

Суперспайки – миф или реальность?

Ю. И. Лобановский

Краткое содержание

В работе показано, что суперспайки, то есть специфические пары направленных вниз – вверх пиков на графике ускорения системы Starship в ее первом испытательном полете, отображали реальный физический процесс, происходивший с этой ракетной системой. Не связанное с анализом данных и логикой стремление признать суперспайки мифом, то есть артефактами из-за неадекватной работы системы измерения и отображения данных, вызывается мифологическим сознанием носителей этого стремления.

Ключевые слова: «пого», автоколебания, Starship, суперспайки, частота

I. Введение

Сразу при просмотре в режиме реального времени видеострима первого тестового полета системы Starship 20 апреля 2023 года [1] было замечено, что на всем участке траектории, где происходил управляемый полет, ракета испытывала резкие колебания ускорения с периодом 12 секунд, выразившиеся, как потом выяснилось, в виде, по крайней мере, 10 пар узких пиков сначала резкого падения ускорения системы Starship почти до 0, а затем очень быстрого его роста. Эти специфические пары пиков были названы суперспайками по аналогии с названиями внешне похожих пар пиков в биржевой игре – близко расположенных спайков продавца и покупателя, соответственно направленных вниз и вверх.

В тот же день в сети появились результаты обработки данных из дополнительных окон видеострима в виде графиков четырех параметров: ускорения ракеты Starship (в cm/s^2), скорости (в m/s) и высоты полета (в сотнях метров), а также числа работающих двигателей (на графике это число для получения соизмеримого масштаба кривых умножено на 10), см. рис. 1 [2].

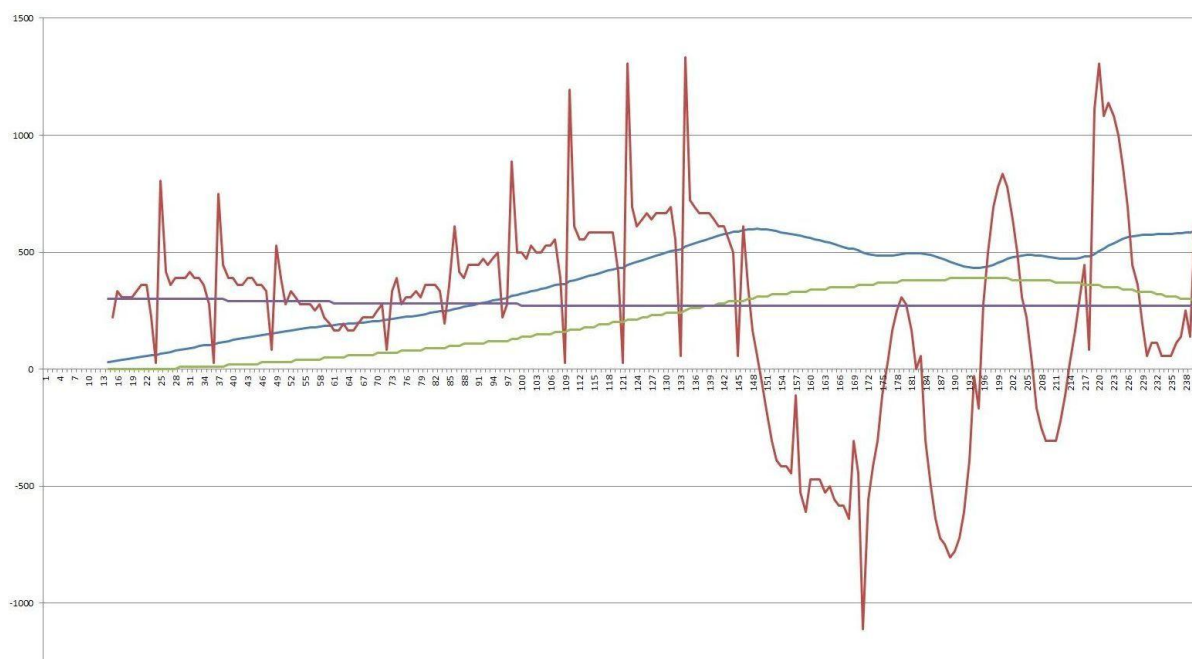


Рис. 1 – Скорость, ускорение, высота и число работающих двигателей системы Starship

Самым интересным, безусловно, является график ускорения – фиолетовая линия с острыми пиками (спайками). Здесь суперспайки просто режут глаз, являясь основными элементами совершенно необычной, видимо, никогда ранее не встречавшейся у ракет «рваной» траектории полета. Поэтому, неудивительно, что при обсуждении на соответствующих российских и международных форумах вопроса, реальны ли суперспайки, или это было создано какой-то некорректной работой системы телеметрии или отображения, абсолютное большинство дискуссантов, внимание которых привлек к данному графику автор, сразу же утверждали, что в реальности такого не может быть никогда, и все это – фейк того или иного рода.

