Д.т.н. проф. - Н.В. Гулиа

Накопитель энергии «Кинетик» на основе супермаховика – самый зелёный, долговечный, мощный, безопасный и эффективный!

Супермаховик – это маховик высокой удельной энергоемкости, изготовленный методом навивки с натягом на упругий центр материалов с высокой одноосной прочностью – проволок, лент, волокон со связкой (склейкой). Эксплуатируется супермаховик не в воздушной среде, а в среде с пониженными сопротивлениями вращению, например вакууме. Первый патент на супермаховик (в патенте он назван просто маховиком, назвать изобретение неизвестным термином было нельзя) имел советский приоритет от 15.05.1964г. №1048196, автор – Гулиа Н.В., а первые запатентованные зарубежные аналогичные (витые) маховики имели приоритет лишь от января 1965 года.

Несмотря на существующие три основных вида супермаховиков – **проволочные, ленточные и волоконные** – распространение в технике получили лишь волоконные. Еще бы – волокна, особенно углеродные, отличаются исключительной прочностью при малой плотности. А удельная энергоемкость (запасенная энергия в каждом килограмме массы) маховика прямо пропорциональна прочности его материала и обратно пропорциональна его плотности. Поэтому, даже, если прочность углепластика, в который превратилось навитое со связующим углеволокно, равна прочности лучшей стали, то удельная энергоемкость супермаховика из углепластика будет в 5…6 раз больше, чем у стального. Потому, что во столько же раз плотность углепластика меньше плотности стали.

Навивка углеволокна со связкой – процесс технологически хорошо проработан, и углепластиковые супермаховики (рис.1) сегодня самые распространенные, но и самые дорогие, ненадежные и разрывоопасные (рис.2).

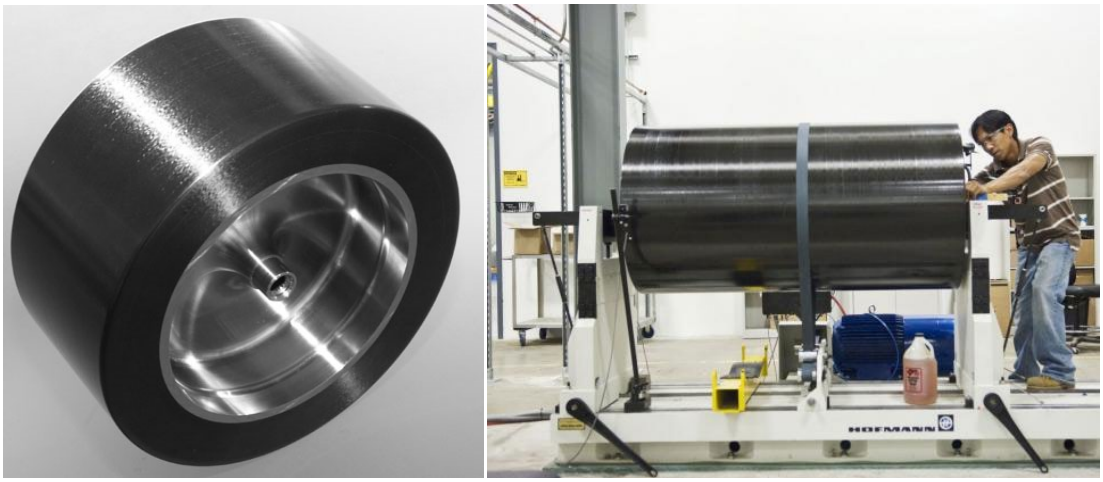


Рисунок 1 – Углеволоконные супермаховики.

Проволочные супермаховики не прижились в технике из-за неустойчивости поведения проволочной навивки при высоких напряжениях в проволоке.

Витые из волокон со связкой, в том числе и из обычных углепластиков, супермаховики имеют и недостатки, о которых надо упомянуть. Не может не удивлять то, что вокруг супермаховика из углепластика помещено толстенное и тяжеленное «броневое» кольцо, превышающее по массе сам витой супермаховик. Ведь супермаховики при их случайном разрыве не дают осколков. Да и потом, разве нельзя не доводить частоту их вращения до предельной?

А дело в том, что, во-первых, разрыв углепластикового супермаховика хоть и безосколочен, но по мощности равен взрыву безоболочечного фугаса, той же массы (рис.2). И эта мощность – немалая.

Рисунок 2 – Последствия разрыва волоконного супермаховика.

Во-вторых, исследования напряженного состояния навитой части супермаховика показывают, что усталостные и ряд других явлений, могут привести к случайному разрыву витых волоконных супермаховиков. По этой причине и надевается бронекольцо на корпус супермаховика или корпус заглубляется в землю.

В результате теряется главное достоинство супермаховика – малая масса или мобильность. И при этом остаются другие недостатки – огромная частота вращения, требующая особых (магнитных) подшипников, высокого вакуума в корпусе. Из-за этой высокой частоты вращения нельзя «вывести» вал небольших супермаховиков (менее двух метров в диаметре) наружу из корпуса с помощью существующих уплотнений.

А теперь рассмотрим супермаховики ленточные и их специфические свойства и преимущества.

Каков он – ленточный супермаховик?

Впервые ленточные супермаховики были изготовлены и испытаны Н.В. Гулиа в 1966 году. Изготовлены они были из стальной холоднокатаной ленты толщиной 0,1 мм и шириной 40 мм (рис.3) со склейкой ленты клеем БФ-6 с волоконным наполнителем. Навивалась лента на фанерный центр, в котором был закреплен гибкий валик для подсоединения к разгонному стенду ВРД-300 в ЦНИИТМАШ. Все работы производились, конечно же, вручную, как говорят на «коленке». Стенд ВРД-300 позволял испытывать маховики только до 300 мм диаметром, поэтому диаметр супермаховиков был всего 280 мм.

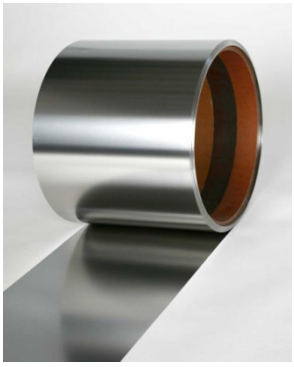


Рисунок 3 – Стальная лента для изготовления ленточного супермаховика.

Ленту удалось найти только 2-й группы прочности, она менее прочна, чем 3-й группы прочности. Предел прочности, соответственно, 1600 МПа, вместо около 2000 МПа у 3-й прочности. Но, несмотря на «ручное» изготовление и не самую лучшую ленту, результаты испытаний были впечатляющие. Супермаховик разогнался более, чем до 28000 оборотов в минуту, окружная скорость его достигла **400 м/сек**, а напряжения в ленте – 1300 МПа. Удельная энергоемкость супермаховика достигла **80 кДж/кг**, что существенно больше, чем у любых стальных маховиков того времени. Следует заметить, что мощность, воспринимаемая и отдаваемая супермаховичным накопителем зависит только от типа привода и прочности самого вала. Академик П.Л. Капица, разрабатывавший систему возбуждения термоядерной реакции на основе маховиков, говорил, что

мощность даже небольшого маховика может быть равна мощности ДНЕПРОГЭСа! Конечно, это сравнение образное, но оно отвечает сути дела.

