. Объемное дозирование пороха дает значительно меньшую точность дозирования, чем весовое дозирование.

Актуально исследовать влияние точности дозирования порохового заряда, выбора условий заряжания комплектующих на разброс скорости полета дробового снаряда.

В настоящее время имеется большой объем опытных данных по баллистике выстрела ОСП, снаряженных на современных автоматических линиях (например «Рамба 103,450» и «RAINBOW») с различными импортными комплектующими (капсюлированная гильза 12/70; порох; пыж-контейнер) и условиями заряжания ОСП. Общий вид ОСП (например, марки «Искра») приведен на рис.1. Баллистические испытания этих ОСП проводились на современной баллистической измерительной системе «Prototypa 2010/2269/E1», Чехия. При этом погрешность измерения начальной скорости полета дробового снаряда составляла не более $\pm 0,24\%$.



Рис. 1. Внешний вид охотничьих и спортивных патронов

Также с помощью постоянного контроля точности дозирования пороха на линиях «Рамба 103,450» и «RAINBOW» (через каждый час работы линии пять ОСП разснаряжались, и взвешивался пороховой заряд с точностью $\pm 0,001$ г) было определено:

1. Погрешность дозирования пороха «Aquila SV» (Италия) пороховым дозатором линии «Рамба 103,450» в течение трех дней практически не превосходила $\pm 0,006$ г.

2. Погрешность дозирования пороха «Aquila» (Италия) пороховым дозатором линии «RAINBOW» в течение трех дней практически не превосходила $\pm 0,015$ г.

3. Погрешность дозирования пороха «Теспа» (Италия) пороховым дозатором линии «RAINBOW» в течение трех дней практически не превосходила $\pm 0,033$ г.

На основании полученных данных видно, что точность дозирования пороха на автоматических линиях снаряжения зависит от марки применяемого пороха и от выбора марки линии. Линия «Рамба 103,450» имеет меньшую скорость снаряжения ОСП (2,5 тыс. шт. в час), чем линия «RAINBOW» (5 тыс. шт. в час). Это обеспечивает возможность пороху точнее и равномерней ссыпаться в дозатор линии.

Результаты

В дальнейшем был проведен следующий эксперимент: для исключения влияния разброса порохового заряда от порохового дозатора линии были снаряжены на линии «Рамба 103» различные группы ОСП комбинированным методом. Пороховой заряд пороха взвешивался вручную на электронных весах AR 1530 с погрешностью не более $\pm 0,001$ г, засыпался в капсулированные гильзы также вручную, минуя дозатор линии, и гильзы с порохом подавались на линию, которая вела дальше снаряжение ОСП в штатном режиме.

Результаты измерений и обработки результатов начальных скоростей дробового снаряда по 20 шт. ОСП от каждого типа патрона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений и обработки результатов начальных скоростей дробового снаряда

Тип ОСП	Масса и марка пороха		Масса дроби, г диаметр дроби, мм	Пыж-контейнер или пыж БК	Средняя начальная скорость/разброс скорости/стандартное отклонение, м/с
	масса, г	марка			
1	2	3	4	5	6
Спорт	1,235	Drago SV	24 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 26	396/11,9/3,36
Спорт	1,235	Aquila SV	24 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 26	405/10,1/2,78
Спорт	1,265	Drago SV	24 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 26	405/9,9/2,48
Спорт	1,265	Aquila SV	24 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 26	411/11,2/2,99
Спорт	1,355	Drago V	28 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 24	391/14,4/3,82
Спорт	1,355	Aquila V	28 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 24	390/17,8/4,42
Спортинг	1,385	Drago V	28 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 24	395/10,4/2,80
Спортинг	1,385	Aquila V	28 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 24	393/11,1/2,97
Охотничий	1,635	Drago	32 г Ø 3,50 мм	Пыж-контейнер Н 22	408/17,6/4,43