Обычное объяснение появления суперспайков было следующим: «Пусть имеются две системы с немного разной частотой обновления. Если система, отображающая данные, обновляется немного медленнее, чем система измеряющая и передающая, то в данных возникают биения». Кроме того, утверждалось, что «...сигнал проходит несколько этапов обработки... и при сглаживании зашумленного

сигнала с помощью Фурье-преобразования перед его дифференцированием на резких перепадах величины могут получаться артефакты с резкими выбросами сигнала». Поэтому на графике ускорения, получаемого дифференцированием скорости, возникают пики (спайки). Однако никто не продемонстрировал ни одного примера, где бы вследствие биений или применения Фурье-преобразования, получались бы такие же периодические суперспайки. Все ограничивались только словами. И это повторялось десятки раз в слабо отличающихся вариациях.

Единственным, кто по причинам, описанным в следующем разделе работы, считал, что суперспайки – это реальное, физическое явление, был автор данной работы. На первом форуме, где автор высказал это мнение, название которого было – Астрофорум, его модератором это мнение было названо флудом, автору на 3 дня было запрещено там писать (он прекратил это делать на полгода), а его посты и посты тех, кто участвовал в дискуссии, были стерты [3]. Но, был еще один участник Астрофорума под ником Андрей Астрофизический, который сначала не высказал своего мнения, но за неделю провел исследование видеострима, и самостоятельно пришел к выводу, что автор был прав – подробнее о результатах его работы написано в следующем разделе статьи. После этого стертые ранее посты были возвращены, но не в исходную тему, а в тему закрытого для внешних посетителей раздела под названием «Клуб общения звездочетов», видимо, от греха подальше. С тех пор она там и находится, поэтому, чтобы прочитать о том, как происходило реальное развитие идеи о суперспайках, сейчас обязательно следует стать «звездочетом».

Вероятно, если бы к тому времени был бы еще жив Вернер фон Браун, хорошо разбиравшийся в колебаниях ракет, и сравнивавший ракеты с гармошками-концертино, и если бы он знал русский язык, то, вероятно, он бы был в этой компании третьим. Кстати, единственный человек, конструктивно и плодотворно откликнувшийся на идею о суперспайках – Андрей Астрофизический, в дальнейшем тоже покинул Астрофорум. Однако, перейдем к сути дела, далее следуют...

II. Доказательства реальности суперспайков

1. Первое объяснение того, что суперспайки – это результат ошибочной обработки телеметрического сигнала, сводится к биениям при суперпозиции двух сигналов с близкими частотами. Но достаточно взглянуть на то, как выглядят типичные биения (см. рис. 2), чтобы убедиться, что вид получающегося графика качественно отличается от того, что наблюдается на рис. 1 [4]. Вместо возникающих на фоне первоначально малых осцилляций резких периодических выбросов сначала вниз, а затем вверх, при биениях, наоборот, имеются довольно широкие области значительных осцилляций с такими же зонами осцилляций относительно малых амплитуд. Кроме того, при биениях максимальная амплитуда колебаний не может превысить сумму амплитуд двух отдельных компонент, а на рис. 1 мы видим, что амплитуды суперспайков многократно превышают амплитуду любых осцилляций на участках перед ними. Так что биения – это ложное объяснение суперспайков.

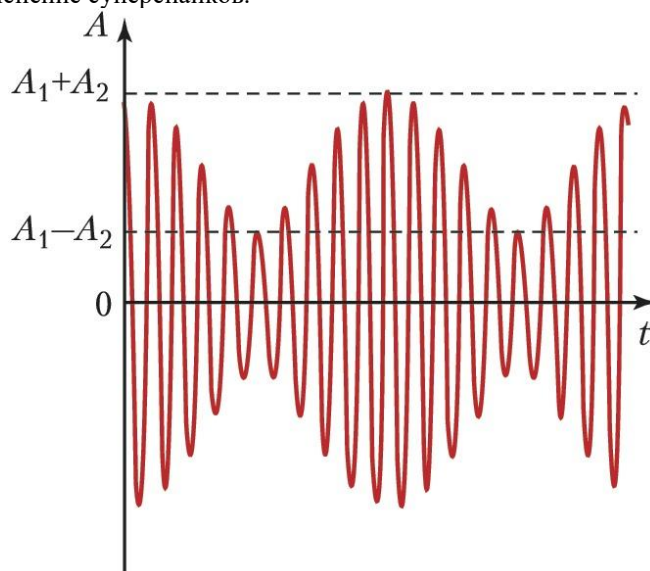


Рис. 2 – Биения

2. Резкие выбросы амплитуды вследствие обработки сигнала с помощью Фурье-преобразования могут возникать на его резких перепадах. Следовательно, даже если бы причиной суперспайков в первом полете системы Starship были бы такие артефакты обработки, то и в реальности каждые 12 секунд должны были бы происходить резкие перепады сигнала. А это означает, что даже в предположении, что суперспайки являются артефактами вычисления ускорения путем дифференцированием скорости с использованием Фурье-преобразования, эти артефакты, пусть и в какой-то искаженной форме, но отображают реальный

периодический процесс, в котором в конце каждого периода длительностью 12 секунд происходят какие-то резкие изменения скорости объекта. То есть, в этом случае и в реальности ускорение должно сильно изменяться.

