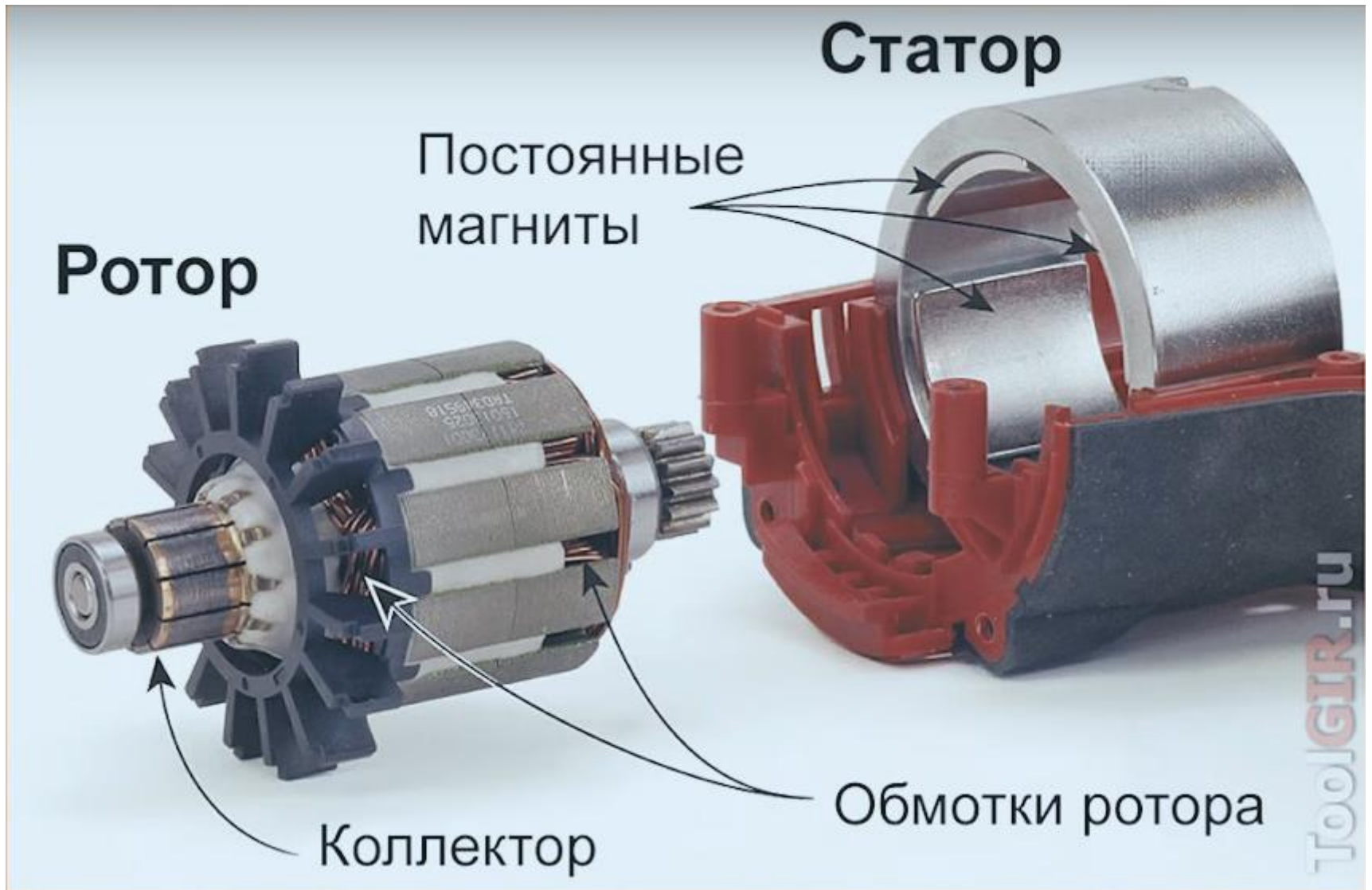


Двигатели квадрокоптера

Двигатели квадрокоптеров обычно делятся на
2 категории:

- 1) Коллекторные
- 2) Бесколлекторные

Схема коллекторного мотора



Из чего состоит коллекторный мотор

Якорь (вал):

Стержнем всей конструкции является якорь, он же металлический вал. Вал является движущимся элементом, от которого зависит крутящий момент. На нём также располагается ротор.

Ротор:

Связан с ведущим валом. Его внешняя конструкция напоминает барабан, который вращается внутри статора. Задача ротора получать или отдавать напряжение рабочему телу.

Подшипники:

Они расположены на противоположных концах якоря для его сбалансированного вращения.

Щётки:

Выполнены обычно из графита. Их задача предавать напряжение через коллектор в обмотки. Как раз наличие этой щётки и убавляет ресурс коллекторного мотора, так как создаёт трение.

Коллектор:

Он выполнен в виде соединенных между собой медных контактов. Во время процесса вращения он принимает на себя энергию с щёток и направляет её в обмотки.