Но главное – разрыв ленточных супермаховиков был совершенно безопасен! Разрывался лишь внешний виток ленты, он отходил от навивки и прижимался к внутренней поверхности корпуса супермаховика, иначе говоря, корпуса испытательного стенда. Тоненькая (1мм) стенка этого корпуса даже не выпучилась от этого прижима, только отшлифовалась изнутри от трения ленты. После этого обрезался изношенный конец ленты, приклеивался снова и испытывался супермаховик. Результаты были те же (рис.4).

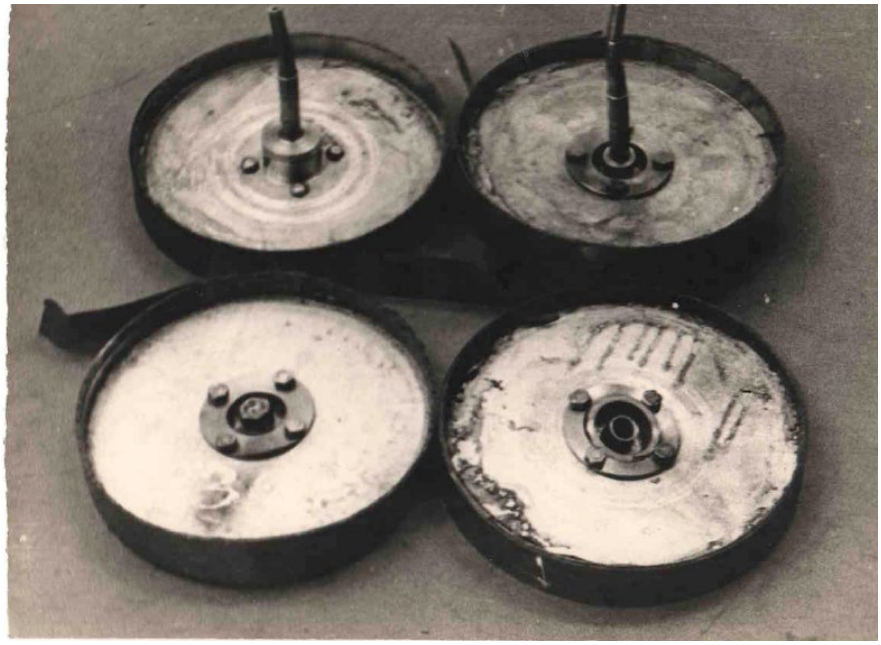
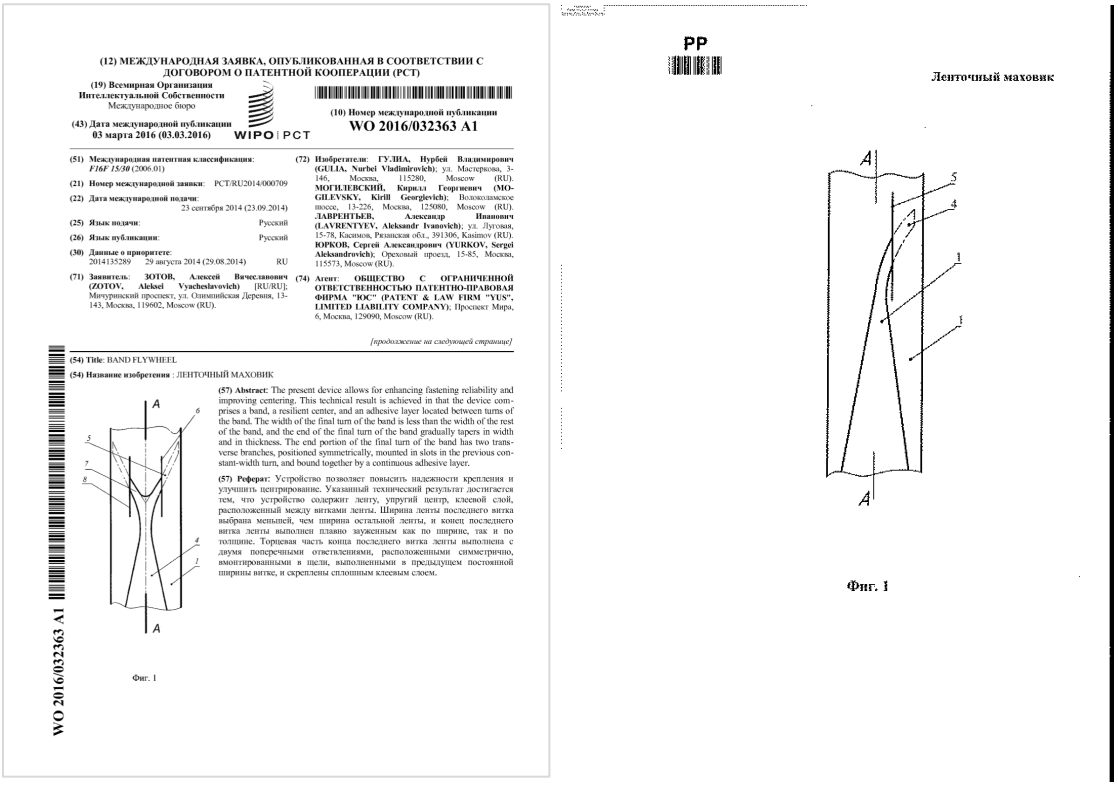


Рисунок 4 - Супермаховики Н.В.Гулиа после испытаний (1966г.)

Пару слов о том, как приклеивался последний виток ленты. Если просто приклеить его «внахлест», то он отрывался даже при небольшой частоте вращения супермаховика. Но мы приклеивали его «по-хитрому» (на способы такой склейки потом были получены патенты!). Мы плавно сужали ширину ленты, делали несколько витков этой узкой лентой, а затем конец подсовывали под эти витки. Конец ленты обрывался, а не «выдирался» из-под навивки. Это-то и требовалось для ленточного супермаховика! В настоящее время компанией «Кинетик» предлагается несколько способов закрепления последнего витка и на все получены патенты (рис.5).



(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
03 марта 2016 (03.03.2016)

WIPO | PCT

(10) Номер международной публикации
WO 2016/032363 A1

(51) Международная патентная классификация:
F16F 15/30 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2014/000709

(22) Дата международной подачи:
23 сентября 2014 (23.09.2014)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(30) Данные о приоритете:
2014135289 29 августа 2014 (29.08.2014) RU

(71) Заявитель: **ЗОТОВ, Алексей Вячеславович (ZOTOV, Aleksei Vyacheslavovich)** [RU/RU]; Мичуринский проспект, ул. Олимпийская Деревня, 13-143, Москва, 119602, Moscow (RU).

(72) Изобретатели: **ГУЛИА, Нурбей Владимирович (GULIA, Nurbei Vladimirovich)**; ул. Мастеркова, 3-146, Москва, 115280, Moscow (RU). **МОГИЛЕВСКИЙ, Кирилл Георгиевич (MOGILEVSKY, Kirill Georgievich)**; Волоколамское шоссе, 13-226, Москва, 125080, Moscow (RU). **ЛАВРЕНТЬЕВ, Александр Иванович (LAVRENTYEV, Aleksandr Ivanovich)**; ул. Луговая, 15-78, Касимов, Рязанская обл., 391306, Kasimov (RU). **ЮРКОВ, Сергей Александрович (YURKOV, Sergei Aleksandrovich)**; Ореховый проезд, 15-85, Москва, 115573, Moscow (RU).