3. Подобная обработка сигнала с видеозаписи проводилась задолго до, а также многократно после первого полета системы Starship (IFT-1). Например, такими же графиками сопровождалась, по меньшей мере, некоторые из полетов ракеты-носителя Falcon 9 той же компании SpaceX и все последующие 6 полетов системы Starship (IFT-2 – IFT-7), см. рис. 3 – 5 [5 – 7]. И нигде ничего подобного суперспайкам, кроме как при IFT-1, увидеть было невозможно. Никаких сообщений о проблемах при демонстрации данных IFT-1, а также об исправлении работы системы демонстрации летных данных ракет после IFT-1 не поступало. Так что весьма маловероятно, что работа этой системы при IFT-1 хоть в чем-то отличалась от ее работы при всех других многочисленных пусках разных ракет. Значит, тогда весьма вероятно, что отличался именно сам полет системы Starship.

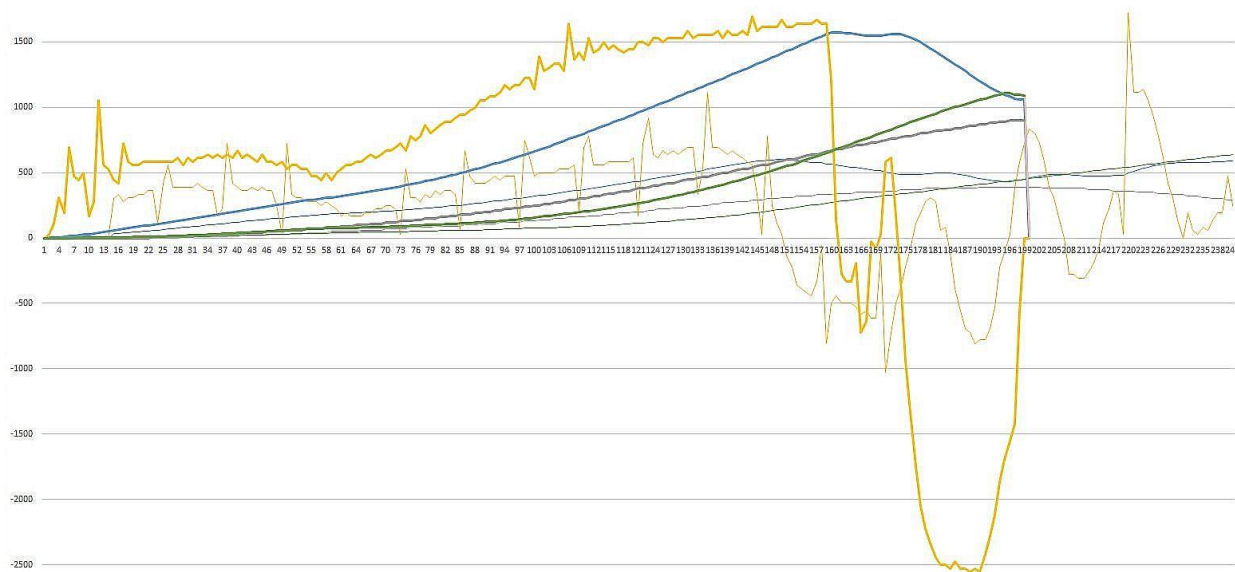


Рис. 3 – Полеты IFT-1 и IFT-2, ускорение при IFT-1 – тонкая линия с суперспайками (см. рис. 1), ускорение бустера при IFT-2 – толстая желтая линия с резкими уступами

