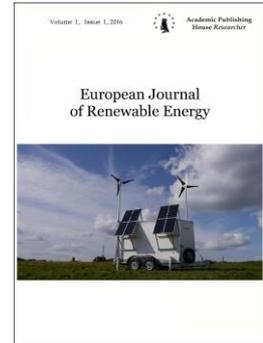


Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Journal of Renewable Energy
Has been issued since 2016.
E-ISSN 2454-0870
2020. 5(1): 3-8

DOI: 10.13187/ejre.2020.1.3
www.ejournal51.com



Articles

About One Limit of Our Energy

Vladislav K. Gryazev ^{a, *}

^a Kalashnikov's Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

The article deals with the energy problems in relation to the achievement of greater power of rocket engines. The dependences of carrying capacity on mass for modern transport systems are analyzed. It is concluded that the limit imposed on transport systems is not technical, but more economic.

It is shown that there is a limit to achieving the maximum velocity of rockets when using fuels that use a combustion reaction. The possibility of using condensation energy, graphene flywheel and other alternative methods is analyzed.

As a result, it was concluded that in the future one can only hope for thermonuclear reactions, but also for other methods: Bose condensate of metastable helium, lithium-hydrogen fluoride fuel, and others. But the solution of this problem and the application of new methods and physical principles is a matter of the distant future.

Keywords: energy, limit, rocket engine, new fuels, progress.

1. Введение

Как известно, техника и технологии развиваются по s-образной кривой. Существуют ли другие закономерности, особенно касающиеся проблем энергетики и ракетостроения?

2. Обсуждение и результаты

Грузоподъемность и массы современных транспортных систем

Если отложить на [Рисунке 1](#) на оси ординат грузоподъемность грузовиков, а на оси абсцисс – их массу ([Рунова, Вагнер, 1960](#)) что с довольно большой точностью грузовик может поднять столько, сколько весит сам. Для других транспортных средств этот «закон» и для них выполняется довольно с большой точностью ([Рисунок 2](#)).

* Corresponding author
E-mail addresses: ulilu1372@mail.ru (V.K. Gryazev)

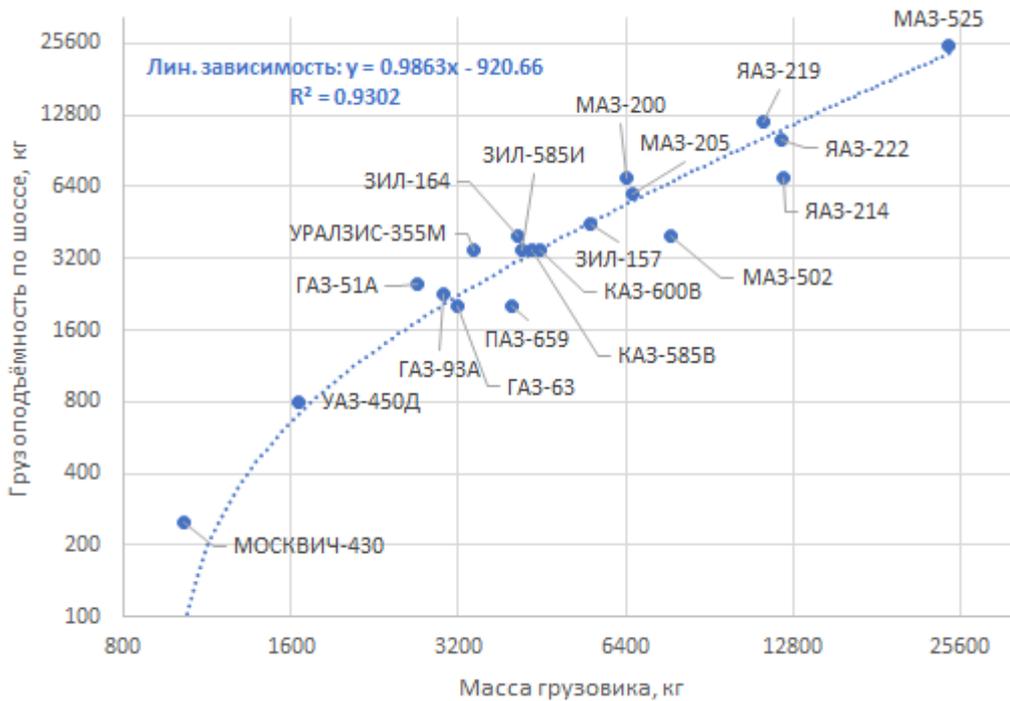


Рис. 1. Зависимость грузоподъемности от массы у грузовиков (Цивилизация Пружин, 1/5)