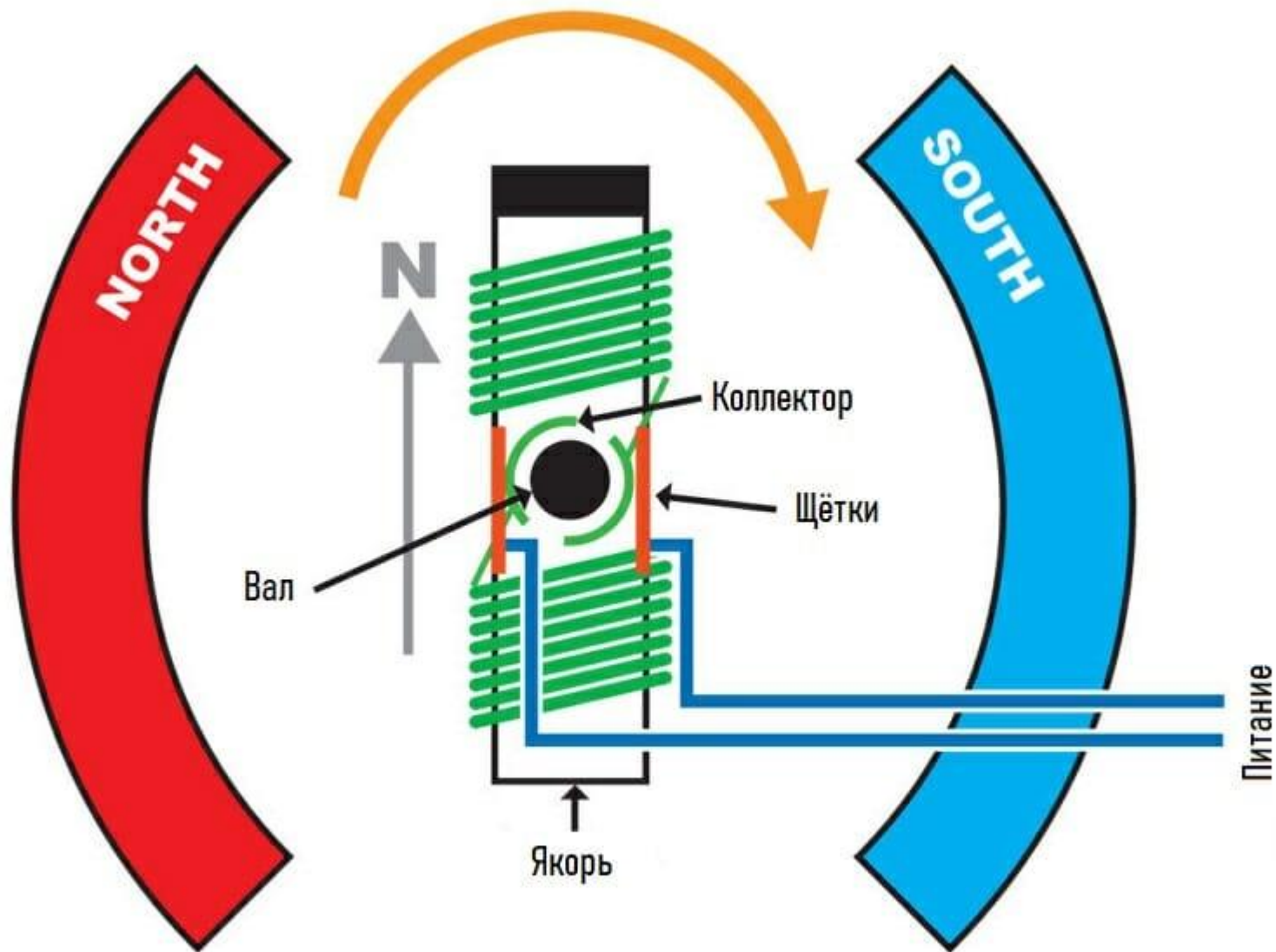
Обмотки:

Расположены на роторе и статоре разных полярностей. Их функция в генерировании собственного магнитного поля под воздействием разных полярностей, за счёт чего якорь приходит в действие.

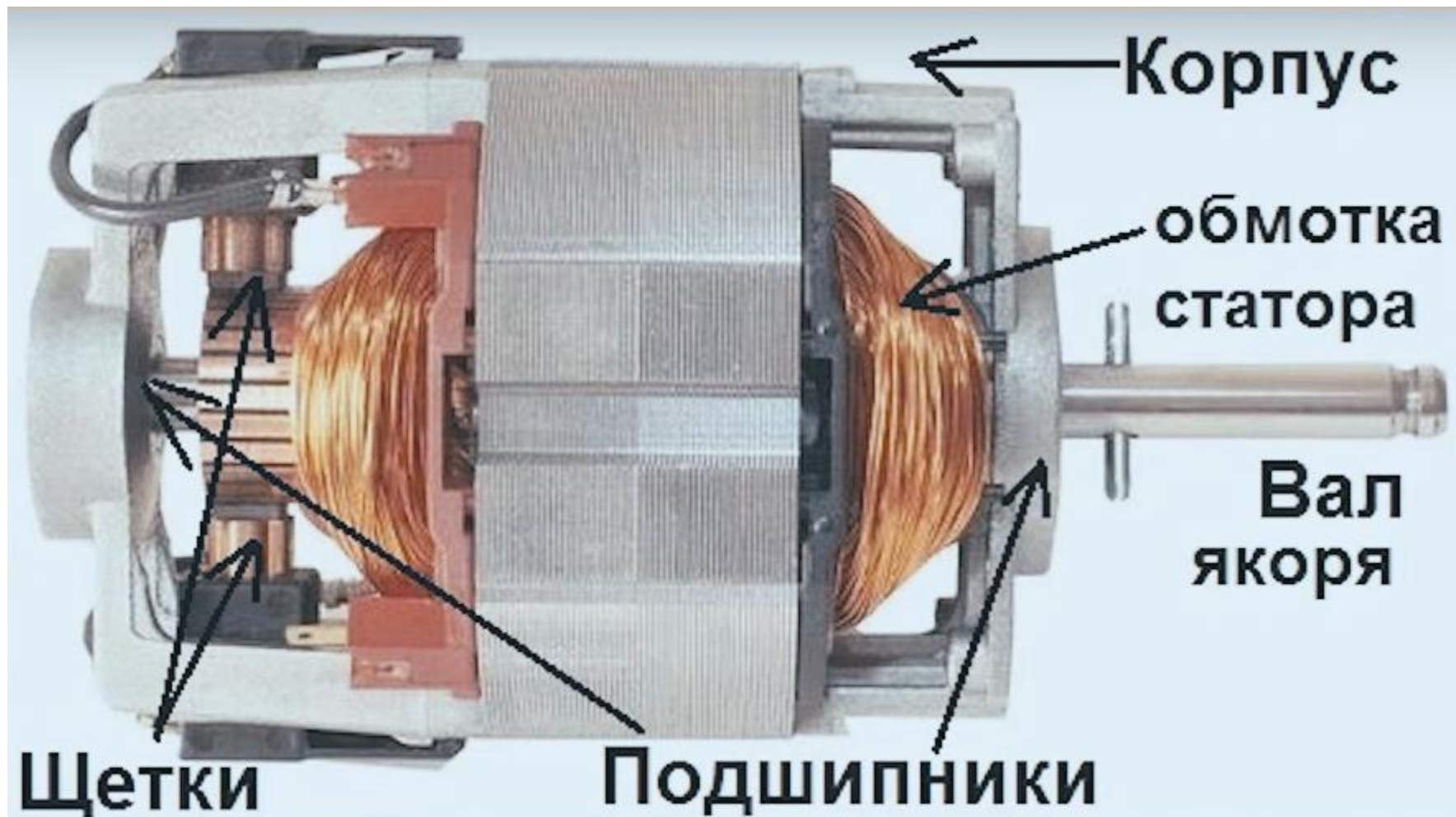
Сердечник статора:

Выполнен из металлических пластин внутри которого находятся постоянные магниты разной полярности. Является статичным элементом всего механизма.

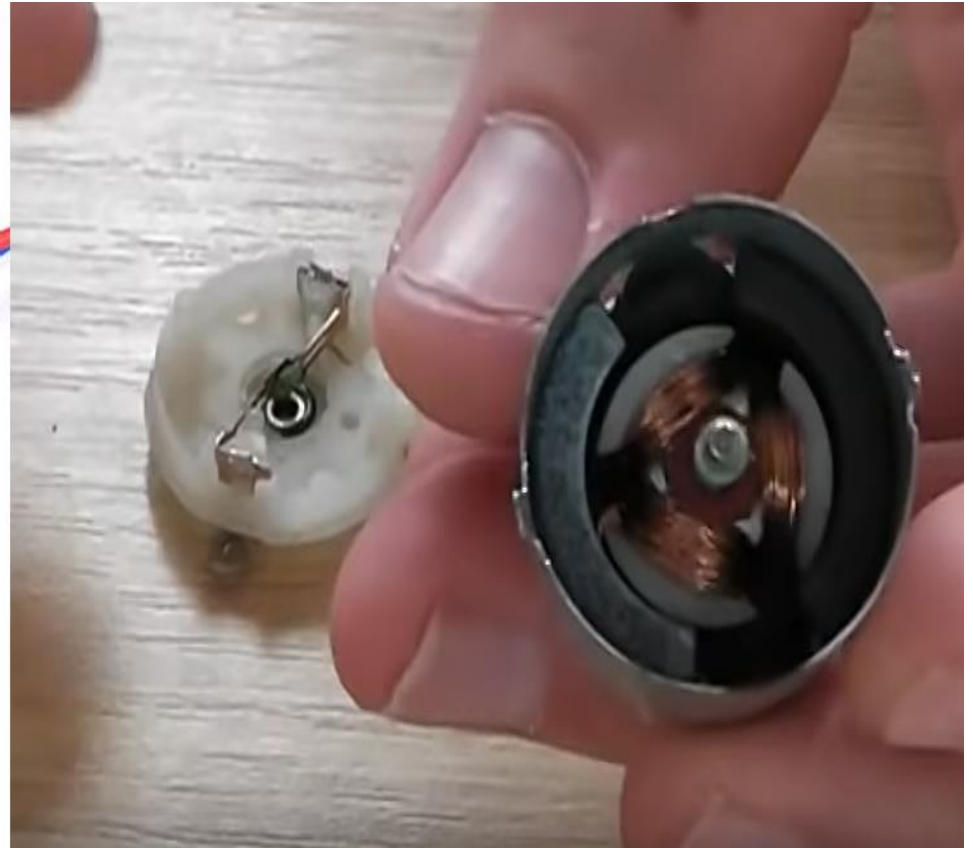
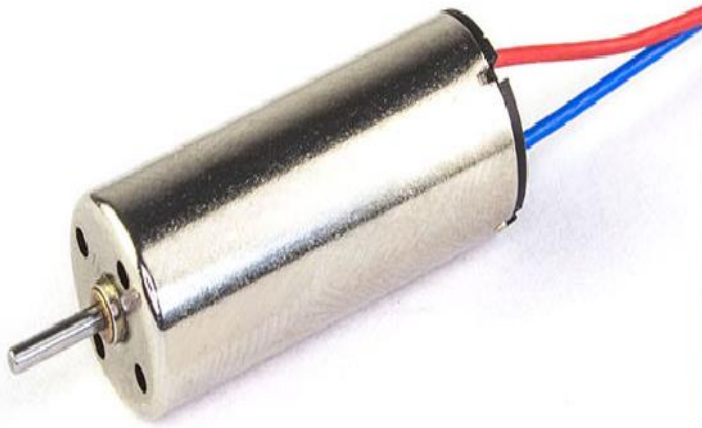
Принцип работы коллекторного двигателя



Принцип работы коллекторного двигателя



Принцип работы коллекторного двигателя



На корпусе мотора закреплен статор, в котором установлены магниты разной полярности

В статор устанавливается ротор, внутри которого располагается обмотка.

Внизу ротора установлен сам коллектор.

На щетки подается ток, который они передают на обмотки, создается магнитные поля под воздействием разных полярностей магнитов, за счёт чего вал приходит в действие.