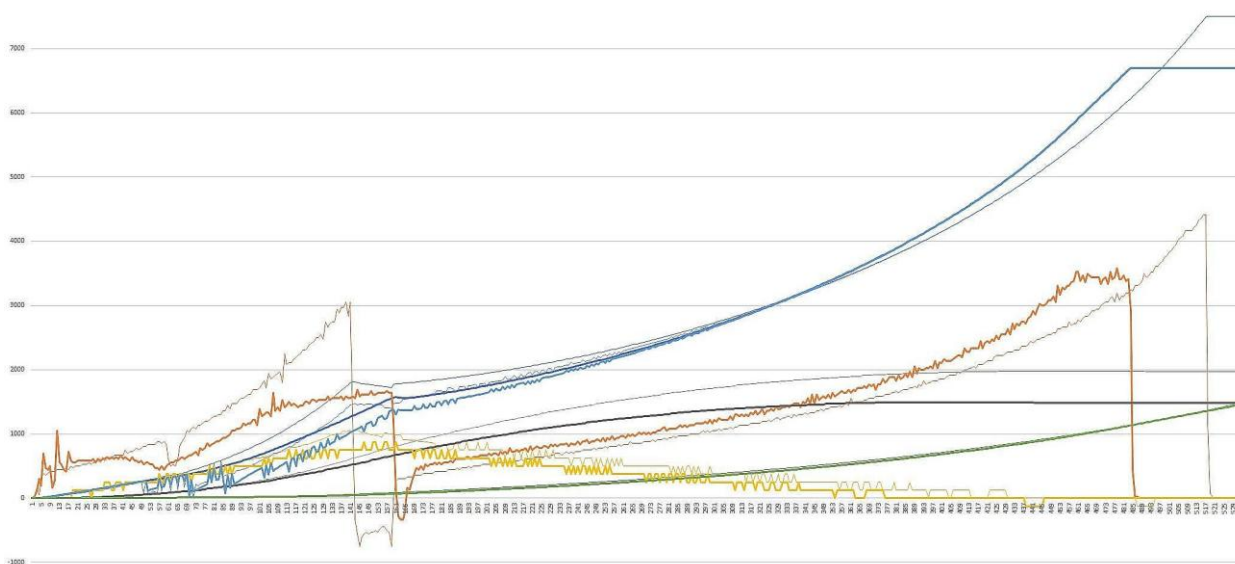


Рис. 4 – Полеты IFT-2 и ракеты Falcon 9, ускорение при IFT-2 – толстая коричневая линия с резкими уступами, ускорение ракеты Falcon 9 – тонкая сиреневая линия аналогичного типа

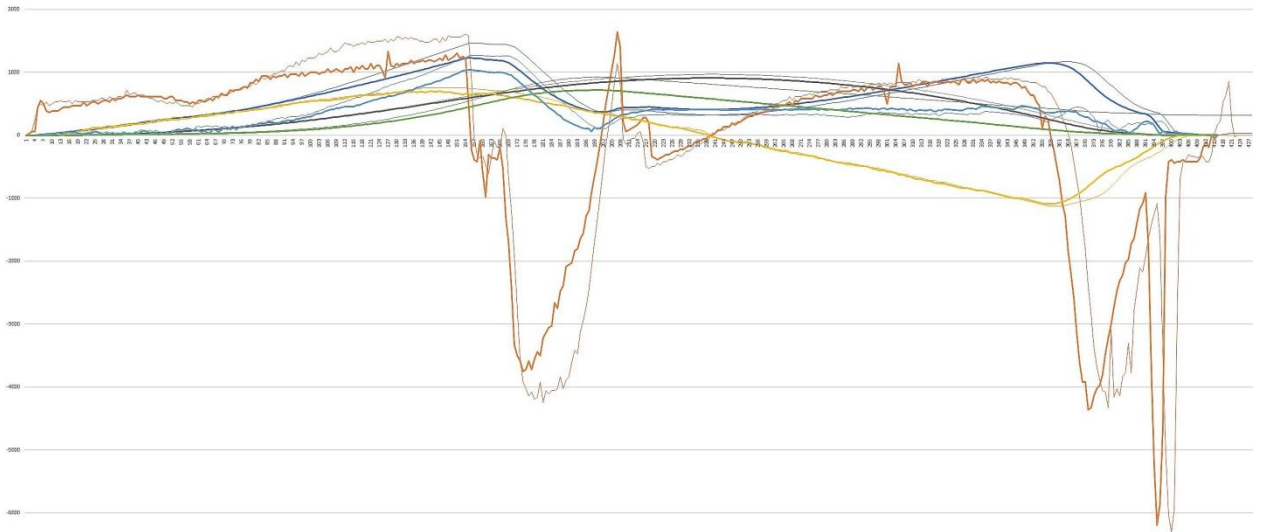


Рис. 5 – Полеты IFT-6 и IFT-7, ускорение бустера при IFT-6 – тонкая сиреневая с резкими уступами, ускорение бустера при IFT-7 – аналогичная толстая коричневая линия

4. Рассматривая рис. 1, 3, легко убедиться, что в зоне максимального скоростного напора при IFT-1 нет того суперспайка, который должен был там быть в соответствии с периодом их появления в 12 секунд. Этот суперспайк оказался «пропущенным». А почему? Ответ дает теория автоколебаний типа «пого» [5] – в этот момент тяга двигателей бустера была снижена для уменьшения аэродинамических нагрузок, из-за этого частота гидроакустических осцилляций метана в его топливной системе возросла, и они перестали быть кратными частоте собственных упругих колебаний корпуса ракеты (то есть, частота осцилляций вышла из зоны «пого»). Поэтому там не произошло очередное возбуждение «пого», и система отображения данных не сформировала на экране суперспайк, уже ставший к тому времени типичным. Так что при отсутствии физической причины никакие, даже ошибочные, способы обработки сигнала не привели бы к появлению суперспайка на графике.