(74) Агент: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ ПАТЕНТНО-ПРАВОВАЯ ФИРМА "ЮС" (PATENT & LAW FIRM "YUS", LIMITED LIABILITY COMPANY)**; Проспект Мира, 6, Москва, 129090, Moscow (RU).

[продолжение на следующей странице]

(54) **Title**: BAND FLYWHEEL

(54) **Название изобретения** : ЛЕНТОЧНЫЙ МАХОВИК

(57) **Abstract**: The present device allows for enhancing fastening reliability and improving centering. This technical result is achieved in that the device comprises a band, a resilient center, and an adhesive layer located between turns of the band. The width of the final turn of the band is less than the width of the rest of the band, and the end of the final turn of the band gradually tapers in width and in thickness. The end portion of the final turn of the band has two transverse branches, positioned symmetrically, mounted in slots in the previous constant-width turn, and bound together by a continuous adhesive layer.

(57) **Реферат**: Устройство позволяет повысить надежности крепления и улучшить центрирование. Указанный технический результат достигается тем, что устройство содержит ленту, упругий центр, клеевой слой, расположенный между витками ленты. Ширина ленты последнего витка выбрана меньшей, чем ширина остальной ленты, и конец последнего витка ленты выполнен плавно зауженным как по ширине, так и по толщине. Торцевая часть конца последнего витка ленты выполнена с двумя поперечными ответвлениями, расположенными симметрично, вмонтированными в щели, выполненными в предыдущем постоянной ширины витке, и скреплены сплошным клеевым слоем.

Фиг. 1

WO 2016/032363 A1

PP

Ленточный маховик

Фиг. 1

Рисунок 5 – Патенты компании «Кинетик» на устройство крепления последнего витка супермаховика.

Надо сказать, что ленточные супермаховики изготавливались и испытывались (уже позже) известным специалистом по супермаховикам, изобретателем Дэвидом Рабенхорстом в университете Д. Хопкинса (США). Но его ленточные супермаховики, изготовленные, кстати, из очень прочной ленты из стали аморфной структуры (метгласса), разрывались не так безопасно, как вышеописанные супермаховики Н.В. Гулиа. Супермаховики Д.Рабенхорста разрывались целиком, распадаясь на мелкие обломки (рис.6), совсем как углепластиковые маховики, что небезопасно и о чем уже говорилось ранее. В чем же дело?

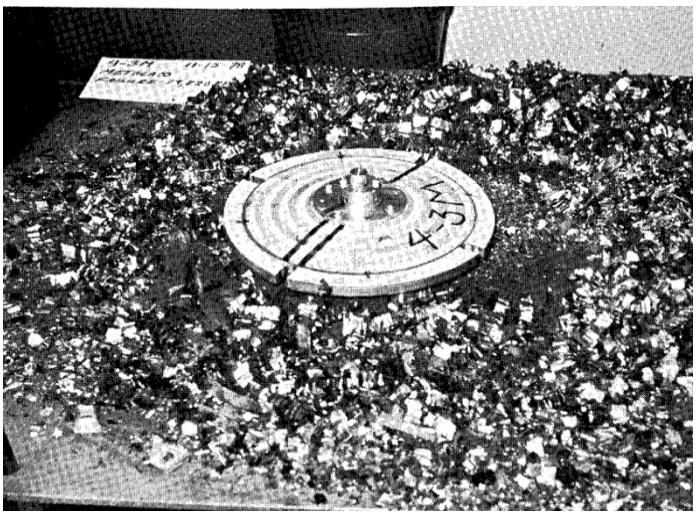


Рисунок 6 - Разорванный ленточный супермаховик Д.Рабенхорста (1977г.).

Тут необходимо небольшое отступление в теорию упругости, но в чрезвычайно упрощенном виде. При вращении тонкого кольца в нем возникают механические напряжения σ в Паскалях:

$$\sigma = \rho\omega^2 r^2, \qquad (1)$$

где ρ -плотность материала кольца, кг/м^3;

ω – угловая скорость вращения кольца, радиан в секунду;

r – радиус кольца, м.

Стало быть, если витки ленты не связаны друг с другом, то внешний виток, где радиус r максимален, напряжен больше других. Но если витки не склеивать, они отойдут друг от друга, собьются на сторону и нарушат балансировку. Такой супермаховик и раскрутить будет невозможно!

Теперь посмотрим, какие же напряжения возникают в ленточном супермаховике, если все витки ленты жестко соединены друг с другом, как бы сварены. Здесь максимальные напряжения уже не во внешнем витке, а во внутреннем, причем максимума они достигают, когда диаметр этого внутреннего витка бесконечно мал, практически равен нулю.

$$\sigma \approx 0,825\rho\omega^2 r^2. \qquad (2)$$

То есть эти напряжения приближаются к значению для тонкого кольца. А внешний виток («приваренный» к остальным) напряжен совсем незначительно, примерно в 5 раз меньше. Таким образом, разорваться уже должен не внешний, а внутренний виток, а за ним, как по цепной реакции, и все остальные! Разрыв станет опасным, так как разорвется весь супермаховик!

Примерно так поведет себя и ленточный супермаховик с отверстием любого диаметра.

А если витки супермаховика не сварены, а склеены друг с другом клеем, который поэластичнее сварки? Где будут тогда максимальные напряжения, и какой виток разорвется первым?

Тут уже задача посложнее предыдущих, но кратко можно ответить так.

- Жесткие клеи, наподобие эпоксидных без пластификатора, дают картину, очень близкую к сварной модели – внутренние витки будут напряжены больше наружных и разрыв такого супермаховика будет полным и опасным.

- Очень эластичные клеи, по эластичности ближе к каучуковым клеям, «выравнивают» напряжения во внешнем и внутренних витках, и в зависимости от эластичности и толщины слоя клея максимальные напряжения могут быть как во внешнем витке (разрыв безопасен), так и во внутреннем витке (разрыв опасен). Но эти напряжения меньше, чем максимальные напряжения в «жестком» (сварном) супермаховике и в тонком кольце. Полагаться при этом на точность значений этих напряжений, зависящих от слоя клея, опасно – гарантировать, что первым разорвется внешний, а не внутренний виток, нельзя.

- Случай, когда один или малое число витков (один-три) внешних витка практически отсоединены от остальных (внутренних) витков, склеенных эластичным клеем, наиболее желателен. Тогда в любом случае внешние витки будут напряжены больше внутренних, да еще, если они ослаблены закреплением конца навивки, и разорвутся именно эти внешние витки. Разрыв супермаховика будет безопасным. Клеить эти витки можно сверхэластичными

клеями (таких существует много!), да еще достаточно толстым слоем (0,3..0,5 мм) при толщине ленты 0,1 и более миллиметров.

Итак, сделаем основные выводы по ленточным супермаховикам.

Рисунок 7 – Опытные образцы супермаховичных накопителей энергии

1. Ленточный супермаховик изготовляется из материала с детерминированными свойствами – металла, и поэтому вероятность случайного разрушения ленты где-то внутри навивки исключительно мала.

