

**Н. В. Маиевский**

# **Курс внешней баллистики**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 93  
ББК 63.3  
Н11

Н11 **Н. В. Маиевский**  
Курс внешней баллистики / Н. В. Маиевский – М.: Книга по Требованию, 2021. –  
728 с.

**ISBN 978-5-518-10534-8**

**ISBN 978-5-518-10534-8**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Съ давняго времени знаменитые математики и весьма опытные практики занимались изслѣдованіемъ движенія артиллерійскихъ снарядовъ. Галилей доказалъ, что кривая описываемая снарядами была-бы парабола, если-бы не было сопротивленія воздуха. Нютонъ, Эйлеръ, Лежандръ и другіе математики занимались рѣшеніемъ баллистическаго вопроса при предположеніи сопротивленія воздуха пропорціональнымъ квадрату скорости. Иванъ Бернулли привелъ къ квадратурамъ баллистическій вопросъ при предположеніи сопротивленія воздуха пропорціональнымъ  $n$ -й степени скорости, и впоследствии было показано, что это приведеніе также возможно при выраженіи сопротивленія двучленомъ, въ которомъ первый членъ не зависитъ отъ скорости, а второй пропорціоналенъ  $n$ -й степени скорости. Движеніе снаряда разсматривали какъ движеніе матеріальной точки, на которую дѣйствуютъ сила тяжести и сопротивленіе воздуха прямопротивоположное направленію движенія, что совершенно справедливо для сферическихъ снарядовъ, если центръ ихъ тяжести совпадаетъ съ цент-

ромъ фигуры и если они, при вылетѣ изъ канала орудія, не получаютъ вращательнаго движенія.

Пуассонъ изслѣдовалъ движеніе сферическаго вращающагося снаряда въ случаѣ когда его центръ тяжести совпадаетъ съ центромъ фигуры и въ случаѣ малаго эксцентриситета. Остроградскій предпринялъ, но не окончилъ изысканія по тому же предмету, при какой бы ни было величинѣ эксцентриситета сферическихъ снарядовъ. Оба геометра рассматривали сопротивленіе какъ состоящее изъ двухъ частей: одной нормальной къ элементамъ поверхности, составляющей собственно сопротивленіе, и другой перпендикулярной къ этимъ элементамъ, составляющей треніе, при чемъ первую часть сопротивленія принимали пропорціональною квадрату скорости. Они не брали въ расчетъ увеличеніе давленія воздуха на нѣкоторыя части снаряда и уменьшеніе давленія на другія, происходящія, какъ показали въ послѣдствіи опыты Магнуса, отъ совокупности поступательнаго и вращательнаго движеній, когда послѣднее имѣетъ мѣсто вокругъ оси удаленной отъ направленія поступательнаго движенія, и чрезъ это Пуассонъ пришелъ къ результатамъ прямопротивоположнымъ тѣмъ, которые получаютъ при стрѣльбѣ. Остроградскій, за неимѣніемъ численныхъ коэффициентовъ, относящихся къ тренію воздуха о поверхность снаряда, не предпринялъ интегрированія приведенныхъ имъ дифференціальныхъ уравненій движенія для сферическаго неоднороднаго снаряда.

Сопротивленіе воздуха движенію тѣлъ, какъ показали опыты, при скоростяхъ употребляемыхъ при стрѣльбѣ,

возрастаетъ быстрѣе чѣмъ квадратъ скорости, и потому изслѣдованія надъ движеніемъ сферическихъ снарядовъ, при предположеніи сопротивленія воздуха пропорціональнымъ квадрату скорости, не могли привести къ формуламъ, которыя бы выражали, во всѣхъ случаяхъ, съ достаточною точностью результаты стрѣльбы.

Первый полный курсъ высшей баллистики, основанный на выраженіи сопротивленія воздуха двучленомъ, въ которомъ первый членъ пропорціоналенъ квадрату скорости, а второй членъ высшей степени скорости, именно третьей, былъ составленъ французской артиллеріи генераломъ Дидіономъ и изданъ имъ въ 1847 году. Этотъ курсъ, превосходный по своему плану и выполненію, былъ принятъ за исходную точку, при чтеніи нами съ 1858 г. баллистики въ михайловской артиллерійской академіи и значительно облегчилъ составленіе издаваемого нынѣ курса. \*)

Нашъ курсъ раздѣленъ на двѣнадцать главъ. Въ оглавленіи помѣщено подробное содержаніе каждой главы. Здѣсь-же постараемся указать на источники, изъ которыхъ мы заимствовали матерьялы и на собственныя наши изслѣдованія.