Преимущества:

Маленький вес и размер

Низкая стоимость

Недостатки:

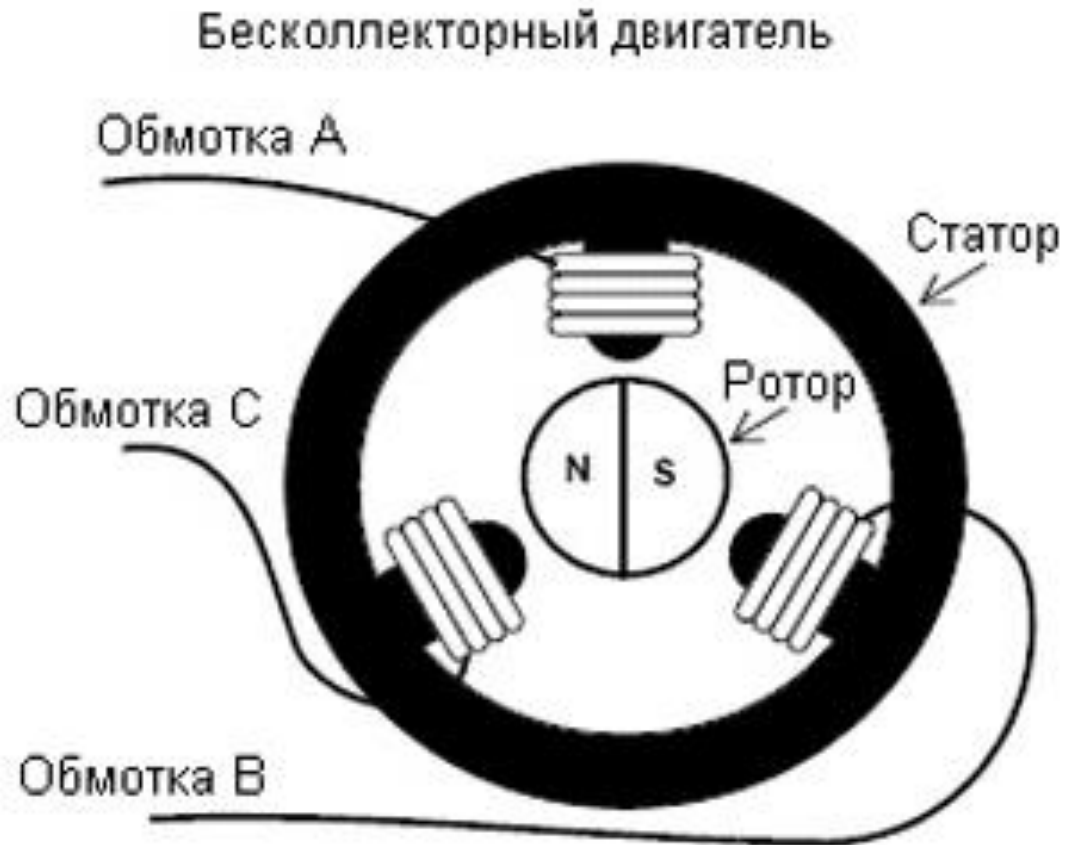
Низкий КПД

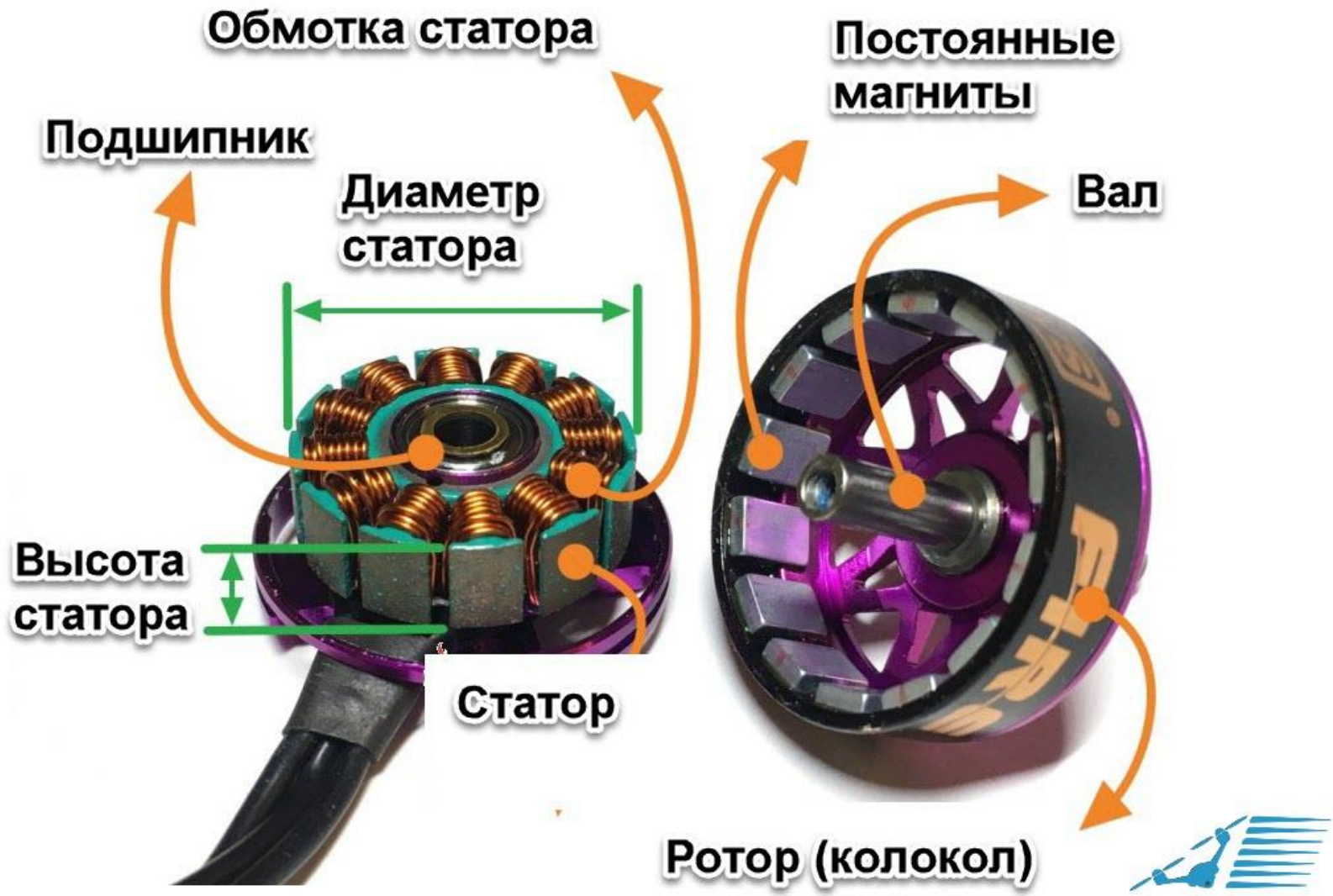
Низкая скорость вращения

