

К.Э. Циолковский

Избранные труды

Книга 2

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
К11

К11 **К.Э. Циолковский**
Избранные труды: Книга 2 / К.Э. Циолковский – М.: Книга по Требованию,
2013. – 215 с.

ISBN 978-5-458-60537-3

ISBN 978-5-458-60537-3

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

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 первозданном 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.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

Предисловие редактора

Настоящий сборник работ нашего известного ученого Константина Эдуардовича Циолковского обнимает восемь фундаментальных работ его, относящихся к реактивному движению и межпланетным сообщениям:

1. „Ракета в космическое пространство“; впервые появилась в 1903 г. в журнале „Научное обозрение“ № 5, причем заглавие первого издания было иным, а именно — „Исследование мировых пространств реактивными приборами“. Вторично вышла в 1924 г. отдельной книгой.

2. „Исследование мировых пространств реактивными приборами“. Эта работа появилась под этим заглавием отдельной книгой в 1926 г. и аналогична первой; но текст, а также вычисленные автором таблицы отличаются друг от друга¹.

3. „Космическая ракета. Опытная подготовка“, изд. 1927 г., Калуга. В этом труде автор часто ссылается на формулы и выводы, помещенные в „Исследованиях“, 1928 г.

4. „Ракетные космические поезда“, изд. 1929 г., Калуга.

5. „Новый аэроплан“, изд. 1929 г., Калуга.

6. „Давление на плоскость при ее нормальном движении в воздухе“, изд. 1929 г., Калуга.

7. „Реактивный аэроплан“, изд. 1930 г., Калуга.

8. „Стратоплан полуреактивный“, изд. 1932 г., Калуга.

В своих книгах К. Э. Циолковский — первый в мире — дает расчеты, при помощи которых определяется полет ракеты, ее расход горючего для получения заданной скорости полета при различных условиях, а также ее коэффициенты полезного действия как термический, так и механический.

Циолковский принадлежит к числу тех людей, которые своей любовью к делу и проницательностью ума нашли новое в области, в которой люди науки еще мало сделали по выявлению имеющихся практических возможностей. В научных трудах жизнь на других планетах рисовалась в обстановке настолько необычной, что в ней даже трудно было представить себе существование

¹ Циолковский пишет в приложении к книге: „Космическая ракета. Опытная подготовка“ „... на обложке, по моей рассеянности, осталась записка, что работа эта есть перепечатка трудов 1903—1911 гг. У меня, сначала и было такое намерение, но я его потом изменил: все переработал, а на переработку старого нехватило средств и потому напечатать пришлось почти одно только новое“.

человека. Писатели-беллетристы описывали лишь такие методы полета, которые для фактических полетов в мировое пространство пригодны не были, хотя ряд их указал на ракету как на средство полета на луну.

Так, например, французский литератор Савиньен де-Сирано, известный под именем Сирано де Бержерак, уже в 1649 г. в своем сочинении „Путешествие на луну“ описывает прибор, похожий на летающего дракона; на этот прибор солдаты поместили на разных этажах по шесть ракет, при помощи которых Сирано якобы поднялся на огромную высоту.

Пользуется ракетами для изменения пути полета снаряда в межпланетном пространстве также и известный французский писатель Жюль Верн в своем сочинении „Путешествие на луну“.

Но Циолковский был первым, который дал в собранных здесь трудах строго научное обоснование данному вопросу.