Въ первой главѣ изложены способы измѣренія скоростей снарядовъ и временъ ихъ полета. Описаніе при-

---

\*) На русскомъ языкѣ имѣется по настоящее время одинъ курсъ баллистики, изданный В. А. Анкудовичемъ въ 1836 году. Въ немъ разсматривается движеніе въ воздухѣ однихъ сферическихъ невращающихся снарядовъ, въ предположеніи закона сопротивленія воздуха пропорціональнаго квадрату скорости снаряда.

боровъ употреблявшихся для измѣренія скоростей, до примѣненія электричества, заимствовано изъ курса г. Дидіона. Описаніе электрическихъ хронографа и клепсида г. Ле-Буланже составлено по изданнымъ имъ мемуарамъ; но при описаніи клепсида мы помѣстили болѣе точный способъ вычисленія таблицы временъ, соответствующихъ различнымъ вѣсамъ вытекающей изъ клепсида ртути. Степень точности измѣряемыхъ хронографомъ скоростей и клепсидромъ полныхъ временъ полета выведена нами. Приведенныя начальныя скорости нашихъ снарядовъ суть результаты опытовъ произведенныхъ нами на Волковомъ полѣ.

Вторая глава содержитъ законы движенія снарядовъ въ пустотѣ. Изложеніе этихъ законовъ заимствовано изъ курса г. Дидіона; но къ этому мы сочли полезнымъ прибавить приложеніе формулъ параболическаго движенія къ рѣшенію разныхъ вопросовъ относящихся до стрѣльбы, при помощи таблицъ стрѣльбы.

Въ третьей главѣ разсмотрѣно сопротивленіе воздуха движенію тѣлъ и въ особенности артиллерійскихъ снарядовъ. Сдѣланныя въ послѣднее время гипотезы о молекулярномъ движеніи частицъ газовъ еще слишкомъ мало развиты, для того чтобы нынѣ могли привести къ достаточно точному рѣшенію вопроса о сопротивленіи воздуха движенію артиллерійскихъ снарядовъ. Такъ какъ всѣ теоретическія изысканія по этому предмету не выражаютъ съ достаточноымъ приближеніемъ результатовъ непосредственныхъ опытовъ, то мы ограничились обыкновенно излагаемымъ выводомъ сопротивленія воздуха, вы-

текающимъ изъ разсмотрѣнія удара о воздухъ, предполагаемый въ покоѣ, тѣла, которому сообщена известная поступательная скорость, — выводомъ имѣющимъ на своей сторонѣ простоту и дающимъ возможность судить о зависимости сопротивленій на тѣла вращенія отъ угловъ составляемыхъ осями ихъ фигуръ съ направлениемъ движенія. Самый выводъ наклоннаго сопротивленія воздуха на поверхность вращенія заимствованъ въ основаніяхъ изъ *Etudes sur la trajectoire que décrivent les projectiles oblongs par le comte de St. Robert. 1860.*

Описаніе опытовъ надъ сопротивленіемъ воздуха движенію тѣлъ при небольшихъ скоростяхъ, а также опытовъ произведенныхъ до 1840 года надъ сопротивленіемъ воздуха движенію артиллерійскихъ снарядовъ заимствовано изъ курса г. Дидіона. Результаты опытовъ произведенныхъ Башфортомъ въ Англіи надъ продолговатыми снарядами выведены изъ данныхъ помѣщенныхъ въ *Proceedings of the Royal Artillery Institution, Woolwich. 1868.* Петербургскіе опыты надъ сопротивленіемъ воздуха движенію сферическихъ и продолговатыхъ снарядовъ произведены нами въ 1868 и 1869 годахъ и подробные ихъ результаты въ первый разъ помѣщаются въ издаваемомъ курсѣ. Для того чтобы выраженія сопротивленія представляли съ достаточнымъ приближеніемъ результаты нашихъ и англійскихъ опытовъ, произведенныхъ усовершенствованными въ послѣднее время приборами, и вмѣстѣ съ тѣмъ позволяли, хотя по приближенію, удобное интегрированіе дифференціальныхъ уравненій движенія, мы для