Перегрев

Быстрый износ

Схема бесколлекторного мотора

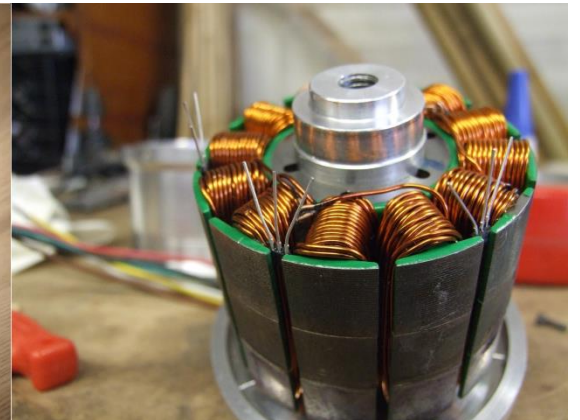
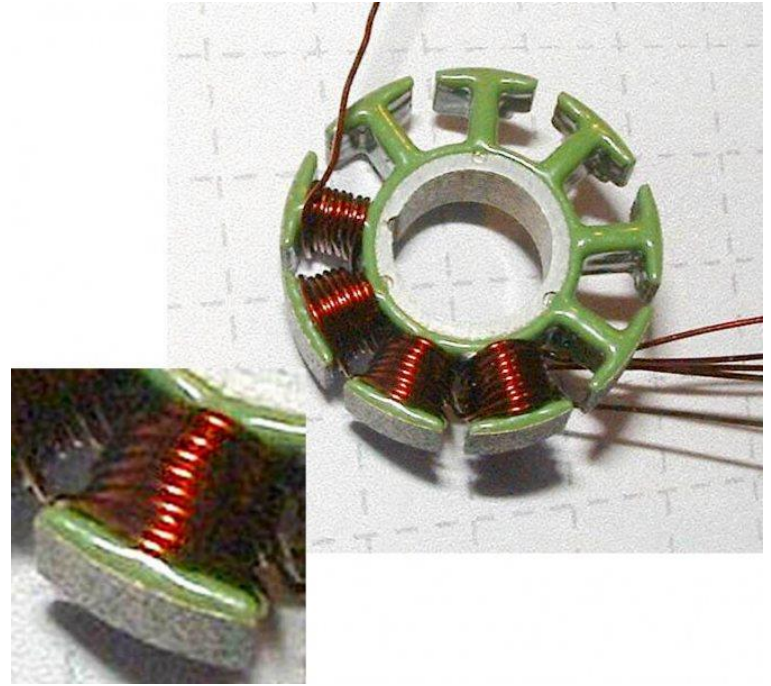
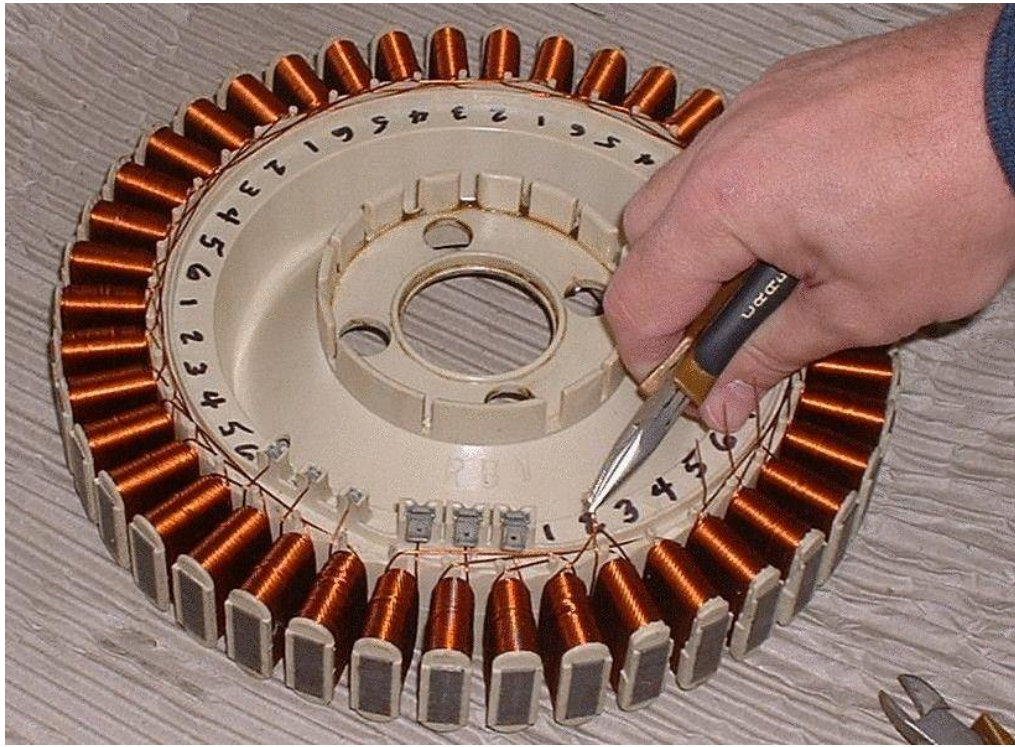