Полученный еще в детстве органический недостаток (глухота) отразился в дальнейшем на всей его жизни и деятельности, заставив его уединяться и разрабатывать многие научные вопросы самостоятельно, без помощи современных ему научных дисциплин. Эта самобытность, оторванность от современной ему технической мысли оставили свой след и на трудах Циолковского, и на форме и содержании их. Так, в своих трудах Циолковский для обозначения длины и веса (m , kg) применяет одно выражение: „кило“. В статье „Давление на плоскость“ выпущен абзац 46, на стр. 8 оригинала, так как здесь сделан ошибочный вывод, что величина¹, равная по общепринятым обозначениям $1 : (k - 1)$, где k — показатель степени адиабаты, пропорциональна абсолютной температуре и обратно пропорциональна абсолютному давлению. Затем на стр. 8 труда „Реактивный аэроплан“ Циолковский не умножил работу получения 1 m^3 сжатого воздуха на расход воздуха, требуемый для 1 kg горючего, что приводит к неправильному выводу относительно возможности сжатия воздуха компрессором до огромных давлений. Здесь были произведены соответствующие исправления, были внесены исправления и в ряд числовых данных таблиц. Наконец, Циолковский, приняв определенное решение по ряду вопросов, не рассчитывает до конца предложенной конструкции, хотя указывает, что только после окончательного расчета можно определить, каким образом эта конструкция может быть технически оформлена. В результате предложенные им конструкции имеют ограниченную область применения. Так, во всех книгах предполагается, что температура газов около конца раструба сопла настолько низка, что можно этим холодом воспользоваться для охлаждения воздуха, сжимаемого в нагнетателе. Однако этот холод, во-первых, может получиться только при определенных условиях, главным образом, при больших начальных или весьма низких конечных давлениях, а, во-вторых, при предложенном методе теплота сообщается продуктам сгорания, расширяющимся в сопле при

¹ У Циолковского эта величина обозначена буквой A .

весьма низком давлении их, вследствие чего при окончательном расширении к концу сопла весьма мало тепла превращается в кинетическую энергию движения продуктов сгорания, как это детальнее показано мною в соответствующем примечании.

Расчет нагнетателя, данный Циолковским, неполон. В труде „Сжиматель газов“, 1931 г., даны интересные, более полные расчеты. Но большие трудности будет представлять конструктивное выполнение весьма мощных приспособлений для охлаждения, требуемых при многоступенчатом сжатии. Здесь не хватает расчетов.

В конце статьи „Давление на плоскость“ Циолковский дает таблицу допустимых скоростей полета, не помещая расчета, который его привел к этим скоростям.

В труде „Полуреактивный аэроплан“ Циолковский не дает доказательства того, что при увеличенной скорости полета полученная реакция будет достаточной величины для полета. Полет будет возможен лишь при достаточной величине запаса мощности двигателя. Хотя в статье „Реактивный аэроплан“ и описывается аэроплан с большим двигателем, сжимающим воздух для горения в ракете, но работа сжатия вследствие вышеуказанной ошибки Циолковского, должна быть приблизительно в 11 раз больше, чем им вычисленная. Все же в известных пределах конструкция аэроплана может найти применение.

Для схемы реактивного аэроплана Циолковского требуется доказательство того, что форма предложенного им аэроплана с аэродинамической точки зрения выгодна настолько, чтобы вместе с преимуществами легкости и простоты конструкции давать выгодный результат. В общем, это предложение весьма интересно.

В книге „Исследование мировых пространств“ на стр. 75 нашего сборника в выражении для дифференциала работы сопротивления атмосферы Циолковским был пропущен множитель x , вследствие чего интеграл работы получился неправильный и с двумя неизвестными, между тем как должен получиться более простой интеграл с одним неизвестным. Соответствующие места на последующих страницах мною были исправлены, и табл. 10 на стр. 78, относительно остающейся работы сопротивления атмосферы, соответствующим образом изменена.

Циолковский приходит в своих книгах „Ракета в космическое пространство“ и „Исследования мировых пространств“ к выводу, что имеется определенный наиболее выгодный угол полета. В книге же проф. Оберта „Пути к космическому полету“ („Wege zur Raumschiffahrt“) 1928 г. имеется иной вывод, согласно которому для свободно летающей ракеты наиболее выгодным является вертикальный подъем, а для пассажирской ракеты — подъем по особой кривой, называемой им синергической. Но оба результата не противоречат друг другу ввиду того, что у Циолковского предполагается ускорение ракеты постоянным, заданным, а Оберт берет для свободно летающей ракеты переменное ускорение, именно такое, при котором в каждый момент на данной высоте подъема и при данном расходе горючего скорость уве-

личивается больше всего; другими словами, он определяет наиболее выгодную скорость полета. Для пассажирской же ракеты Оберт принимает также определенное максимальное для людей ускорение. Циолковский вычисляет всю работу для подъема и для преодоления сопротивления атмосферы, и получает, таким образом, средний, наиболее выгодный уклон при пролете всей атмосферы. Оберт вычисляет наиболее выгодный уклон полета для всякого момента и поэтому получает для траектории кривую линию.