Тип ОСП	Масса и марка пороха		Масса дробь, г диаметр дробь, мм	Пыж-контейнер или пыж БК	Средняя начальная скорость/разброс скорости/стандартное отклонение, м/с
	масса, г	марка			
1	2	3	4	5	6
Охотничий	1,635	Aquila	32 г Ø 3,50 мм	Пыж-контейнер Н 22	412/12,0/2,98
Охотничий	1,665	Drago	32 г Ø 3,50 мм	Пыж-контейнер Н 22	414/12/3,01
Охотничий	1,665	Aquila	32 г Ø 3,50 мм	Пыж-контейнер Н 22	418/10,9/2,34
Охотничий	1,635	Drago	32 г Ø 3,50 мм	Пыж БК Free shot Н 20	405/14,4/4,4
Охотничий	1,635	Aquila	32 г Ø 3,50 мм	Пыж БК Free shot Н 20	411/11,7/2,99
Охотничий	1,665	Drago	32 г Ø 3,50 мм	Пыж БК Free shot Н 20	408/20,4/5,33
Охотничий	1,665	Aquila	32 г Ø 3,50 мм	Пыж БК Free shot Н 20	415/16,1/4,6
Охотничий Полумагнум	1,735	TECNA	40 г Ø 3,5 мм	Пыж-контейнер Н 13	383/14,5/14
Охотничий Полумагнум	1,765	TECNA	40 г Ø 3,5 мм	Пыж-контейнер Н 13	388/10,9/2,18
Охотничий Полумагнум	1,735	TECNA	40 г Ø 3,5 мм	Пыж Б Bior Н 18	377/14,6/3,35
Охотничий Полумагнум	1,765	TECNA	40 г Ø 3,5 мм	Пыж БК Bior Н 18	384/7,6/1,91

Примечание. Для каждого типа ОСП имеются два значения массы порохового заряда, отличающиеся на 0,030 г.

На основе данных, приведенных в табл. 1, были проведены расчеты для каждого типа патрона: изменения начальной скорости дробового снаряда, обусловленного изменением массы порохового заряда на 30 мг; максимального разброса начальной скорости в 99 % случаев с доверительной вероятностью 95 % (коэффициент толерантности, равный 3,3 для 20 выстрелов); максимального разброса начальной скорости в 95 % случаев с доверительной вероятностью 95 % (коэффициент толерантности, равный 2,4 для 20 выстрелов). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

При выполнении расчетов максимальных разбросов начальной скорости по правилам статистической обработки использовались значения коэффициентов толерантности, приведенные в ГОСТ Р 50530-2015. Из анализа данных, приведенных в табл. 2, видно, что на основе статистической обработки реально ожидаемые разбросы начальной скорости полета дробового снаряда значительно выше фактически полученных при ограниченном количестве испытаний в группе выстрелов и достигают величины 35 м/с (например, ОСП «Охотничий»

с порохом «Drago») в зависимости от типа патрона «Спорт», «Спортинг», «Охотничий» и «Охотничий Полумагнум».

Таблица 2

Результаты расчетов

Тип ОСП	Марка пороха	Максимальный разброс начальной скорости в 99% случаев с доверительной вероятностью 95 %, м/с	Максимальный разброс начальной скорости в 95% случаев с доверительной вероятностью 95 %, м/с	Изменение начальной скорости, обусловленное изменением массы порохового заряда на 0,030 г, м/с
Спорт	Drago SV	22,0	16	9
Спорт	Aquila SV	19,7	14,4	6
Спортинг	Drago V	25,2	18,3	4
Спортинг	Aquila V	29,2	21,2	3
Охотничий Полумагнум	Тесна	14,4	10,5	5
Охотничий Полумагнум	Тесна	22,0	16,0	7
Охотничий	Aquila	30,3	22,0	6
Охотничий	Aquila	19,7	14,3	4
Охотничий	Drago	35,0	25,6	3
Охотничий	Drago	29,2	21,3	6

При этом величина изменения начальной скорости полета дробового снаряда, обусловленная только изменением массы порохового заряда на 30 мг достигает величины до 9 м/с для ОСП «Спорт» и 7 м/с для ОСП «Охотничий Полумагнум». Данное обстоятельство говорит о том, что доля влияния погрешности дозирования пороха на автоматической снаряжательной линии «Рамба 103,450» в размере 30 мг в величине разброса начальной скорости дробового снаряда не является определяющей и составляет только определенную часть для каждого типа ОСП:

- для ОСП «Спорт» с порохом «Drago SV» – 41 %;
- для ОСП «Спорт» с порохом «Aquila SV» – 30 %;
- для ОСП «Спортинг» с порохом «Drago V» – 16 %;
- для ОСП «Спортинг» с порохом «Aquila V» – 10 %;
- для ОСП «Охотничий Полумагнум» с порохом «Тесна» – 32 %;
- для ОСП «Охотничий» с порохом «Aquila» – 20 %;
- для ОСП «Охотничий» с порохом «Drago» – 21 %;
- для ОСП «Охотничий» с порохом «Aquila» – 13 %;
- для ОСП «Охотничий» с порохом «Drago» – 9 %.

Наиболее значительно это влияние проявляется при снаряжении ОСП «Спорт». Поэтому при снаряжении ОСП «Спорт» на автоматических линиях необходимо очень тщательно следить за исправностью порохового дозатора и точностью его дозирования.

Достаточно высокая величина разброса начальной скорости дробового снаряда для всех типов ОСП обусловлена не только погрешностью дозирования пороха, но и другими факторами:

- нестабильностью баллистических показателей капсюля-воспламенителя;
- нестабильными геометрическими размерами пластмассовой гильзы и пластмассового пыжа БК (или пыжа-контейнера);
- нестабильными физико-механическими характеристиками пластмассовой гильзы и пластмассового пыжа БК (или пыжа-контейнера);
- разбросом массы дробового снаряда при объемном дозировании дроби на автоматической снаряжательной линии;
- нестабильностью сжатия порохового заряда при снаряжении ОСП на линии снаряжения и др.

Вклад этих факторов в разброс начальной скорости для определенных типов ОСП может достигать от 80% до 90 %.

Дополнительно было проведено контрольное снаряжение трех типов ОСП по 520 шт. каждого типа и баллистические испытания:

- на линии «Рамба 103» в автоматическом режиме снаряжены патроны «Спорт» 12/70;
- на линии «RAINBOW» в автоматическом режиме снаряжены патроны «Охотничий Полумагнум» 12/70;
- на линии «RAINBOW» в автоматическом режиме снаряжены патроны «Охотничий» 12/70.

Условия заряжания этих трех типов ОСП и результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Условия заряжания

Тип ОСП	Масса и марка пороха		Масса дроби, г диаметр дроби г/мм	Пыж-контейнер или пыж БК	Начальная скорость/разброс скорости, стандартное отклонение, м/с
	масса г	марка			
Спорт	1,25	Aquila SV	24 г Ø 2,40 мм	Пыж-контейнер Н 26	408/12,7/2,91
Охотничий Полумагнум	1,73	Тесна	40 г Ø 3,50 мм	Пыж-контейнер Н 13	387/10,2/2,93
Охотничий Полумагнум	1,73	Aquila	40 г Ø 3,25 мм	Б/К Н 20	400/16/4,69

На основе данных, приведенных в табл. 3, были проведены расчеты показателей:

- максимального разброса начальной скорости в 99% случаев с доверительной вероятностью 95% (коэффициент толерантности, равный 3,3 для 20 выстрелов);
- максимального разброса начальной скорости в 95% случаев с доверительной вероятностью 95% (коэффициент толерантности, равный 2,4 для 20 выстрелов), которые представлены табл. 4.