Из чего состоит бесколлекторный мотор

Статор:

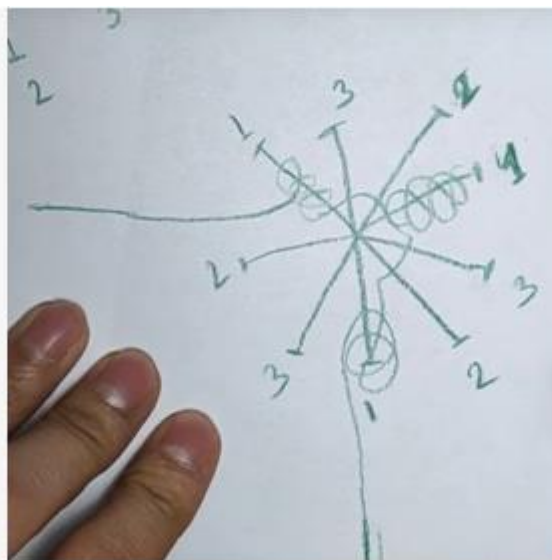
Статор это обмотка двигателя, состоящая из 3 фаз длинных тонких проводков, которые обматываются вокруг сердечника. Провода покрыты эмалью/лаком, чтобы предотвратить короткое замыкание при обмотке и работе. Ток, протекающий по проводу, создает магнитное поле. Когда провод обмотан вокруг чего-то, то магнитное поле увеличивается. Чем больше ток, тем больше сила магнитного поля и больше крутящий момент двигателя. Однако, большие токи сильно нагревают обмотку, особенно вот такие тонкие провода и защитная эмаль может оплавиться при сильном нагреве, тогда произойдет короткое замыкание и двигатель станет нерабочим.



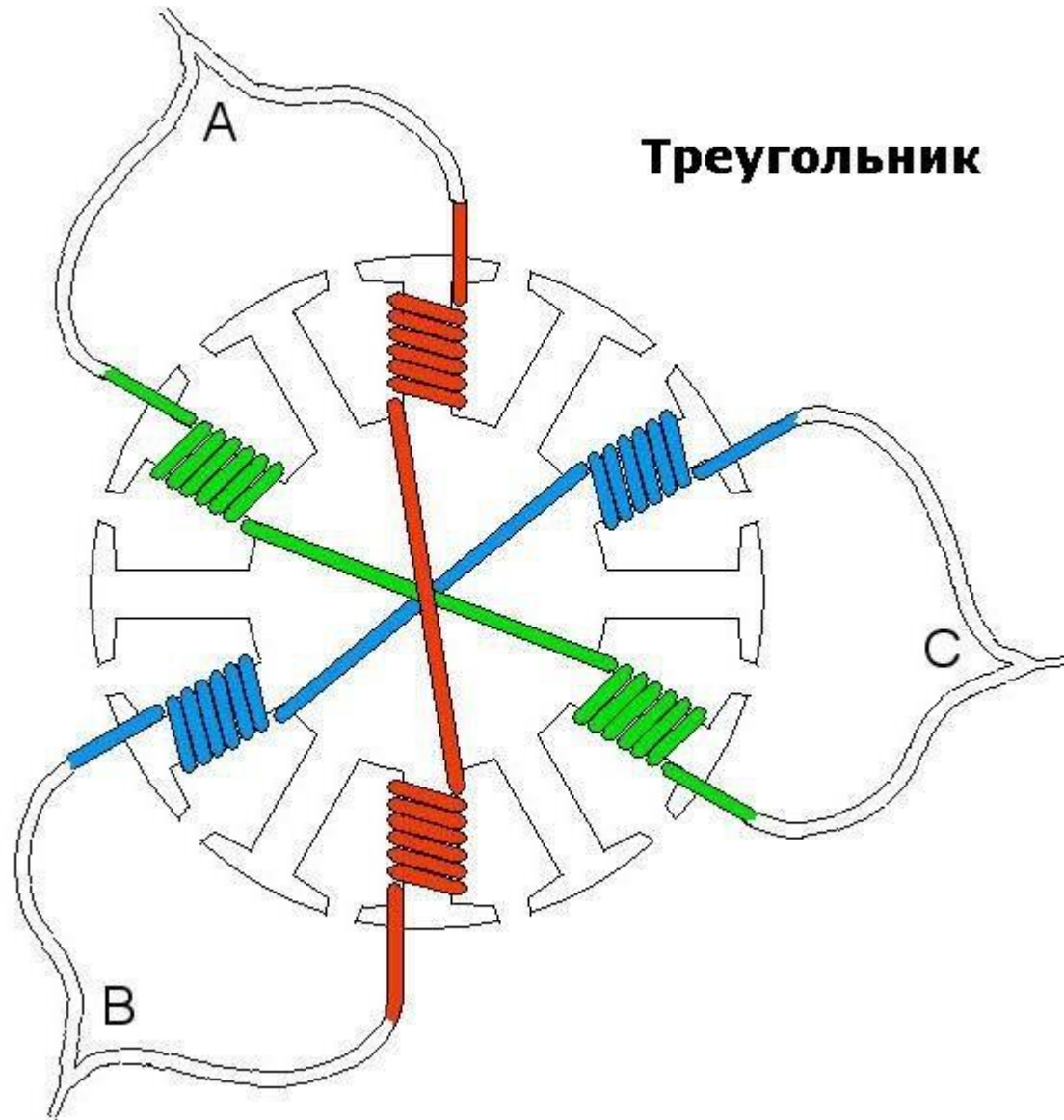
Существует 2 вида намотки современных моторов это «Звезда» и «Треугольник».