2. Даже в случае состыковки между собой концов двух разных кусков ленты (случай, обязательно встречающийся при навивки крупных супермаховиков), месторасположение максимальных напряжений почти не изменится. Это обусловлено тем, что даже небольшая длина склейки выдерживает на сдвиг силу, превышающую разрывную для ленты. Поэтому в зоне нарушения целостности ленты возникнет ничтожное по величине

повышение напряжений в близлежащих внешних и внутренних витков, не влияющее на безопасность разрыва.

3. Для обеспечения, при превышении супермаховиком «дозволенной» частоты вращения, разрыва именно внешних витков, что гарантирует безопасность выхода из строя супермаховика, эти витки должны быть максимально изолированы по силовому воздействию с остальными витками ленты, что достигается различными способами.

Углеволонные высокопрочные ленты, как материал для ленточных супермаховиков

С открытием такого перспективного материала, как графен, ученые и инженеры начали поиск его практического применения.

Наиболее эффектным практическим применением графена является так называемая графеновая бумага (**Graphene paper - GP**). Она образуется при соединении друг с другом тончайших графеновых пленок до толщины 1...3 микрометров и более. Получается гибкий и чрезвычайно прочный материал, чем-то похожий на бумагу, но несколько потяжелее ее (плотность GP около 1400 кг/м^3), а главное – на порядок прочнее углеродистой стали. Графеновая бумага (рис.8) была получена учеными технологического университета города Сиднея (Австралия) под руководством профессора Госю Вана. Предполагается, что графеновая бумага благодаря низкой стоимости, потеснит даже углепластики, находящие себе широчайшее применение, в том числе и для изготовления супермаховиков. А ведь кроме низкой стоимости, графеновая бумага, выпускаемая в виде тонких лент, может служить великолепным материалом для изготовления ленточных супермаховиков!

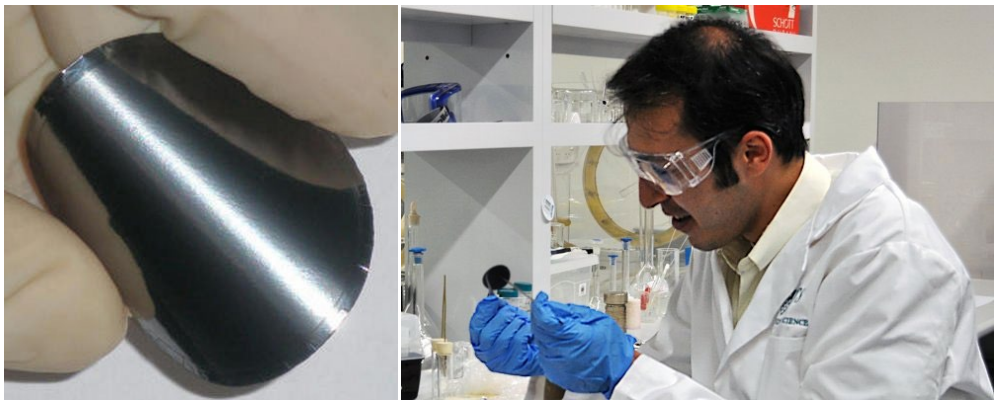


Рисунок 8 – Графеновая бумага.

Посмотрим, что может дать использование графеновой бумаги в качестве материала для ленточных супермаховиков, основные свойства которых были

описаны выше. Так как плотность графеновой бумаги в среднем в 5,5 раз ниже плотности стали, а прочность в 10 раз больше, удельная энергоемкость e выразится:

$$e = k\frac{\sigma}{\rho}, Дж/кг, \qquad (3)$$

где k – коэффициент формы супермаховика, как, впрочем, и любого тела вращения, для тонких колец, из которых состоит супермаховик, k=0,5;

σ - напряжение, Па;

ρ - плотность материала, кг/м^3.

Хочется отметить, что формула (3) была впервые опубликована в 1965 году, то есть почти полвека назад аспирантом Н.В. Гулиа в ведущем отечественном техническом журнале «Вестник машиностроения». Как, собственно, и обоснование точных знаний коэффициентов формы для различных тел вращения.

Итак, согласно формуле (3) удельная энергоемкость ленточных супермаховиков из графеновой бумаги будет выше, чем у таковых из стальной ленты в 5,5x10=55 раз! Если взять для сравнения даже первый ленточный супермаховик, изготовленный из ленты «второсортной» прочности и на «коленке», имевший удельную энергоемкость 80 кДж/кг, то удельная энергоемкость нового супермаховика составит 4,4 МДж/кг. В киловатт-часах это составит свыше 1,2 кВт*ч/кг, что во много раз выше, чем у любых других накопителей энергии. А если взять для сравнения стальную ленту высокого качества, то тогда эта цифра будет еще выше! Важно только знать с какой сталью сравнивали прочность графеновой бумаги ее создатели.

И если с прочностью нового материала еще имеется хоть какая-то ясность, то с модулем упругости графеновой бумаги этой ясности нет. В разных источниках этот показатель трактуется по-разному, разные приводятся и цифры. Поясним сказанное.

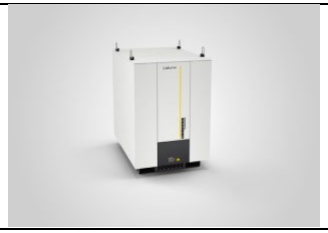
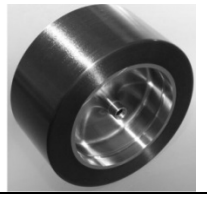
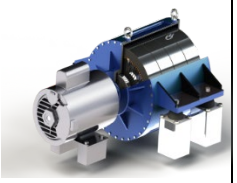
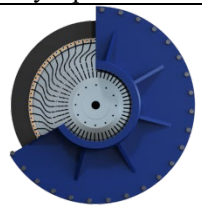
В большинстве источников говориться, что модуль упругости при изгибе или изгибная жесткость графеновой бумаги в 13 раз больше, чем у стали. Другие же

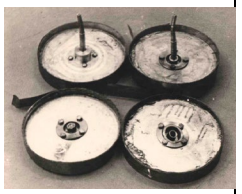
источники утверждают, что модуль упругости или модуль Юнга близок к таковому у стали, чуть превышая его. Это чистой воды недоразумение.

Модуля упругости «при изгибе» не бывает. Изгибная же жесткость выражается как произведение модуля упругости (модуля Юнга) на осевой момент инерции поперечного сечения ленты, зависящий только от размеров сечения ленты. Так что, если изгибная жесткость выше, чем у стали в 13 раз, то и обычный модуль упругости (модуль Юнга) выше во столько же раз. Если бы речь шла о сдвиге, то там совсем другой модуль - сдвига, меньший, а не больший модуля Юнга. Одним словом, при конструировании ленточного супермаховика из графеновой бумаги надо рассчитывать, что прочность ее может быть действительно раз в 10 больше, чем у стали. А модуль упругости надо принимать в расчете минимальный, то есть чуть больше, чем у стали. Почему же так? Потому, что при конструировании витых, в том числе из ленты, супермаховиков, решающее значение имеет плотность посадки витого обода на центр. Если центр при вращении «растягивается» меньше, чем внутренняя поверхность обода супермаховика, то обод просто потеряет связь с центром, соскочит с него. Следовательно, при конструировании центра в расчет надо принимать наименее жесткий материал ленты, с минимальным модулем упругости, так как в этом случае внутренняя поверхность обода будет «растягиваться» максимально. Особенно в случае максимальных напряжений в ленте, каковые (в 10 раз больше, чем у стали!) мы принимаем. Вот какими обстоятельствами вызвано наше, странные на первый взгляд, предположение о прочности и модуле упругости графеновой бумаги!