5. Продолжая рассматривать рис. 1, 3, можно убедиться, что после отказа системы управления примерно на 145 секунде полета ракета потеряла устойчивость и стала совершать различные кульбиты, так что ее летные данные стали изменяться несравненно быстрее, чем ранее, и возможности появления артефактов при вычислении ее характеристик резко возросли. Однако и там, на фоне изменений ускорения из-за кульбитов и петляний через каждые ~ 12 секунд обнаруживаются, где более, где менее выраженные следы все тех же самых суперспайков. Следует отметить, что все это время около 27 двигателей бустера продолжали работать практически до самого конца жизни этой ракетной системы.

6. При сравнении данных в первом и втором полетах системы Starship (см. рис. 3) можно видеть, что в одни и те же моменты времени ее скорости и высоты при IFT-1 были, минимум, в 2 – 2.5 раза ниже, чем при IFT-2 (синяя и сиреневая толстые линии для IFT-2 и аналогичные тонкие линии для IFT-1). Следовательно, средняя тяга силовой установки в первом полете должна была быть в 1.5 – 1.7 раза меньше, чем во втором. То, что при старте IFT-1 не запустились 3 двигателя из 33 и далее отключилось еще не менее 3-х, при номинальной стартовой тяговооруженности не ниже 1.5, никак не может объяснить такое драматическое расхождение траекторных показателей двух экземпляров ракеты к моменту отсечки двигателей во втором полете. Это может стать возможным только при ухудшении работы всей силовой установки в целом. И это уж точно был не артефакт обработки данных, а печальная для SpaceX реальность первого полета.

7. Кроме того, в момент отсечки двигателей бустера во втором полете, примерно, к 160-й секунде там было израсходовано почти все топливо за исключением нескольких процентов от стартовых запасов бустера, необходимых для его возвращения. А в первом полете работа силовой установки продолжалась не менее 240 секунд. Таким образом, тогда общий расход топлива был, примерно, в 1.4 раза ниже, чем во втором полете. Среднее количество работавших в первом полете двигателей можно оценить в 28 штук по сравнению с 33 во втором полете. Следовательно, средний расход топлива одним работающим двигателем при IFT-1 составлял не более 80 – 85 % от среднего расхода при IFT-2 даже при предполагаемых его утечках. И это тоже не артефакт обработки сигнала при его биениях или при дифференцировании на скачках сигнала.

8. At last but not least – последнее по порядку, но не по важности. После заявления автора на Астрофоруме о том, что в первом полете система Starship испытывала странные продольные колебания с

периодом 12 секунд [8], как уже сообщалось выше, один из участников форума под ником Андрей Астрофизический (свое настоящее имя он отказался назвать) провел анализ видео на участке полета ракетной системы с 15-й по 153-ю секунду [9]. Стимулом для проведения этой работы было стремление понять, действительно ли там было «некое новое явление, приводящее к неравномерной тяге, или это – только артефакты потери сигнала». Обработка изображений велась покадрово с помощью программы Sony Vegas. Следует отметить, что телеметрия работала подробно – «на многих участках значение скорости менялось в каждом кадре». Результат этой работы был представлен на форуме 28 апреля 2023 года, через неделю после IFT-1. Основные выводы были следующими:

- a) Потери сигнала телеметрии в этот период времени были. Они определялись визуально по замиранию цифр в последовательных кадрах, и чуть позже – по их переходу скачком на новые значения.
- b) Таких весьма кратковременных потерь сигнала (длительностью менее одной секунды) было 4: на 36-й, 48-й, 84-й и 109-й секундах.
- c) Спад ускорения (и, соответственно, тяги) перед очередным суперспайком (которых на этом временном отрезке было 10) всегда начинался до потери сигнала, а скачок ускорения вверх был явно различим «уже после того, как телеметрия восстанавливалась».
- d) Потеря сигнала «выглядит как следствие, а не причина того, что с тягой ракеты в очередной раз что-то стало происходить».
- e) И в тех 6 случаях, когда потери сигнала не происходило, на телеметрии в момент спайков вниз было «прекрасно различимо», что «скорость меняется – на мизер, но меняется... при чрезвычайно близком к 0 ускорению».