Особенностью книг Циолковского, затрудняющей легкое чтение их, является то обстоятельство, что вследствие нехватки в Калужской типографии латинского шрифта и математических символов все обозначения математических величин представляли сокращения соответствующих слов, причем сокращения состояли из 2—3 русских букв. Так, например, для ускорения ядра было введено обозначение Уя, для длины пушки — Дп, для относительной тяжести — То, и т. д. Все эти обозначения были в издаваемом сборнике заменены общепринятыми. В книге „Ракета в космическое пространство“ и в начале „Исследований мировых пространств“, где были применены в формулах латинские буквы, последние были оставлены без изменений.

В книге „Ракета в космическое пространство“ чертеж ракеты, помещенный на стр. 6, был заменен чертежом, составленным самим Циолковским и помещенным в книжке Я. Перельмана „Межпланетные путешествия“, а также в книге Н. А. Рынина „Межпланетные сообщения, К. Э. Циолковский, его жизнь, работы и ракеты“, стр. 41. Это было сделано ввиду того, что сам Циолковский при развитии своих работ отказался от извилин, которые имелись на замененном чертеже и которые должны были служить взамен гироскопа для получения устойчивого полета ракеты.

В книге „Космическая ракета. Опытная подготовка“ выпущен абзац, в котором Циолковский развивает неполно правильную мысль об определенной постоянной температуре диссоциации и о том, что температура горения водорода меньше температуры горения углерода.

Вопросы о жизни в межпланетном корабле и о плане работ для создания межпланетного корабля в настоящем сборнике оставлены лишь частично.

Работы Циолковского очень многогранны, и ввиду того, что он печатал в общем труды небольшого объема (за исключением книги „Исследования мировых пространств“, объем которой составляет пять печатных листов), в отдельных местах содержится весьма много разнообразных мыслей и расчетов. Циолковский сам не дает вполне ясного, легко обозримого разделения отдельных расчетов, что затрудняет поиски в его трудах требуемого расчета для определенного случая. Поэтому в конце сборника помещен предметный указатель, который поможет читателю отыскать необходимые ему материалы и расчеты.

Инж. Ф. Цандер

Ракета в космическое пространство

Высота подъема на воздушных шарах; размеры, вес их. Температура и плотность атмосферы.

1.* Небольшие аэростаты с автоматически наблюдающими приборами, без людей, до сих пор поднимались до высоты, не большей 22 км.

Трудности подъема на большую высоту с помощью воздушных шаров возрастают с увеличением этой высоты чрезвычайно быстро.

Положим, мы хотим, чтобы аэростат поднялся на высоту 27 км и поднял груз в 1 кг. Воздух на высоте 27 км имеет плотность около $\frac{1}{50}$ плотности воздуха у земной поверхности (760 мм давления и 0° Ц). Значит, шар на такой высоте должен занять объем в 50 раз больший, чем внизу. У уровня же океана следует впустить в него не менее 2 м³ водорода, которые на высоте займут 100 м³. При этом шар поднимает груз в 1 кг, т. е. поднимет автоматический прибор, а сам шар будет весить 1 кг или около того. Поверхность его оболочки при диаметре в 5,8 м составит не менее 103 м². Следовательно, каждый 1 м² материи, считая и пришитую к ней сетку, должен весить 10 г.

Квадратный метр обыкновенной писчей бумаги весит 100 г; вес же 1 м² папиросной бумаги составляет 50 г. Так что даже папиросная бумага будет в пять раз тяжелее той материи, которая должна быть употреблена на наш аэростат. Такую материю применить в аэростате невозможно, потому что оболочка, сделанная из нее, будет рваться и сильно пропускать газ.