«Треугольник»

Считается, что намотка методом «Треугольник», более эффективна. Мотор становится менее оборотистым и более тяговитым. Современные гоночные моторы мотают обычно именно этим методом.



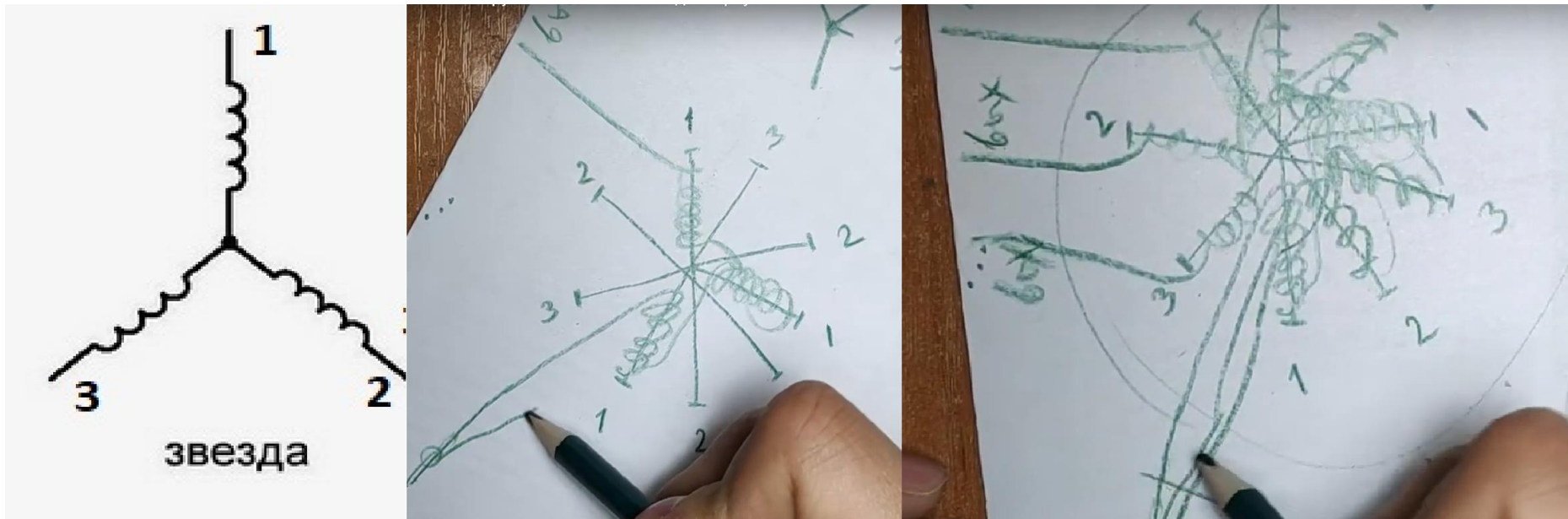
Треугольник



«Звезда»

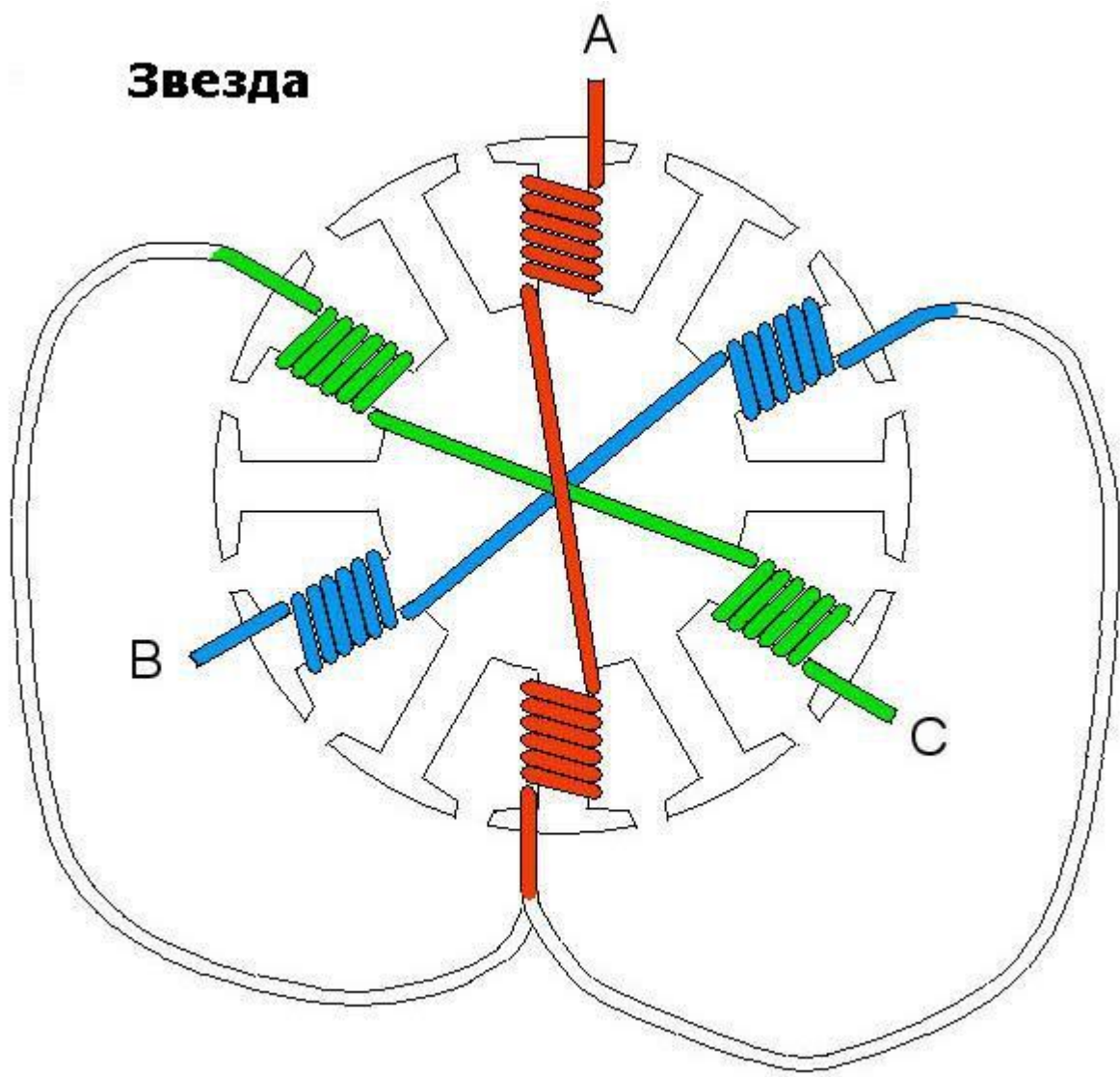
При намотке методом «Звезда», мотор может развить максимальные обороты и максимальную мощность, но менее слабее на низких оборотах.