9. По построенным с шагом 0.5 секунды графикам массы, скорости (рис. 6) и ускорения (с учетом гравитационного ускорения при приближенной оценке угла наклона траектории), была определена тяга одного двигателя Raptor-2 на рассмотренном участке траектории полета (рис. 7). Необходимые для анализа данные по сухой массе бустера, начальной массе кислорода и метана в его баках и предполагаемой стартовой массе системы Starship были взяты из англоязычной Википедии, расход горючего и окислителя – из соответствующих индикаторов на экране. Симптомы четырех случаев краткой потери сигнала – его полного обнуления на рис. 7 отмечены темно-красными треугольниками на горизонтальной оси графика. Выводы следующие:

- f) «Тяга прыгает и скачет».
- g) Средняя тяга двигателя Raptor-2 («только на участке позитивного ускорения») составила ~ 1.5 МН.

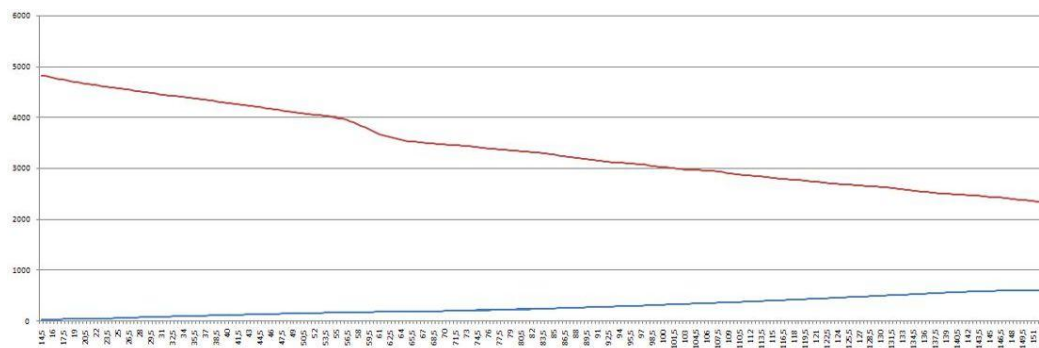


Рис. 6 – Расчетные изменения массы (фиолетовая) и скорости (синяя линия) по времени при IFT-1

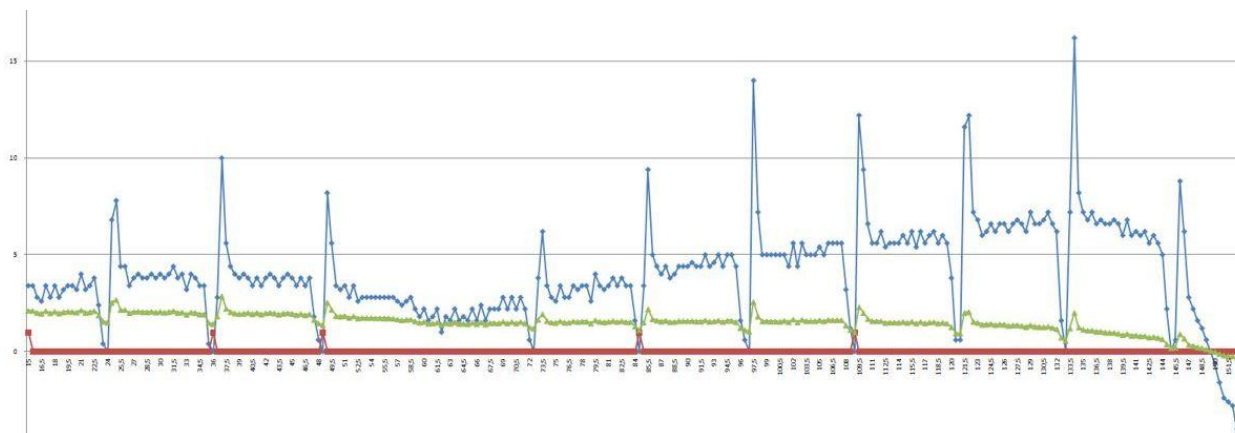


Рис. 7 – Расчетные изменения ускорения (синяя) и тяги (зеленая линия) по времени при IFT-1

«В общем, явление, о котором говорил Streamflow, совершенно точно имеет место быть» [9].

К выводам прекрасно и очень быстро сделанной работы можно лишь добавить, что по этим расчетам средняя тяга не отключившихся двигателей составляла, примерно, 60 – 65 % от заявляемой SpaceX номинальной тяги двигателя Raptor-2 в зависимости от высоты полета. Это снижение тяги на ~ 20 % большее, чем уменьшение среднего расхода топлива, вполне объяснимо существенным ухудшением удельных характеристик двигателя при его работе в таком неоптимальном колебательном режиме, грозящем его разрушить, а также, по-видимому, утечками топлива в полете из-за частичных разрушений первой ступени ракеты.