Отметим, что в качестве материала может быть также использована высокопрочная углеволоконная лента, производимая из параллельных нитей углеродных волокон со склейкой.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ

Тип накопителя / Параметр	Литий-титанатные (химические, с минимальным временем циклов)	Суперконденсаторы (электростатические)	Накопители кинетические энергии			
			Монолитные маховики	Углеволоконные супермаховики	Ленточные супермаховики	Перспективный супермаховик
Изображение накопителя энергии						
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг	60-100 ☑	менее 1 ☑	менее 10 ☑	15-30 ☑	не менее 22 ☑	не менее 1200 ☑☑☑
Время оптимальной зарядки, с	более 864 с ☒	15 с ☑	15 с ☑	15 с ☑	менее 15 с ☑	Зависит от мощности устройства зарядки (может быть крайне мало)
% заряда от направляемой энергии (энергетическая эффективность)	менее 1,7% за 15 секунд ☒	менее 50% ☑	более 85% ☑	более 85% ☑	более 85% ☑	Не исследовано
КПД накопителя при минимальном времени хранения энергии	более 70% ☑	менее 50% ☑	более 85%	более 85%	более 85% ☑	Не исследовано, ожидается на уровне ленточных супермаховиков
Стоимость 1 кВт*ч полезной емкости, млн. руб	0,106 ☑	3,8 ☑	более 2	более 2	1,46 ☑	Зависит от стоимости графеновой бумаги
			20-25 лет	20-25 лет	20-25 лет	

Расчетный ресурс	5 лет, подвержены «старению», более существенному, чем цикличности при 1,7% зарядки/разрядки ☑	10 лет *(при строгом соблюдении температурного режима и рабочего тока)* ☑	☑	☑	☑	Ориентировочно 20-25 лет ☑
Климатические условия эксплуатации	требуют дополнительной автономной системы поддержания температуры с энергетическими затратами ☑	требуют дополнительной автономной системы поддержания температуры с энергетическими затратами ☑	нечувствительны к температурным колебаниям	нечувствительны к температурным колебаниям	нечувствительны к температурным колебаниям ☑	Не исследовано
Опасность при аварии	Пожароопасные (многочисленные возгорания на электротранспорте) ☑	Взрывоопасные (взрыв суперконденсатора) ☑	Крайне опасные при разрыве (разлет высокопробивных осколков) ☒☒☒	Опасные при разрыве (разлет высокоэнергетической пыли – фугасное действие) ☒☒	Разрывобезопасные (безопасный разрыв последнего витка и торможение трением о корпус)  ☑	Ожидается разрывобезопасность, как у ленточных супермаховиков
Колебания мощности в зависимости от глубины разряда	малые ☑	значительные ☑	малые	малые	малые ☑	Ожидаются средние колебания мощности

Из чего делать центр?

Для стальных ленточных супермаховиков вполне подходит центр из текстолита конструкционного ПТК (рис.9). Он и достаточно прочен, и модуль упругости у него невысок, то есть упругое удлинение, или «вытяжка» по диаметру при вращении достаточно большая, больше, чем у стальной ленты. Поэтому, если уж мы вставим центр в ленточный супермаховик, а точнее навили стальную ленту на текстолитовый центр, прилегание друг к другу этих двух деталей при увеличении частоты вращения будет все увеличиваться. Упругое удлинение внутренней поверхности ленточного супермаховика никогда не превысит полпроцента. Ведь напряжения во внутреннем витке навивки стальной лентой никогда не превысит 1 ГПа, а модуль упругости стали – в 200 с лишним раз больше!

Рисунок 9 – Текстолит для изготовления центральной части ленточного супермаховика.

Если же рассчитывать на то, что прочность графеновой бумаги в 10 раз больше, то есть напряжения во внутреннем витке графеновой ленты составят 10 ГПа, а модуль упругости будет больше, чем у стали, допустим в 1,2 раза (это и есть «чуть» больше!), то упругое удлинение этого внутреннего витка составит чуть более 8%. Такого упругого удлинения никакой текстолит не выдержит, тут нужен какой-нибудь материал, типа твердой резины. Но такие, и даже более твердые сильнорастяжимые материалы – пластмассы, теряют устойчивость при сверхвысоких частотах вращения. Материал из центральной зоны стремится наружу с огромной силой и разрушается, начиная с центральных зон. А еще раньше он просто теряет устойчивость и «выбрасывается» набок. Опыты Н.В. Гулиа с супермаховиками из высокопрочного стеклопластика показали, что ни текстолит, ни жесткая резина не выдерживают частоты вращения, вернее, огромной скорости и напряжений при этом $\sigma = \rho v^2$, даже для стеклопластика. А у графеновой бумаги эти показатели в разы больше! Что делать?

Отвечаем: если уж в качестве ленты для супермаховика мы выбираем уникальный материал – графеновую бумагу, то и центр для такого супермаховика надо будет делать тоже из уникального, хотя и менее, чем графеновая бумага. Этот материал – сплав никеля и титана, называется **нитинолом** (у него есть и другие названия), и известен он как материал с «памятью» формы. И, оказывается, что у этого материала, есть другие, менее известное, но ценное для нас свойство – **псевдоупругость**. Если коротко, то этот материал, термообработанный особым образом, может деформироваться, с первого взгляда упруго, на порядок и более, чем лучшие стали.

В действительности, эта деформация не упругая, а «псевдоупругая», с виду упругая, а в действительности, связанная со структурными преобразованиями в материале. Такая деформация обеспечивает даже большее число циклов, чем упругая деформация. Всем она хороша, только, если растянуть проволоку из такого материала с силой в 500 Ньютонов на 8..10% (т.е. в 20 раз больше, чем сталь!), а потом отпустить, то сжимаясь до прежних размеров, она разовьет силу всего 200…300 Ньютонов. Вот такой большой гистерезис у этого материала

(рис.10)! И даже несмотря на это из него делают так называемые «суперпружины», деформирующиеся больше, чем обычные до 20 раз!

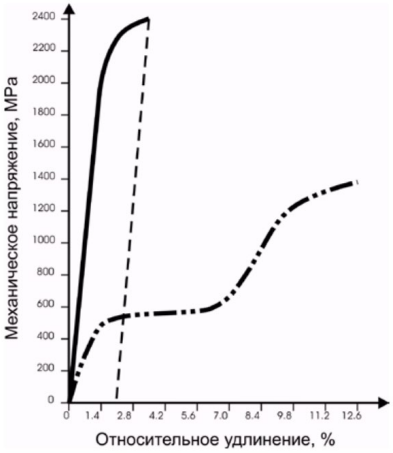


Рисунок 10 - Схема позволяющая сравнить упругие свойства нержавеющей стали и NiTi сплава. При относительном удлинении свыше 1.5-2% такой материал, как нержавеющая сталь мгновенно разрушается, а NiTi сплав нет вследствие смены фазового состояния. Однако прочностные характеристики стали гораздо выше чем у NiTi в пределах небольших упругих деформаций.