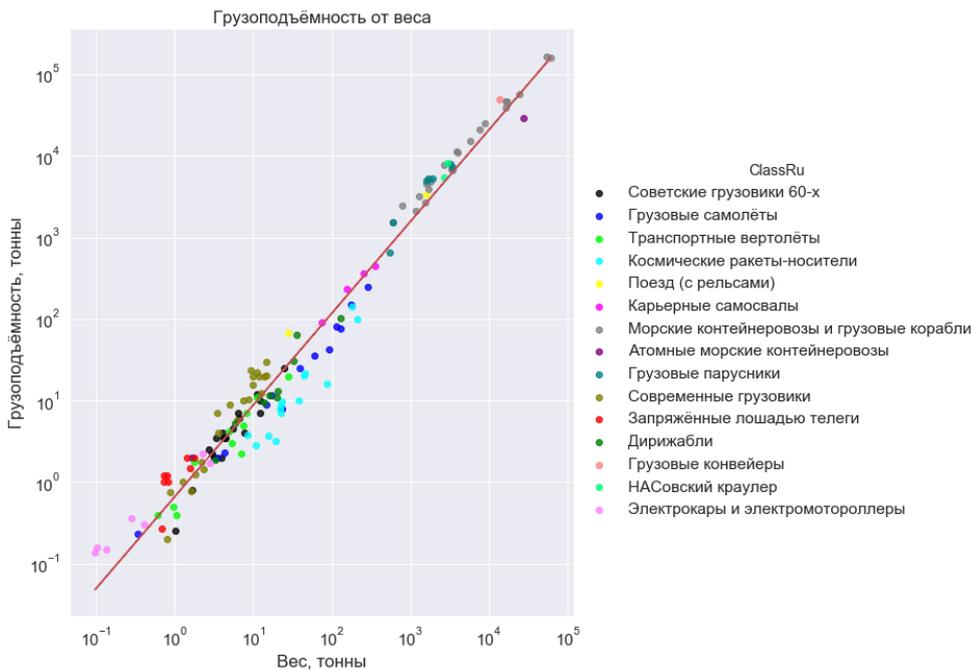


Рис. 2. Зависимость грузоподъемности от массы у других транспортных средств (Цивилизация Пружин, 1/5)

Если рассмотреть величину Q , предложенную Евгением Бобухом в своей статье (Цивилизация Пружин, 1/5), характеризующую отношение сухой массы транспортного средства к максимальной массе, перевозимой им, то для различных транспортных систем (ТС) получатся значения, приведенные в Таблице 1. Эти значения Q примерно одинаковы для всех транспортных средств.

Таблица 1. Значения величины Q для различных ТС

Класс средств	Среднее Q
Грузовые самолёты	0.6
Космические ракеты-носители (низкая орбита)	0.3
Современные карьерные самосвалы	1.3
Современные грузовики России, США, Индии, Китая	1.2
Поезда	2.2
Атомные контейнеровозы	1.03
Морские контейнеровозы и грузовые корабли	2.5

Но существуют примеры, в которых значение Q колоссально. Это, например, турбонасосный агрегат двигателя РД-180. При своей массе он способен развивать мощность в 189 МВт. Это сравнимо с энергопотреблением атомной подводной лодки, и если считать Q по мощности на килограмм массы, то ТНА превосходит средний автомобиль в сотни раз. На **Рисунке 3** для наглядности приведены сравнительные размеры двигателя РД-180 и атомной подводной лодки.

**Рис. 3.** Сравнительные размеры

Из этого можно вывод, что ограничения на большие значения Q накладывает вовсе не техника, а экономика.

Предел Q

Изделия с высоким Q (например, ракеты) дороги, потому что они слишком тяжелые, а тяжелые они потому, что топливо используемое сейчас не настолько эффективно.

Если взять формулу Циолковского

$$M/m = e^{V/u},$$

где: M – стартовая масса ракеты, m – конечная масса ракеты, V – набранная ракетой скорость, u – скорость истечения,

становится видно, что неэффективность находится в параметре u – скорости истечения, которая примерно равна $\sqrt{2q}$, где q – удельная теплота сгорания, которая как раз и является мерилем энергоэффективности на килограмм. И чем меньше q , тем больше отношение масс ракеты:

$$M/m = e^{V/\sqrt{2q}}$$

Если подсчитать предельно допустимую энергию, которая может выделиться во время химической реакции, то получится, что она не превышает энергии связи валентных электронов, перераспределение которых во время химической реакции и преобразуется в кинетическую энергию движения молекул, а далее и в тягу двигателя. Значения этой энергии известны, выражаются как доли постоянной Ридберга:

$$R_y = m_e e^4 / 2\hbar^2 = 13.6 \text{ эВ}$$

и составляют 1.5 – 25 эВ. В пересчете на Джоули эта энергия приблизительно равна 20-30 МДж. Из этого энергетического ограничения и вытекает теоретически возможная скорость истечения, равная приблизительно 7000 м/с. Отсюда видно, что в лучшем случае при использовании химического топлива мы можем получить не более 24 МДж/кг (Таблица 2).