Как показали дальнейшие исследования, наиболее вероятной причиной возникновения этих суперспайков было взаимодействие возникших в системе Starship продольных автоколебаний типа «пого», и ранее встречавшихся при полетах ракет, с работой системы управления, пытавшейся их подавить [5, 6]. Необходимо понимать, что величина демонстрируемой на экране скорости относится к точке расположения датчика ускорения или GPS-трекера, с помощью которых определялись траекторные данные, а не к центру масс всей системы, и при упругих колебаниях корпуса это неизбежно приводит к погрешностям определения тяги через произведения массы и ускорения. Конечно, надо полагать, что датчик или GPS-трекер был установлен максимально близко к центру масс, но в любом случае измеряемый параметр в точке установки и в центре масс не будут точно совпадать. Это должно внести некоторую количественную погрешность в определение тяги. Однако, качественный результат работы Андрея Астрофизического совершенно неоспорим: при IFT-1 зафиксированы циклы возрастающих пульсаций тяги двигателей системы Starship, которые внезапно прекращались, а затем начинались снова, причем каждый такой цикл завершался суперспайком. При этом средняя по траектории тяга двигателя упала примерно в 1.5 раза по сравнению с номинальной.

Дальнейшее исследование этого явления с использованием теории автоколебаний типа «пого» [5, 6] совершенно не потребовало знаний амплитуды пульсаций тяги или его среднего значения в ходе развития этого процесса. Главное – было убедиться в том, что процесс, вызывающий появление суперспайков, действительно существует. И это определенно следует из представленных выше 9 групп аргументов.

III. Камни не могут падать с неба, потому что на небе нет камней

К настоящему времени прошло почти 22 месяца с момента первого полета системы Starship и обнаружения серии суперспайков, сопровождавших ее совершенно уникальный полет. Все это было явно видно при наблюдении трансляции полета невооруженным глазом, и тем более на графиках ее траекторных данных, первые из которых появились в течение нескольких часов после этого полета. Поэтому возникает вопрос, зачем было написано все то, что можно прочесть в предыдущем разделе этой статьи? Ведь первые «цифровые квази-объяснения» этого явления, вскоре появившиеся, например, на Астрофоруме или потом на международной площадке NSF, не подтвердились ничем, кроме легковесных и ничего не стоящих слов, и должны были бы вскоре рассеяться как дым. Тем более что дальнейшее развитие теории «пого» в сочетании с множественными инцидентами из-за него, случившимися с системой Starship в последующих испытательных полетах, казалось, должно было бы совершенно снять этот вопрос из информационной повестки.

Однако, автор убедился, что с упорством, достойным лучшего применения, всякий раз, когда заходит речь о суперспайках первого полета системы Starship, оппоненты утверждают, как нечто не требующее доказательств, что суперспайки – порождение либо несогласованности работы различных элементов системы измерения и демонстрации траекторных данных, либо недостатков алгоритмов обработки массивов цифровых данных, либо и того и другого вместе. Аргументы оппонентов: «это – очевидно, этого не может быть, это известно всем, компания SpaceX ничего об этом не сообщает», и ничего сколько-нибудь содержательного по существу.

Были и другие аргументы, шедшие, видимо, из более глубоких, первобытных слоев сознания: «Господи, достали эти с колебаниями уже. Сидит такой чел в Челябинске на диване в рваном трико с бутылкой пива, поплеывая семечки – "мне кажется, у этого Маска на ракете колебания всего 0.1 Гц! Боюсь, его ракета сейчас не выдержит такого нового суперколебания, и сейчас накроется их этот проект на Марс, гы-гы", см. [8] (этот текст хотя бы в некоторой степени был доведен до минимального соответствия русской грамматике и синтаксису). Какой же интеллектуальный дефицит надо иметь такому «звездочету», чтобы так ненавидеть свой этнос, и, в конечном счете, самого себя, и так пресмыкаться перед «белыми господами в пробковых шляпах»! Типичный современный люмпен и как бы «патриот», неосознанно рисуящий свой автопортрет.

Более спорить по этому вопросу смысла не имеет, единственное, что стоит сделать – это проанализировать механизмы возникновения таких психических процессов, являющихся к тому же автокаталитическими, то есть самоподдерживающимися, разновидностью которых, между прочим, оказываются процессы автоколебательные, и «пого» в их числе. Целесообразно хотя бы немного понимать, как и почему они появляются и развиваются, чтобы быть готовым к любым негативным их проявлениям в будущем.

Один из довольно очевидных атрибутов такого явления – конформизм. Адаптивное поведение индивидуума в первобытном племени, при варварстве или в цивилизованном, особенно, в авторитарном, и, тем более, в тоталитарном обществе, вырабатывает у него соответствующий стереотип. Особенно явно это видно у простых душ – только формирующих свою личность детей, которые в группе почти всегда повторяют то, что говорят другие, а не высказывают свое собственное мнение [10].