Шары больших размеров могут иметь более толстую оболочку. Так, шар с небывало большим диаметром в 58 м будет иметь оболочку, 1 м² которой весит около 100 г, т. е. чуть тяжелее обыкновенной писчей бумаги. Поднимет он 1000 кг груза, что чересчур много для самопишущего прибора.

* Нумерация параграфов и формул оставлена в том же виде, как это дано Цюлковским в его изданиях. Эта нумерация соответствует нумерации параграфов и формул рукописей автора. Встречающиеся нарушения порядковой нумерации показывают, что параграфы и формулы были выброшены самим автором как не имеющие значения ни для трактующей им темы, ни для приводимого расчета. *Прим. ред.*

Если ограничиться при тех же громадных размерах аэростата подъемною силою в 1 кг, то оболочку можно сделать раза в два тяжелее. Вообще, в таком случае аэростат хотя и обойдется весьма дорого, но построение его нельзя считать делом невозможным. Объем его на высоте 27 км составит 100 000 м³, поверхность оболочки 10 300 м².

А между тем, какие жалкие результаты! Подъем на каких-то 27 км высоты.

Что же сказать о поднятии приборов на большую высоту! Размеры аэростатов должны быть еще значительно больше; но не надо при этом забывать, что с увеличением размеров воздушного шара разрывающие оболочку силы все более и более берут перевес над сопротивлением материала.

Поднятие приборов за пределы атмосферы с помощью воздушного шара, разумеется, совсем немислимо; из наблюдений над падающими звездами видно, что пределы эти не простираются далее 200—300 км. Теоретически даже определяют высоту атмосферы в 54 км, принимая в основание расчета понижение температуры воздуха в 5° Ц на каждый километр подъема, что довольно близко к действительности, по крайней мере, для доступных слоев атмосферы¹.

Высота атмосферы в км	Темпера- тура в °Ц	Плотность воздуха
0	0	1
6	— 30	1: 2
12	— 60	1: 4,32
18	— 90	1: 10,6
24	— 120	1: 30,5
30	— 150	1: 116
36	— 180	1: 584
42	— 210	1: 3900
48	— 240	1: 28 000
54,5	— 272	0.

Выше приведена таблица высот, температур и плотностей воздуха, вычисленная мною на этом основании. Из нее видно, как быстро возрастают трудности поднятия с увеличением высоты.

Делитель последнего столбца показывает трудность, которую может встретить постройка воздушного шара.

2. Перейдем к другой идее полета в высоту — с помощью пушечных снарядов.

На практике начальная скорость движения снарядов не превышает 1200 м/сек. Такой снаряд, пущенный вертикально, поднимется на высоту в 73 км, если полет совершается в безвоздушном пространстве. В воздухе же высота подъема будет много меньше в зависимости от формы и массы снаряда.

¹ Теперь известно, что понижение температуры идет только до пределов тропосферы, т. е. до 11 км. Автор.

При хорошей форме снаряда высота подъема может достигать значительной величины; но помещать наблюдающие приборы внутри снаряда невозможно потому, что они будут разбиты вдребезги — или при возвращении снаряда на землю, или при самом движении его в пушечном стволе. Опасность при движении снаряда в канале меньше, но и эта опасность для целостности аппаратов громадна. Положим, для простоты, что давление газов на снаряд равномерно, вследствие чего ускорение его движения составляет W м/сек². Тогда то же ускорение получают и все предметы в снаряде, принужденные совершать с ним одно движение. От этого внутри снаряда должна развиваться относительная, кажущаяся тяжесть, равная $\frac{W}{g}$, где g есть ускорение земной тяжести у поверхности земли.

Длина пушки L выразится формулой:

$$L = \frac{V^2}{2(W - g)},$$

откуда

$$W = \frac{V^2}{2L} + g,$$

где V — скорость, приобретаемая снарядом по выходе из жерла.

Из формулы видно, что W , следовательно и приращение-относительной тяжести в снаряде, уменьшается с увеличением длины пушки при постоянном V , т. е. чем длиннее пушка, тем приборы безопаснее во время выталкивания снаряда. Но и при очень длинной, неосуществимой на деле пушке, кажущаяся в снаряде тяжесть при ускоряющемся его движении в пушечном канале настолько велика, что нежно устроенные аппараты едва ли могут перенести ее без порчи. Тем более невозможно послать в снаряде что-нибудь живое, если бы в этом случилась надобность.