Нам же для использования в качестве центра супермаховика, такой гистерезис никакой роли не играет; центр из нитинола «отследит» любую упругую деформацию внутреннего витка супермаховика из графеновой бумаги, постоянно прижимаясь к этому витку (внутренней поверхности обода супермаховика). При этом прочность нитинола – что у хороших углеродистых сталей – до 1,3 ГПа. Цена, конечно же, повыше, чем у стали, но ведь и графеновая бумага, как бы она ни была дешева, подороже стальной ленты будет! Зато киловатт-часы, накопленные в каждом килограмме массы этого супермаховика, при недостижимой ни для какого другого накопителя удельной мощности, да еще при его безопасном выходе из строя при случайном (или злонамерном!) превышении допустимой частоты вращения – поистине, должны цениться дороже золота!

Если углеродная лента навита без сохранения толщины слоя клеевой прокладки между витками ленты, то при разрыве несущей ленты деформируется слой клеевой прокладки, что вызывает непредсказуемые изменения напряжений в несущей ленте и разрыв всей навивки (т.е. супермаховика). Если же толщина прокладки сохраняется неизменяющейся толщины, например, выполнением слоя клея с проложенными внутри него тех же углеродных волокон, только с достаточными интервалами между отдельных волокон, навитых, например, волнистым образом, что устраняет опасные напряжения в этих волокнах, то при разрыве отдельного витка несущей ленты сохраняется толщина клеевой прослойки, что превращает этот виток вместе с пограничными клеевыми прокладками в одну толстую клеевую прокладку, незначительно изменяющую напряжение в пограничных витках несущей ленты. При этом число этих витков так велико, что почти не изменит напряжений в них. Однако, несколько внешних витков, предназначенных для разрыва и отгороженных от внутренней навивки отдельным толстым слоем упругой прокладки, почти не изменят напряженного состояния, выполненного несколько большим (примерно в полтора раза), что обеспечит разрыв именно этих витков, безопасный для витков внутренних.

Перспективные применения ленточных супермаховиков

Перспективы топливных элементов и их гибридов.

Сейчас идет много разговоров о грядущей замене тепловых двигателей на автомобилях на перспективные электроаккумуляторы. Некоторые "прогнозисты" считают, что такая замена в скором времени будет носить массовый характер. Однако специалисты в этом направлении, утверждают, что этого, по крайней мере, в ближайшем столетии, не произойдет. Дело в том, что мощность всех электростанций мира в разы меньше мощности всех автомобилей. Поэтому для вышеупомянутой замены надо будет, как минимум, отключить всех потребителей электроэнергии от сетей. Но и это не обеспечит зарядку всех электроаккумуляторов в качестве двигателей автомобилей. Если речь пойдет о

троллейбусах, то это легче всего - тут надо будет просто устранить троллейные провода и заменить их электроаккумуляторами. Правда и это не очень экономично - надо будет возить с собой немалый вес самих электроаккумуляторов, да и экономичность будет гораздо меньше, т.к. скажется КПД зарядки-разрядки электроаккумуляторов. Но Бог с ними, с такими "прогнозистами" силовых агрегатов автомобилей будущего! Не первый и не последний раз они ошибаются! Но тепловые двигатели на автомобилях, особенно городских автобусах, на наш взгляд должны быть заменены. Но на какой же силовой агрегат, если электроаккумуляторы не подходят? А есть такой вид источников энергии - топливные элементы. Топливные элементы – это электрохимические устройства, использующие водород, окись углерода (CO) либо газообразные органические топлива и кислород воздуха для производства электрической и тепловой энергии. Процесс производства электроэнергии в топливных элементах значительно более эффективен, чем в тепловых машинах. Кроме того, в топливных элементах нет движущихся частей и минимизирована роль сжигания топлива, что делает процесс бесшумным и экологически чистым. Правда, удельная мощность у этих топливных элементов невелика. Но это легко исправимо - стоит только включить в силовой агрегат маховичные накопители (каковыми мы и занимаемся), чтобы в десятки раз повысить необходимую мощность силового агрегата на определенное время. Это время будет зависеть от параметров маховичного накопителя (энергоемкости, мощности, КПД), которые будут заданы разработчиками. Обычное равномерное движение автомобиля требует мощностей намного меньших установочной мощности его силового агрегата. Такое движение, в принципе, способны обеспечить топливные элементы. Но интенсивный разгон, например, как у городского транспортного средства, требует реальных больших мощностей. И чем динамичнее разгон, тем мощность должна быть выше. У автомобилей премиальных классов максимальная мощность действительно очень высока - сотни "лошадей" (правильнее, конечно, киловатт!). Но такую мощность, конечно, не на очень долгое время, вполне способен обеспечить маховичный накопитель - в этом его основное отличие от

всех других накопителей энергии. Поэтому "гибрид" топливного элемента и маховичного накопителя на наш взгляд - наиболее перспективный вариант для массового автомобиля, особенно городского. Такой автомобиль будет экологичным и обладать отличными динамическими качествами, что особенно необходимо для современного города. К тому же маховичный накопитель позволит рекуперировать (накоплять и оперативно возвращать) энергию торможения автомобиля, которая для городского автомобиля достаточно велика. Это повысит экономичность автомобиля, что было проверено многочисленными испытаниями автомобилей, снабженных маховичными накопителями. Стоит отметить, что идея использования гибрида топливных элементов и супермаховиков на автомобилях пришла автору Н.В. Гулиа гораздо раньше этой публикации. В 2005 году вышла в свет книга «Удивительная механика», где целый раздел посвящен упомянутым гибридам. Тогда топливные элементы только разрабатывались и не были достаточно совершенными для коммерческого использования. Напомним, что сейчас очень перспективным является применение так называемых «горячих» топливных элементов, где в качестве топлива может выступать метан, пропан, этанол и др. виды топлива. Однако они громоздки и для автомобиля не подходят. Тем более они требуют значительное время для «разогрева». Но такие устройства могут размещаться стационарно вместе с накопителями кинетической энергии и использоваться как источник электроэнергии для зарядки электротранспорта. Тем более, объединив их с тепловыми накопителями можно обеспечивать зарядку электротранспорта не только электроэнергией, но и теплом, что очень актуально для обогрева салона электробуса (сейчас отапливаемым печью со сжиганием дизельного топлива с выделяемыми вредными выбросами).

Разработана ядерная батарея, способная работать до 50 лет без подзарядки.

Производители прилагают все усилия для того, чтобы используемые в настоящее время батареи имели постоянно растущую плотность энергии и могли выдерживать внезапные скачки напряжения. Но одна китайская компания изменила ситуацию и думает не о технологии, которая хранит энергию, а о технологии, которая ее производит.

Это не обычное решение, но компания под названием Betavolt придумала именно его. Они разработали установку для производства энергии на основе ядерных изотопов, которая может вырабатывать электричество в течение 50 лет. Больше никаких зарядок, никаких дозаправок, только непрерывная, экологически чистая езда на электричестве. Звучит неплохо, правда? Но мы еще не дошли до этого, мы только на пути к этому.