Таблица 2. Теплоты сгорания различных веществ (*Heat of combustion*)

Топливо + окислитель	Реакция	Теплота сгорания смеси, МДж/кг
Водород + кислород	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$	13.3
Керосин + кислород	$2\text{C}_{12}\text{H}_{26} + 37\text{O}_2 = 24\text{CO}_2 + 26\text{H}_2\text{O}$	9.6
Литий + кислород	$4\text{Li} + \text{O}_2 = 2\text{Li}_2\text{O}$	20.2
Бериллий + кислород	$2\text{Be} + \text{O}_2 = 2\text{BeO}$	24.0
Литий + фтор	$2\text{Li} + \text{F}_2 = 2\text{LiF}$	23.7

Если брать в расчет другие источники энергии, то, например, сейчас наиболее стремительно развивающиеся батареи способны дать нам максимум 1-3 МДж/кг (*Comparison of commercial battery types*). Но в батареях используется тот же принцип действия – химическая реакция.

Если взять другой, механический источник энергии, такой как пружина, очевидно, что при сжатии её энергия запасается из-за перераспределения электронов. А из этого следует, что предел, ею запасаемый, тот же, что и у химической реакции – 20-30 МДж/кг. И независимо от того, что мы будем использовать – сжатие газов, маховики, конденсаторы – везде возникает этот предел.

Но существуют химические элементы и физические явления, которые способны либо приблизиться к этому пределу, гораздо ближе, чем мы можем сделать это сейчас, либо даже превзойти его.

Например, литиево-фтороводородное топливо (*Arbit et al., 1970*) способно обеспечить скорость истечения равную 5320 м/с, тогда как наилучшая достигнутая сейчас скорость истечения не превышает и 4500 м/с. Проблема только в том, что такое топливо чрезвычайно трудно в обращении.

Или, например, при давлении в 1 миллион атмосфер и температуре 2000 К азот меняет кристаллическую модификацию, которая является метастабильной (при возвращении в нормальные условия кристаллическая решетка не меняется). При возвращении в стабильное состояние она способна выделить, по разным оценкам от 15,8 до 33 МДж/кг ([Benchafia et al., 2017](#); [Solid nitrogen](#)).

Другим источником энергии может служить бозе-конденсат метастабильного гелия-4 в триплетном состоянии, попытки синтеза которого сейчас активно ведутся. Если это удастся, то возможно будет получить энергию, приблизительно равную 495 МДж/кг ([Tychkov](#)).

Также высоки теплоты испарения многих веществ. Например, при конденсации газообразного бериллия выделяется энергия, равная 32 МДж/кг, а бора – 45 МДж/кг ([Enthalpy of vaporization](#)). Естественно, пока даже технически неясно, как можно реализовать двигатель на таких принципах.

Если брать графен, то по результатам исследований, его прочность на разрыв превосходит 60 МДж/кг ([Ultimate tensile strength](#)). Это происходит из-за того, что связей на атом у него три, и он лишен кристаллических дефектов. Пока возможно хранить энергию только в скрученных нанотрубах (нити) ([Teich et al., 2012](#)), но также, гипотетически, допустима запитывание двигателя и от графенового маховика, достижимая скорость вращения которого может быть гораздо выше, чем у маховика, изготовленного из любого среди существующих материалов.

Также можно потенциально использовать энергию вращающихся атомов, если их предварительно раскрутить. При таком раскручивании они способны запасать энергию 10-200 МэВ на атом. Возможно и «вращение» элементарных частиц. Так, протон может запасти энергию, приблизительно равную 450 МэВ на атом, но такое его состояние нестабильно, и пропадает чрезвычайно быстро.

3. Заключение

Были рассмотрены лишь некоторые возможности, которые может дать современная энергетика. Её ресурсы ещё не исчерпаны и можно надеяться не только на термоядерный синтез. Но понятно, что решение этой задачи и применение новых химических элементов, новых физических принципов – это дело отдаленного будущего.