Результаты расчетов максимального разброса

Тип ОСП, тип автоматической линии снаряжения	Марка пороха	Максимальный разброс начальной скорости в 99% случаев с доверительной вероятностью 95%, м/с	Максимальный разброс начальной скорости в 95% случаев с доверительной вероятностью 95%, м/с
Спорт Линия «Рамба 103»	Aquila SV	19,2	14,0
Охотничий Линия «RAINBOW»	Aquila	31,0	22,5
Охотничий Полумагнум Линия «RAINBOW»	Тесна	19,3	14

Анализ данных, приведенных в табл. 4, показывает:

- для патрона «Спорт» 12/70 на порохе «Aquila SV», снаряженного на линии «Рамба 103», разброс начальной скорости дробового снаряда практически не изменяется и в случае использования точного взвешивания пороха вручную и доснаряжения на линии, и в случае использования только автоматической линии «Рамба 103». Максимальный разброс начальной скорости дробового снаряда в 99% случаев с доверительной вероятностью 95%, для данного патрона при снаряжении на линии «Рамба 103,450» составляет 19,2 м/с. Максимальный разброс начальной скорости дробового снаряда в 95% случаев с доверительной вероятностью 95% для данного патрона при снаряжении на линии «Рамба 103» составляет 14,0 м/с. Важно отметить, что погрешность дозирования пороха «Aquila SV» пороховым дозатором линии «Рамба 103» практически не превосходит $\pm 0,006$ г.

- для патрона «Охотничий» 12/70 на порохе «Aquila», снаряженного на линии «RAINBOW», разброс начальной скорости дробового снаряда практически не изменяется и при использовании точного взвешивания пороха вручную, и дальнейшего доснаряжения на линии и при использовании только автоматической линии «RAINBOW». Максимальный разброс начальной скорости дробового снаряда в 99% случаев с доверительной вероятностью 95% для данного ОСП при снаряжении на линии «RAINBOW» составляет 31 м/с. Максимальный разброс начальной скорости дробового снаряда в 95% случаев с доверительной вероятностью 95% для данного ОСП при снаряжении на линии «RAINBOW» составляет 22,5 м/с. Важно отметить, что погрешность дозирования пороха «Aquila» пороховым дозатором линии «RAINBOW» практически не превосходит $\pm 0,015$ г.

- для патрона «Охотничий Полумагнум» 12/70 на порохе «Тесна», снаряженного на линии «RAINBOW», разброс начальной скорости дробового снаряда изменяется на 34 %, или при использовании точного взвешивания пороха вручную, или при использовании автоматической линии «RAINBOW». Максимальный разброс начальной скорости дробового снаряда в 99% случаев с доверительной вероятностью 95% для данного патрона при снаряжении на линии «RAINBOW» составляет 19,3 м/с. Максимальный разброс начальной скорости дробового сна-

ряда в 95% случаев с доверительной вероятностью 95% для данного патрона при снаряжении на линии «RAINBOW» составляет 14,0 м/с. Важно отметить, что погрешность дозирования пороха «Теспа» пороховым дозатором линии «RAINBOW» значительно выше, чем для пороха Aquila и практически составляет $\pm 0,033$ г.

Заключение

1. Проведенные экспериментальные работы и расчеты показали:

– погрешность дозирования пороха в пределах 30 мг при снаряжении ОСП на автоматических линиях во многих случаях не является определяющей в разбросе начальной скорости дробового снаряда;

– погрешность дозирования пороха Aquila SV и Aquila при снаряжении на автоматических линиях «Рамба 103,450» и «RAINBOW» на основе данных практически составляет $\pm 0,015$ г;

– погрешность дозирования пороха «Теспа» при снаряжении на автоматических линиях «Рамба 103,450» и «RAINBOW» практически составляет $\pm 0,033$ г. Однако в связи с тем, что порох «Теспа» применяется для снаряжения патрона «Охотничий Полумагнум» с навеской дроби 40 г, такая погрешность не является критичной;

– результаты анализа величин максимального разброса начальной скорости дробового снаряда ОСП помогут охотникам и спортсменами при выборе ОСП (и производителя этих ОСП) с высокой стабильностью начальной скорости дробового снаряда, которая является важнейшим фактором надежного поражения быстро движущихся целей.