Компания Betavolt называет свою батарею радиоизотопным источником энергии из-за принципа ее работы. Он высвобождает энергию при распаде ядерных изотопов и может преобразовывать ее в электричество. Настоящей инновацией является последний процесс, который осуществляется с помощью полупроводниковых пластин из монокристаллического алмаза толщиной 10 микрон. Радиоактивный изотоп никеля-63 толщиной 2 микрона вставляется между этими конвертерами. Переход бета-частиц (электронов), высвобождаемых из этого источника, генерирует электрический ток.

Используя эту технологию, компания Betavolt выпустила свой первый аккумулятор - BV100. Цифра в названии говорит о том, что она способна генерировать всего 100 микроватт энергии при напряжении 3 вольта. Это все еще очень мало, но толщина всего устройства составляет всего полдюйма, а длина и ширина 1,5 см.

Пока источник имеет низкую производительность, но он может работать до 50 лет. По данным Betavolt, BV100 способен безопасно производить 8,64 Дж в день

и 3 153 Дж в год. В следующем году компания планирует выпустить аккумулятор, способный вырабатывать до 1 Вт энергии.

Конечно же, будет много споров о безопасности технологии, что в какой-то степени понятно. В свое время компания Ford экспериментировала с концепт-каром под названием Nucleon, в котором энергию для движения автомобиля вырабатывал уменьшенный ядерный реактор. У этого концепта была своя доля подводных камней, особенно с радиацией, но Betavolt BV100 - совсем другое дело. По словам китайской компании, батарея не имеет внешнего излучения, и не загорается, не взрывается при повреждении корпуса.

Он также очень экологичен, поскольку инженеры создали устройство, легко поддающееся переработке в конце 50-летнего жизненного цикла. По окончании периода распада никель-63 превращается в стабильный изотоп меди, который не является радиоактивным и не загрязняет окружающую среду. Тем не менее, компания Betavolt не прекращает эксперименты по поиску других изотопов для достижения наибольшей эффективности. На данный момент планируется использовать стронций-90 и прометий-147 для батареи. Это может сократить срок службы устройства, но, по прогнозам, оно все равно прослужит 30 лет, что постепенно становится гораздо дольше срока службы среднего автомобиля.

Для чего будет использоваться технология, пока неизвестно. По мнению Betavolt, она может быть использована практически для всего, будь то телефоны, дроны или любые портативные электронные устройства. Идея использования технологии в электромобилях пока далека, но ничего не исключено. Если она действительно будет работать в таком виде, то, скорее всего, изменит не только автомобильную индустрию, но и весь мир.

Поясним, как мы это представляем себе. Упомянутое выше в статье: «Разработка ядерной батареи» говориться о том, что разработанная технология в будущем изменит не только автомобильную индустрию, но и «весь мир».

Но нас в данном случае интересует именно автомобильная, да и вообще транспортная проблема, в т.ч. метрополитен. Так что, мы параллельно с разработками «ядерной батареи» будем проводить свои разработки с использованием наших супермаховичных накопителей в движении развития автомобилей, да и вообще транспортной индустрии.

You can find below links to some of my books and electronic publications.

Gulia encyclopedia- http://lit.lib.ru/img/g/gulia_n_w/text_0200/index.shtml
Science and technology - http://n-t.ru/ac/gnv.htm

Книги / Books

1. Инерционные аккумуляторы энергии (первая в мире монография по маховичным накопителям). Воронеж, ВГУ, 1973.

Inertial energy accumulators (the world's first monograph on flywheel drives). Voronezh, Voronezh State University, 1973.

2. Инерционные двигатели для автомобилей. Москва, «Транспорт», 1974.

Inertial engines for cars. Moscow, "Transport", 1974.

3. Маховичные двигатели. Москва, «Машиностроение», 1976.

Flywheel engines. Moscow, "Engineering", 1976.

4. Накопители энергии. Москва, «Наука», 1980.

Energy storage devices. Moscow, "Science", 1980.

5. Инерция. Москва, «Наука», 1982.

Inertia. Moscow, "Science", 1982.

6. Накопители энергии. Москва, «Знание», 1980.

Energy storage devices. Moscow, "Knowledge", 1980.

7. Маховичные двигатели (на болгарском языке). София, «Техника», 1979.

Flywheel engines (in Bulgarian). Sofia, "Technique", 1979.

8. Инерционные двигатели для автомобилей (на болгарском языке). София, «Техника», 1976.

Inertial engines for cars (in Bulgarian). Sofia, "Technique", 1976.

9. Накопители энергии (на болгарском языке). София, «Техника», 1981.

Energy storage devices (in Bulgarian). Sofia, "Technique", 1981.

10. Инерция в технике. Москва, «Знание», 1984.

Inertia in technology. Moscow, "Knowledge", 1984.

11. В поисках энергетической капсулы, (научно-художественная). Москва, «Детская литература», 1984.

In search of an energy capsule, (scientific and artistic). Moscow, "Children's Literature", 1984.

12. В поисках энергетической капсулы (2-е издание, дополненное), серия «Горизонты познания», Москва, «Детская литература», 1986.

In search of an energy capsule (2nd edition, supplemented), a series of "Horizons of knowledge", Moscow, "Children's literature", 1986.

13. Der «Energiekonserve» auf der Spur. Berlin, Technik, 1989.

On the trail of the "energy storage". Berlin, technology, 1989.

14. Инерционный толкатель к скреперу. Москва, «ГосИНТИ», 1965.

Inertial pusher to the scraper. Moscow, GosINTI, 1965.

15. Удивительная физика. М.: ЭНАС, 2004, 2006, 2008; М.: Юрайт 2017

Amazing physics. M .: ENAS, 2004, 2006, 2008; M .: Yurait 2017

16. Удивительная механика. М.: ЭНАС, 2006; М.: Юрайт 2017

Amazing mechanics. M .: ENAS, 2006; M .: Yurait 2017

17. Парадоксальная механика. М.: ЭНАС, 2004; М.: Юрайт 2017

Paradoxical mechanics. M .: ENAS, 2004; M.: Yurait 2017

18. Инерция. М.: URSS 2020

Inertia. Moscow, URSS 2020

20. Накопители энергии. Какой накопитель лучше? М.: URSS 2020

Energy storage devices. Which device is better? M.: URSS 2020

Статьи / Articles

1.К расчету маховиков для механических аккумуляторов. «Вестник машиностроения», №1. 1965.

To the calculation of flywheels for mechanical batteries. "Bulletin of mechanical engineering", No. 1. 1965.

2. О рекуперировании кинетической энергии. «Вестник АН СССР», №12, 1967.

On the recovery of kinetic energy. "Bulletin of the USSR Academy of Sciences", No. 12, 1967.

3. Высокоэнергоемкий аккумулятор механической энергии. «Вестник машиностроения», №3, 1970.

High energy-intensive mechanical energy battery. "Bulletin of mechanical engineering", No. 3, 1970.

4. Опытный метод определения энергетических потерь в магнитной подвеске. Известия ВУЗов, «Приборостроение», №6, 1970.