Литература

[Рунова, Вагнер, 1960](#) – Рунова А.П., Вагнер А.А. Грузовые автомобили. Каталог. М.: ЦИНТИМАШ, 1960.

[Цивилизация Пружин, 1/5](#) – Цивилизация Пружин, 1/5. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/437910/>

[Arbit et al., 1970](#) – *Arbit H.A., Clapp S.D., Nagai C.K.* Lithium-fluorine-hydrogen propellant investigation. Final report. NASA, 1970.

[Benchafia et al., 2017](#) – *Benchafia E.M., Yao Z., Yuan G. et al.* Cubic gauche polymeric nitrogen under ambient conditions // *Nat Commun.* 2017. № 8. P. 930.

[Comparison of commercial battery types](#) – Comparison of commercial battery types. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_commercial_battery_types

[Enthalpy of vaporization](#) – Enthalpy of vaporization. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy_of_vaporization#Selected_values

[Heat of combustion](#) – Heat of combustion. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion#Heat_of_combustion_tables

[Solid nitrogen](#) – Solid nitrogen. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_nitrogen#Cubic_gauche

[Teich et al., 2012](#) – *Teich D., Fthenakis Z.G., Seifert G., Tománek D.* Nanomechanical energy storage in twisted nanotube ropes // *Phys Rev Lett.* 2012. № 109(25).

[Tychkov](#) – *Tychkov A.S.* Bose-Einstein Condensation of Metastable Helium Atoms. [Electronic resource]. URL: https://www.nat.vu.nl/en/Images/Tychkov.thesis_tcm69-96948_tcm208-249866.pdf

[Ultimate tensile strength](#) – Ultimate tensile strength. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength#Typical_tensile_strengths

References

- [Runova, Vagner, 1960](#) – *Runova, A.P., Vagner, A.A.* (1960). Gruzovye avtomobili [Trucks]. Katalog. M.: TsINTIMASH. [in Russian]
- [Arbit et al., 1970](#) – *Arbit, H.A., Clapp, S.D., Nagai, C.K.* (1970). Lithium-fluorine-hydrogen propellant investigation. Final report. NASA.
- [Benchafia et al., 2017](#) – *Benchafia, E.M., Yao, Z., Yuan, G. et al.* (2017). Cubic gauche polymeric nitrogen under ambient conditions. *Nat Commun.* 8: 930.
- [Comparison of commercial battery types](#) – Comparison of commercial battery types. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_commercial_battery_types
- [Enthalpy of vaporization](#) – Enthalpy of vaporization. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Enthalpy_of_vaporization#Selected_values
- [Heat of combustion](#) – Heat of combustion. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion#Heat_of_combustion_tables
- [Solid nitrogen](#) – Solid nitrogen. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solid_nitrogen#Cubic_gauche
- [Teich et al., 2012](#) – *Teich, D., Fthenakis, Z.G., Seifert, G., Tománek, D.* (2012). Nanomechanical energy storage in twisted nanotube ropes. *Phys Rev Lett.* 109(25).
- [Tychkov](#) – *Tychkov, A.S.* Bose-Einstein Condensation of Metastable Helium Atoms. [Electronic resource]. URL: https://www.nat.vu.nl/en/Images/Tychkov.thesis_tcm69-96948_tcm208-249866.pdf
- [Ultimate tensile strength](#) – Ultimate tensile strength. [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength#Typical_tensile_strengths
- [Tsvilizatsiya Pruzhin, 1/5](#) – *Tsvilizatsiya Pruzhin, 1/5* [The spring civilization, 1/5]. [Electronic resource]. URL: <https://habr.com/ru/post/437910/> [in Russian]

Об одном пределе нашей энергетики

Владислав Константинович Грязев ^{a, *}

^a Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы энергетики применительно к достижению большей мощности ракетных двигателей. Проанализированы зависимости грузоподъемности от массы для современных транспортных систем. Сделан вывод, что предел, накладываемый на транспортные системы не технического характера, а более экономического.

Показано, что существует предел для достижения максимальной скорости ракет при использовании топлив, использующих реакцию горения. Анализируется возможность использования энергии конденсации, графенового маховика и других альтернативных способов.

В результате сделан вывод, что в будущем можно надеяться не только на термоядерные реакции, но и на другие способы: бозе-конденсат метастабильного гелия, литий-фторводородное топливо и другие. Но решение этой задачи и применение новых способов и физических принципов – это дело отдаленного будущего.

Ключевые слова: энергетика, предел, ракетный двигатель, новые топлива, прогресс.

* Корреспондирующий автор
Адреса электронной почты: ulilu1372@mail.ru (В.К. Грязев)