2. Проведенные исследования подтверждают принципиальную возможность снаряжения патронов «Спорт» 12/70 на автоматических линиях (например, с порохами: «Drago SV» или «Aquila SV») с разбросом начальной скорости полета дробового снаряда на уровне 15 м/с (т.е. $\pm 1,9\%$ при средней начальной скорости 400 м/с) в 95% случаев с доверительной вероятностью 95%. Если спортсмену во время стрельбы попадет патрон с начальной скоростью на 1,9% ниже им предполагаемой (400 м/с), то ошибка в упреждении на круглом стенде может составить 3,5 см. При этом диаметр убойного круга дробового снаряда составляет 75 см, т.е. вероятность попадания летящей мишени в убойный круг уменьшится на 5%. Значит, этот фактор понижения надежности поражения мишени для большинства охотников и спортсменов не будет критичным, так как и сам разброс скорости полета дробового снаряда (15 м/с) определен с такой же достоверностью. Однако, например, для мастера спорта международного класса этот фактор будет критичным.

Если спортсмену во время стрельбы на траншейном стенде на дистанции 40 м попадет патрон с начальной скоростью на 1,9% ниже им предполагаемой (400 м/с), то дробовой снаряд долетит до мишени на 0,002 секунды позже. При скорости порыва ветра 15 м/с за это время мишень переместится на 3 см. При этом диаметр убойного круга дробового снаряда составляет 75 см, т.е. вероят-

ность попадания летящей мишени в убойный круг уменьшится на 4%. Значит, этот фактор понижения надежности поражения мишени для большинства охотников и спортсменов не будет критичным, так как и сам разброс скорости полета дробового снаряда (15 см) определен с такой же достоверностью. Однако, например, для мастера спорта международного класса этот фактор будет критичным.

3. Проведенные исследования подтверждают принципиальную возможность снаряжения патронов «Охотничий» 12/70 на автоматических линиях (например, с порохом «Aquila») с разбросом начальной скорости дробового снаряда на уровне 22 м/с (т.е. $\pm 2,7\%$ при средней начальной скорости 410 м/с) в 95% случаев с доверительной вероятностью 95 %.

4. Проведенные исследования подтверждают принципиальную возможность снаряжения патронов «Охотничий Полумагнум» 12/70 на автоматических линиях (например, с порохом «Теспа») с разбросом начальной скорости дробового снаряда на уровне 14 м/с (т.е. $\pm 1,8\%$ при средней начальной скорости 390 м/с) в 95% случаев с доверительной вероятностью 95%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дегтярев М.Е. Сверхскорость. Высокоскоростные пулевые патроны «Искра-М» для гладкого ствола / Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. – 2014. – № 4. – С. 62–67.
2. Норейка Р.М. Сверхкучность / Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. – 2014. – № 8. – С. 30–35.
3. Кислин М.А. В погоне за скоростью. Модернизация патронов для стрелкового оружия / Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. – 2015. – № 5. – С. 70–73.
4. Айрапетян В.С, Кислин М.А. Модернизация патронов для стрелкового оружия / Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 8. – С. 41–53.
5. Норейка Р.М. Сверхрезкость. Стрелковое тестирование нового серийного высокоскоростного патрона «Искра-М» Новосибирского механического завода / Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. – 2014. – № 10. – С. 54–57.
6. Кислин М.А. Высокоскоростной патрон с разделенным пороховым зарядом «Искра-М» / Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение. – 2011. – № 3. – С. 11.
7. Вандакуров А.Н., Гуськов А.В., Кислин М.А., Милевский К.Е., Шальнев В.А. Экспериментальное и теоретическое исследование внутренней баллистики выстрелов с разделением порохового заряда / Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: сб. тр. 9 Всерос. науч. конф., посвящ. 55-летию полета Ю. А. Гагарина, Томск, 21–25 окт. 2016 г. – Томск : Изд-во НИИ ПММ ТГУ, 2016. – С. 161–162. – ISBN 978-5-94621-334-8.
8. Кислин М.А., Хрубилова Е.М. Перспективы ОСП с разделенным пороховым зарядом / Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 5, ч.3. – С. 86–91.

© С. А. Кондратьев, М. А. Кислин, А. Г. Дубровин, Н. А. Траулько, Н. А. Вихарева, 2022