An experimental method for determining energy losses in a magnetic suspension. Proceedings of universities, "Instrumentation", No. 6, 1970.

5. Аккумулирующие возможности супермаховиков. «Вестник машиностроения», №12, 1972.

The accumulating capabilities of super-flywheels. "Bulletin of mechanical engineering", No. 12, 1972.

6. Маховичный погрузчик. «Промышленный транспорт», №10, 1981.

Handwheel. Industrial Transport, No. 10, 1981.

7. Research activity... (о маховичных разработках в СССР). 2-й Европейский симпозиум по маховичным накопителям, Турин, 1983.

Research activity ... (about flywheel developments in the USSR). 2nd European Flywheel Symposium, Turin, 1983.

8. Двигатели будущего – гибриды. «Энергия», №8, 1986.

The engines of the future are hybrids. "Energy", No. 8, 1986.

9. Испытание проволочного супермаховика. «Вестник машиностроения», №5, 1991.

Testing a wire super-flywheel. "Bulletin of mechanical engineering", No. 5, 1991.

10. Карьерный троллейвоз с маховичным накопителем. «Автомобильная промышленность» №19, 1993.

Career trolley transport with a flywheel drive. "Automotive industry" No. 19, 1993.

11. Рекуператор энергии торможения к городскому автобусу. «Автомобильная промышленность», №1, 1994.

A braking energy recuperator to a city bus. "Automotive industry", No. 1, 1994.

12. Комбинированный силовой агрегат – средство улучшения экономических и экологических показателей автомобиля. «Автомобильная промышленность», №8, 1997.

Combined power unit - a means of improving the economic and environmental performance of the car. Automotive Industry, No. 8, 1997.

13. Гибридные силовые агрегаты автомобилей. «Грузовик», №1, 2000.

Hybrid powertrain cars. "Truck", No. 1, 2000.

14. Новая концепция автомобиля и электробуса. «Автомобильная промышленность», №2, 2000.

15. Из материалов писем Мартина Ференца

The new concept of a car and an electric bus. Automotive Industry, No. 2, 2000.

16. Динамика автомобиля с «мягким» маховиком. «Автомобильная промышленность», №11, 2002.

Dynamics of a car with a "soft" flywheel. Automotive Industry, No. 11, 2002.

17. Новая магнитная опора большой грузоподъемности. «Вестник машиностроения», №3, 2004.

The new magnetic support of heavy lifting capacity. "Bulletin of mechanical engineering", No. 3, 2004.

18. Гибридные силовые агрегаты для автомобилей. «Автоперевозчик», №11, 2004.

Hybrid powertrains for cars. "Carrier", No. 11, 2004.

19. Гибридный силовой агрегат для городского автобуса. «Транспортный цех», №10, 2007.

A hybrid powertrain for a city bus. "Transport workshop", No. 10, 2007.

Научно-популярные статьи / Popular science articles

1. Маховик – серьезный конкурент существующих двигателей. «Изобретатель и рационализатор», №12, 1965.

Flywheel is a serious competitor to existing engines. "Inventor and Rationalizer", No. 12, 1965.

2. Маховик и транспорт будущего. «Наука и жизнь», №4, 1973.

Flywheel and transport of the future. "Science and Life," No. 4, 1973.

3. Возрожденная энергия. «Наука и жизнь», №7, 1975.

Revived energy. "Science and Life", No. 7, 1975.

4. Накопители энергии. «Техника и наука», №3, 1980.

Energy storage. "Technology and science", No. 3, 1980.

5. Маховичный лифт. «Изобретатель и рационализатор», №10, 1980.

The flywheel elevator. "Inventor and Rationalizer", No. 10, 1980.

6. К 100-летию Уфимцева. «Техника – молодежи», №11, 1980.

To the 100th anniversary of Ufimtsev. "Technology for Youth," No. 11, 1980.

7. Сверхнакопитель энергии. «Техника – молодежи», №6, 1982.

Super energy storage. "Technology for Youth," No. 6, 1982.

8. Маховичная бритва. «Изобретатель и рационализатор», №3, 1990.

Handwheel razor. "Inventor and Rationalizer", No. 3, 1990.

9. От Москвы до Владивостока – за 45 минут (о сверхскоростном поезде). «Огонек», №25, 1999.

From Moscow to Vladivostok - in 45 minutes (about a bullet train). "Twinkle", No. 25, 1999.

10. Супермаховик из суперкарбона. «Изобретатель и рационализатор», №12, 2005.

Super-flywheel from supercarbon. "Inventor and Rationalizer", No. 12, 2005.

Изобретения / Inventions

По маховикам и инерционным аккумуляторам, в том числе и в машинах

Авторские свидетельства:

By flywheels and inertial batteries, including in cars

Patents USSR:

№№1154501, 1373929, 1048196 – первый супермаховик (first superflywheel), №№1257322, 1796494, 796577, 693073, 1714244, 1379521, 1508029, 565113,658341, 658342, 672410, 648778, 654815, 704597, 35695 (Болгария, Bulgaria), 1052757, 1141045, 887832, 857417, 1249250, 453218, 597895, 617031, 628363, 431343, 586286, 605051, 615302, 679747, 1389180, 823197, 1293409, 1341415, 353086, 207648, 286605, 347399, 200359, 750179, 174909, 171810, 1649170, 571277, 522366, 526740, 544049, 582429, 563183, 1193330, 1188400, 1200033, 1320565, 1330386, 578514, 511447, 513196, 528409, 794277, 794280, 783520, 794281, 353095, 507729, 458633, 304506, 1260594, 1249251, 672410, 1084522, 1196575, 757797, 1132310, 1359521, 1490347, 1530871, 1186544, 1176113, 1186544, 1359473, 1420268, 1216518, 1281785; Patents Russian Federation №№1814709,2017684, 2246034, 2253051, 74678

New patents :

По маховикам переменного момента инерции / By flywheels of variable moment of inertia

Авторские свидетельства / *Patents (USSR):*

№№1786322, 1237841, 502150, 1196578, 1201596, 1196577, 239720, 229152, 1373937.

По маховичным рекуператорам и гибридным агрегатам на их основе

On flywheel recuperators and hybrid units based on them

Авторские свидетельства / *Patents (USSR):*

№№1355814, 1824801, 1126748, 1073090, 1237842, 1704528,335476, 346729, 1704528, 308252, 1368538, 1126747,1430647, 1430648, 1431972, 180029, 193874, 255724, 236147, 1240985, 171607,415420, 605050, 490989, 687279, 530132, 976159, 976160.

По газовым и гидрогазовым накопителям, в том числе и на машинах

For gas and hydrogas storage, including cars

Авторские свидетельства / *Patents (USSR):*

№№656886, 1273269, 682708, 1730993, 563182, 541049, 598782, 905131, 962782, 743903.

Книги и статьи о Н.В. Гулиа:

1. Джесси Рассел, Рональд Кон, «Гулиа Нурбей Владимирович», «VSD», Printed in : U.S.A., U.K., Germany, Spain, Russia, India, Brazil, China, Australia, 2012 год
2. Яндекс статьи (ч.1. ч.2)
3. Супервариатор от супермена. «Популярная механика», №3, 2006 (статья о Н.В. Гулиа и его изобретении журналиста Н. Корзинова).