3. Итак, допустим, что построена пушка, примерно, в 300 м высоты. Пусть она расположена вдоль башни Эйфеля, которая, как известно, имеет такую же высоту, и пусть снаряд равномерным давлением газов получает при выходе из жерла скорость, достаточную для поднятия за пределы атмосферы, например, для поднятия на 300 км от земной поверхности. Тогда потребную для этого скорость V вычисляем по формуле:

$$V = \sqrt{2g \cdot h},$$

где h — высота поднятия (получим около 2450 м/сек). Из двух последних формул, исключая V , найдем:

$$\frac{W}{g} = \frac{h}{L} + 1;$$

тут $\frac{W}{g}$ выражает относительную или кажущуюся тяжесть в ядре. По формуле найдем, что она равна 1001.

Следовательно, тяжесть всех приборов в снаряде должна увеличиться в 1000 раз с лишком, т. е. предмет весом в 1 кг испытывает от кажущейся тяжести давление в 1000 кг. Едва ли какой физический прибор выдержит подобное давление. Какой же толчок должны испытывать тела в короткой пушке и при полете на высоту, большую 300 км!

Чтобы не ввести кого-нибудь в заблуждение словами „относительная или кажущаяся тяжесть“, скажу, что я тут подразумеваю силу, зависящую от ускоряющегося движения тела (например, снаряда); она появляется также и при равномерном движении тела, если только это движение криволинейно, и называется тогда центробежной силой. Вообще она появляется всегда на теле или в теле, если только на одно это тело действует какая-либо механическая сила, нарушающая движение тела по инерции. Относительная тяжесть существует до тех пор, пока существует рождающая ее сила: прекращается последняя — исчезает бесследно и относительная тяжесть. Если я называю эту силу тяжестью, то только потому, что ее временное действие совершенно тождественно с действием силы тяготения. Как тяготению подвержена каждая материальная точка тела, так относительная тяжесть рождается в каждой частице тела, заключенного в снаряде; происходит это потому, что кажущаяся тяжесть зависит от инерции, которой одинаково подвержены все материальные части тела. Итак, приборы внутри снаряда сделаются тяжелее в 1001 раз. Если бы даже при этом страшном, хотя и кратковременном (0,24 сек.) усилении относительной тяжести и удалось их сохранить в целости, то все же найдется много других препятствий для употребления пушек в качестве посылателей в небесное пространство.

Прежде всего — трудность их построения, даже в будущем; далее — громадная начальная скорость снаряда; действительно, в нижних густых слоях атмосферы скорость снаряда; много потеряет вследствие сопротивления воздуха; потеря же скорости сильно сократит и высоту полета снаряда; затем трудно достигнуть равномерного давления газов на снаряд во время его движения в стволе, отчего усиление тяжести будет много более, чем мы вычислили (1001); наконец, безопасность возвращения снаряда на землю более чем сомнительна.

Ракета и пушка

4. Впрочем, одного громадного увеличения тяжести совершенно достаточно, чтобы оставить мысль о применении пушек к нашему делу.

Вместо них или аэростата, в качестве исследователя атмосферы предлагаю реактивный прибор, т. е. род ракеты, но ракеты грандиозной и особенным образом устроенной. Мысль не новая, но вычисления, относящиеся к ней, дают столь замечательные результаты, что умолчать о них было бы недопустимо.

Эта моя работа далеко не рассматривает всех сторон дела

и совсем не решает его с практической стороны относительно осуществимости; но в далеком будущем уже виднеются сквозь туман перспективы до такой степени обольстительные и важные, что о них едва ли теперь кто мечтает.