*сферическихъ снарядовъ*, въ предѣлахъ скоростей отъ 530 метровъ до 376 метровъ, приняли сопротивленіе воздуха пропорціональнымъ квадрату скорости, а отъ скорости 376 метровъ до малыхъ скоростей употребляемыхъ при стрѣльбѣ, выразили сопротивленіе воздуха двучленомъ, въ которомъ первый членъ пропорціоналенъ квадрату скорости, а второй пропорціоналенъ четвертой степени скорости; *для продолговатыхъ снарядовъ*, когда ихъ ось фигуры совпадаетъ съ направлениемъ движенія, въ предѣлахъ скоростей отъ 510<sup>м</sup> до 360<sup>м</sup>, приняли сопротивленіе воздуха пропорціональнымъ квадрату скорости, въ предѣлахъ скоростей отъ 360<sup>м</sup> до 280<sup>м</sup>, приняли сопротивленіе пропорціональнымъ шестой степени скорости, а отъ скорости въ 280<sup>м</sup> до малыхъ скоростей, выразили сопротивленіе воздуха двучленомъ, въ которомъ первый членъ пропорціоналенъ квадрату скорости, а второй четвертой степени скорости, и замѣтили, что послѣднее выраженіе сопротивленія можно употреблять даже отъ скорости 325<sup>м</sup> до малыхъ скоростей, чрезъ что упрощается рѣшеніе вопросовъ стрѣльбы изъ всѣхъ имѣющихся у насъ нынѣ пушекъ сухопутныхъ крѣпостей, осадной и полевой артиллеріи, сообщающихъ снарядамъ начальныя скорости меньшія 325 метровъ. За неимѣніемъ достаточно точнаго рѣшенія вопроса о зависимости сопротивленія воздуха на продолговатые снаряды отъ угла составляемаго осью ихъ фигуры съ направлениемъ движенія, мы, по необходимости, приняли для выраженія этой зависимости формулы полученныя при допущеніи, что нормальное сопротивленіе воздуха на

каждый элемент поверхности подверженный сопротивленію происходитъ отъ удара этого элемента о воздухъ предполагаемый въ покоѣ.

Глава четвертая заключаетъ изслѣдованія движенія сферическихъ не вращающихся снарядовъ въ воздухѣ. Въ ней выведены дифференціальныя уравненія движенія независимо отъ какой либо гипотезы на счетъ сопротивленія воздуха, и показанъ способъ находить, по данной кривой полета, скорость сваряда въ каждой точкѣ траекторіи и соотвѣтствующее сопротивленіе воздуха. Изложеніе это заимствовано изъ мемуара графа С. Роберта *Du mouvement des projectiles dans les milieux résistants* 1859. Свойства траекторіи сферическаго невращающагося снаряда въ воздухѣ разобраны согласно упомянутому мемуару г. С. Роберта, не дѣлая частныхъ предположеній о сопротивленіи, при одномъ допущеніи, что сопротивленіе воздуха возрастаетъ со скоростью, обращается въ безконечность при безконечной скорости и менѣе вѣса снаряда при безконечно малой скорости. Приведеніе уравненій движенія къ квадратурамъ сдѣлано въ предположеніи сопротивленія пропорціональнаго  $n$ -й степени скорости и, по найденнымъ формуламъ, выведены условія подобія траекторій сферическихъ невращающихся снарядовъ. Конечныя точныя уравненія движенія получены при предположеніи сопротивленія воздуха пропорціональнымъ первой степени скорости. Приближенный способъ интегрированія дифференціальныхъ уравненій движенія, для всѣхъ выраженій сопротивленія найденныхъ изъ результатовъ нашихъ опы-

товъ, основанъ на способъ принятомъ г. Дидіономъ замѣнять, въ рассматриваемой части траекторіи, переменное отношеніе элемента дуги къ ея горизонтальной проекціи нѣкоторымъ среднимъ значеніемъ этого отношенія, а самый ходъ интегрированія заимствованъ изъ мемуара г. С. Роберта *Du mouvement des projectiles dans les milieux résistants* 1859. Для функцій, которыми полученныя такимъ образомъ конечныя уравненія движенія отличаются отъ уравненій движенія въ пустотѣ, приложены къ курсу таблицы; изъ нихъ таблицы функцій  $e^z$ ,  $F_1(z)$  и  $F(z)$  перепечатаны изъ курса г. Дидіона, а остальные, какъ соотвѣтствующія выраженія сопротивленія не рассмотрѣннымъ г. Дидіономъ, составлены подъ нашимъ руководствомъ.