Однако, в отличие от детей, да еще живших полвека назад, которые, как показали психологические эксперименты, стремясь слиться с массой, все же испытывали при этом некоторый душевный дискомфорт, и на самом деле понимали, где черное, а где белое, современные конформисты занимают активные позиции – они не только в экстазе сливаются с большинством, но и не чужаются тратить свои личные ресурсы на то, чтобы подавить носителей любых иных мнений, по-видимому, потому, что ни на что конструктивное сами не способны. При этом их совершенно не интересуют какие-либо аргументы в пользу истинности или ложности любой идеи, они заранее «точно» знают, что истина – это то, на что указывают «все остальные». Это происходит потому, что, как писал Густав Лебон: «В действительности мысль людей преобразуется не влиянием разума. Идеи начинают оказывать свое действие только тогда, когда они после очень медленной переработки преобразовались в чувства и проникли, следовательно, в темную область бессознательного, где вырабатываются наши мысли» [11].

При этом в соответствии с психологией толпы [11] «точно знающие» заражают свое окружение, и их группа с общим темным бессознательным множится как раковая опухоль, часто поглощая вообще всех оказавшихся рядом. По сути, происходит ползучая сетевая реинкарнация «вечного фашизма» – «масса решает все» [12]. Хотя при этом «мнение» массы, как правило, формируется на основе мифов малыми группами, преследующими свои узкоэгоистические цели. И хуже всего, что это – естественный и, к тому же, автокаталитический процесс, разгоняющий сам себя. Видимо, прав был Т. Пратчетт, утверждавший: «Тот, кто создал людей, допустил большую ошибку. Люди так и норовят встать на колени».

Стремительное развитие этих тенденций в последнее время, вызванное надвигающимся системным кризисом и одновременно его подстегивающее, похоже, не оставляет шансов на светлое будущее человечества. Таким образом, во вполне локальном явлении – суперспайках, наблюдавшихся при полете одной из ракетных систем, и в том, что их сопровождало в «интеллектуально-информационной», а по сути, мифотворческой сфере, как в капле воды, отражается еще один из признаков грядущего глобального кризиса. Они – как зарницы далекой и бушующей пока еще за горизонтом, но неизбежной грозы. И камни, которых на небе, как точно было известно еще Французской академии наук, нет, скоро свалятся нам на головы, вне зависимости от того, каких мнений придерживались их носители.

Выводы

1. Суперспайки, специфические пары направленных вниз – вверх пиков на графике ускорения системы Starship в ее первом испытательном полете, отображали реальный физический процесс, происходивший с этой ракетной системой.
2. Стремление к признанию суперспайков мифом, то есть артефактами, связанными с ошибочной работой системы измерения и отображения данных, вызвано темным коллективным бессознательным, без включения разума.

Литература

1. Starship Flight Test. *SpaceX*, 20 April 2023 // <https://www.youtube.com/watch?v=-1wcilQ58hI>
2. OneSpeed – FAILURE: SpaceX Starship 1st Flight. *NASASPACEFLIGHT*, Reply #161, 20 April 2023 // <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=58669.msg2477879#msg2477879>
3. LeMay – SpaceX. *Астрофорум – астрономический портал. Новости астрономии и космонавтики*, 27.04.2023. с. 1625 // <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic,43103.32480.html>
4. Н. С. Степанов – Биения. *Большая российская энциклопедия 2004 – 2017* // <https://old.bigenc.ru/physics/text/1865847>
5. Ю. И. Лобановский – Причина аварии системы Starship в первом полете. *Synerjetics Group*, 05.10.2023, 20 с. // https://www.synerjetics.ru/article/starship_crash.pdf
6. Ю. И. Лобановский – Причины аварий обеих ступеней системы Starship во втором полете. *Synerjetics Group*, 04.12.2023, 10 с. // http://www.synerjetics.ru/article/second_flight.pdf
7. OneSpeed – Re: Starship Flight 7 UPDATES: Starbase TX: 16 Jan 2025 (22:37 UTC), *NSF* // <https://forum.nasaspaceflight.com/index.php?topic=61946.180>
8. Streamflow – Ю.И. Лобановский. Причины аварий системы Starship. *Астрофорум – астрономический портал. Клуб общения звездочетов*, 20.04.2023, с. 1 // <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic.212397.0.html>
9. Андрей Астрофизический – Ю.И. Лобановский. Причины аварий системы Starship. *Астрофорум – астрономический портал. Клуб общения звездочетов*, 28.04.2023, с. 2 // <https://astronomy.ru/forum/index.php/topic.212397.20.html>

10. Обе белые пирамидки. Социальный эксперимент («Я и другие», 1971). *YouTube* // https://www.youtube.com/watch?v=35w7MV5j_a0
11. Г. Лебон – Психология народов и масс. RoyalLib.com, (1895), 133 с. // https://royallib.com/book/lebon_g/psihologiya_narodov_i_mass.html
12. Х. Ортега-и-Гассет – Восстание масс. RoyalLib.com, (1930), 211 с. // https://royallib.com/book/ortegaigasset_hose/vosstanie_mass_sbornik.html

Москва,
17.02.2025

Ю. И. Лобановский