Представим себе такой снаряд: металлическая продолговатая камера (формы наименьшего сопротивления), снабженная светом, кислородом, поглотителями углекислоты, миазмов и других животных выделений, предназначенная не только для хранения разных физических приборов, но и для человека, управляющего камерой (будем разбирать вопрос по возможности шире). Камера имеет большой запас веществ, которые при своем смешении тотчас же образуют взрывчатую массу. Вещества эти, правильно и довольно равномерно взрываясь в определенном для того месте, текут в виде горячих газов по расширяющимся к концу трубам, вроде рупора или духового музыкального инструмента. Трубы



Фиг. 1.

эти расположены вдоль стенок камеры, по направлению ее длины. В одном узком конце трубы совершается смешение взрывчатых веществ: тут получаютсся сгущенные и пламенные газы. В другом расширенном ее конце они, сильно разредившись и охладившись от этого, вырываются наружу через раструбы с громадной относительной скоростью. Понятно, что такой снаряд, как и ракета при известных условиях, будет подниматься в высоту.

Необходимы автоматические приборы, управляющие движением ракеты (так будем мы иногда называть наш прибор) и силою взрывания по заранее, намеченному плану.

Схематический вид ракеты. Оба жидких газа разделены перегородкой. Видно место смешения газов и взрывания их. Видим раструб для вылета сильно разреженных и охлажденных паров. Труба окружена кожухом с быстро циркулирующей в нем металлической жидкостью. Видим руль, служащий для управления движением ракеты.

Если равнодействующая сил взрывания не проходит точно через центр инерции снаряда, то снаряд будет вращаться и, следовательно, никуда не будет годиться. Добиться же математической точности в этом совпадении совершенно невозможно, потому что как центр инерции не может не колебаться вследствие движения заключенных в снаряде веществ, так и направление в пушке равнодействующей сил давления газов не может

иметь математически неизменного направления. В воздухе еще можно направлять снаряд рулем, подобным птичьему, но что вы сделаете в безвоздушном пространстве, где эфир едва ли представит какую-либо заметную опору?

Дело в том, что если равнодействующая по возможности близка к центру инерции снаряда, то вращение его будет довольно медленно. Но едва только оно начинается, мы перемещаем какую-нибудь массу внутри снаряда до тех пор, пока происходящее от этого перемещение центра инерции не заставит снаряд уклоняться в противоположную сторону. Таким образом, следя за снарядом и перемещая внутри его небольшую массу, достигнем колебания снаряда то в ту, то в другую сторону, общее же направление действия взрывчатых веществ и движения снаряда изменяться не будут.

Может быть, ручное управление движением снаряда окажется не только затруднительным, но и прямо практически невозможным. В таком случае следует прибегнуть к автоматическому управлению.

Притяжение земли не может быть тут основной силой для регулирования, потому что в снаряде будет только относительная тяжесть с ускорением W , направление которой совпадает с относительным направлением вылетающих взрывчатых веществ или прямо противоположно направлению равнодействующей их давления. А так как это направление меняется с поворачиванием снаряда и пушки, то тяжесть эта как направитель регулятора не годится.

Возможно употребить для этой цели магнитную стрелку, или силу солнечных лучей, сосредоточенных с помощью двояковыпуклого стекла. Каждый раз, когда снаряд с пушкой поворачивается, маленькое и яркое изображение солнца меняет свое относительное положение в снаряде, что может возбуждать расширение газа, давление, электрический ток и движение массы, восстанавливающей определенное направление пушки, при котором светлое пятно падает в нейтральное, так сказать, нечувствительное место механизма.

Автоматически подвижных масс должно быть две.

Основой для регулятора направления снаряда также может служить небольшая камера с двумя быстро вращающимися в разных плоскостях кругами. Камера привешена так, что положение или, точнее, направление ее не зависит от направления пушки. Когда пушка поворачивается, камера в силу инерции, пренебрегая трением, сохраняет прежнее абсолютное направление (относительно звезд); это свойство проявляется в высшей степени при быстром вращении камерных дисков. Прицепленные к камере тонкие пружинки при поворачивании пушки меняют в ней свое относительное положение, что может служить причиной возникновения тока и передвижения регулирующих масс.

Наконец, поворачивание конца раструба также может служить средством сохранения определенного направления снаряда. Проще