Въ главѣ пятой изложено рѣшеніе вопросовъ относящихся до стрѣльбы сферическими невращающимися снарядами, основанное на выведенныхъ нами выраженіяхъ сопротивленія воздуха. При рѣшеніи вопросовъ прицѣльной стрѣльбы большими зарядами намъ приходится разбивать траекторію на части; но вычисленія много сокращаются отъ допущенія, что, при углахъ бросанія употребляемыхъ при прицѣльной стрѣльбѣ, вертикальныя разстоянія точекъ траекторіи до касательной въ точкѣ вылета не зависятъ отъ угловъ бросанія. Это допущеніе и опредѣленіе предѣловъ ошибокъ отъ него происходящихъ заимствованы изъ мемуара графа С. Роберта *Del tiro*. 1857.

Въ главѣ шестой рассматриваются отклоненія сферическихъ снарядовъ и траекторія сферическихъ эксцен-

трическихъ снарядовъ. Въ ней приведены формулы для вычисленія величинъ отклоненій происходящихъ отъ различныхъ причинъ, причеъ ходъ вычисленія отклоненія отъ вѣтра заимствованъ изъ курса г. Дидіона. При разсмотрѣнн траекторіи сферическихъ эксцентрическихъ снарядовъ изложенъ способъ вычисленія угловой скорости снаряда при вылетѣ его изъ канала орудія. Для полученія достаточно точныхъ уравненій движенія этихъ снарядовъ мы сдѣлали попытку выразить, въ функціи поступательной скорости, при данной угловой скорости, отклоняющую силу происходящую отъ совокупности ихъ поступательнаго и вращательнаго движеній, на основаніи результатовъ стрѣльбы произведенной въ Пруссіи изъ 12 ф. пушки эксцентрическими гранатами. По неимѣнію результатовъ стрѣльбы различными зарядами, сообщающими эксцентрическимъ снарядамъ различныя угловыя скорости, мы не могли выразить эту отклоняющую силу въ функціи угловой и поступательной скоростей.

Глава седьмая заключаетъ изслѣдованія движенія продолговатыхъ снарядовъ въ воздухѣ. До сихъ поръ существуетъ весьма мало научныхъ изысканій по этому предмету. Исходною точкою для нашихъ изслѣдованій послужили мемуары графа С. Роберта *Etudes sur la trajectoire que décrivent les projectiles oblongs 1859 et 1860.* \*)

---

\*) Въ номерѣ отъ 22 Ноября 1869 года, *Comptes rendus des séances de l'académie des sciences de Paris*, профессоръ алжирскаго лиція Готье сообщаетъ, что онъ представилъ академіи мемуаръ о движеніи продолговатыхъ снарядовъ въ воздухѣ, до сихъ поръ, сколько намъ извѣстно, еще не напечатанный. Въ *Annales scientifiques de l'école normale*

Графъ С. Робертъ, по выводѣ геометрическимъ путемъ выраженія угловой скорости оси фигуры снаряда вокругъ касательной, принимая ее за неподвижную и пару сопротивленія воздуха за постоянную, указываетъ формулы для вычисленія траекторіи снаряда, разбивая ее на части, соотвѣтствующія малымъ промежуткамъ времени, въ продолженіи которыхъ можно было-бы принимать, что ось снаряда движется параллельно самой себѣ въ пространствѣ, и поворачивал, послѣ каждаго промежутка времени, ось фигуры вокругъ касательной на уголъ соотвѣтствующій разсмотрѣнному промежутку. Мы вывели угловую скорость оси фигуры снаряда вокругъ касательной, принимая ее за неподвижную ось и считая пару сопротивленія воздуха постоянною, чрезъ интегрированіе общихъ дифференціальныхъ уравненій Эйлера вращательнаго движенія твердаго тѣла и въ статьѣ нашей о вліяніи вращательнаго движенія на полетъ артиллерійскихъ снарядовъ 1865 г. вычислили траекторію продолговатаго снаряда путемъ указаннымъ графомъ С. Робертомъ; но для того чтобы этимъ способомъ получить достаточно точные результаты необходимо было-бы разбить траекторію на весьма большое

---

supérieure за 1868 годъ помѣщена статья этого-же автора, по тому же предмету, весьма замѣчательная въ аналитическомъ отношеніи; по въ ней сдѣланы нѣкоторыя гипотезы относительно сопротивленія воздуха, которыя не имѣютъ мѣста въ дѣйствительности. По отзыву автора эти затрудненія устранены въ повомъ его трудѣ. Тѣ заключенія, въ которыхымъ приходитъ г. Готье въ своемъ послѣднемъ неизданномъ мемуарѣ, какъ видно изъ его сообщенія парижской академіи наукъ, не противорѣчатъ полученнымъ нами результатамъ.