«Звезда»



Так же следует учитывать, что параметр KV зависит от количества витков на статоре. А количество витков от толщины провода.

Звезда



Неодимовые магниты:

Эти магниты из редкоземельных металлов генерируют фиксированное магнитное поле, они маленькие, но создают очень сильное магнитное поле. Они приклеены эпоксидной смолой или цианокрилатом к колоколу.



Колокол:

Защищает магниты и обмотку. Обычно он изготовлен из легкого металла, такого как алюминий. Более продвинутые двигатели имеют корпуса, которые сделаны как вентиляторы, т.е. при вращении нагоняют воздух на обмотку сердечника, чтобы охладить ее.



Вал мотора:

Жестко прикреплен к верхней части. Это рабочий компонент мотора, который передает крутящий момент на пропеллеры.

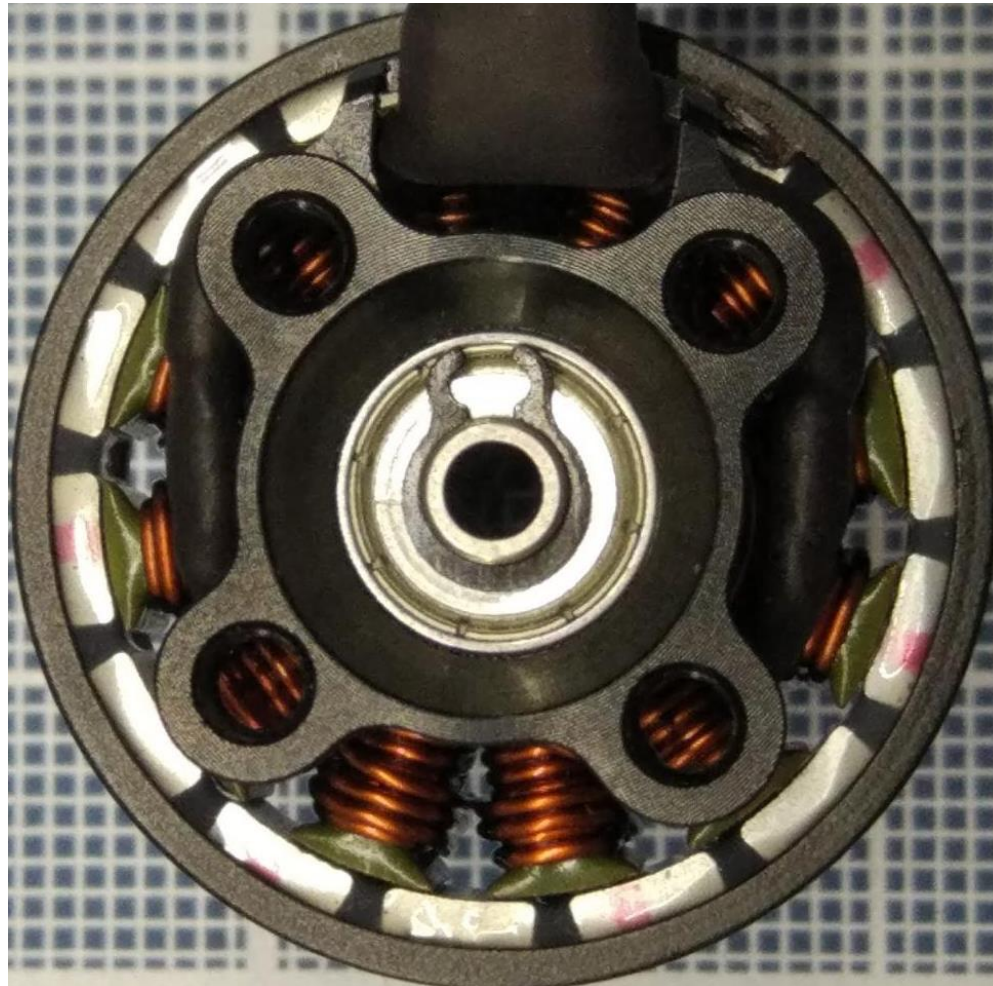


Крепление вала:

Крепление бывает 2 видов:

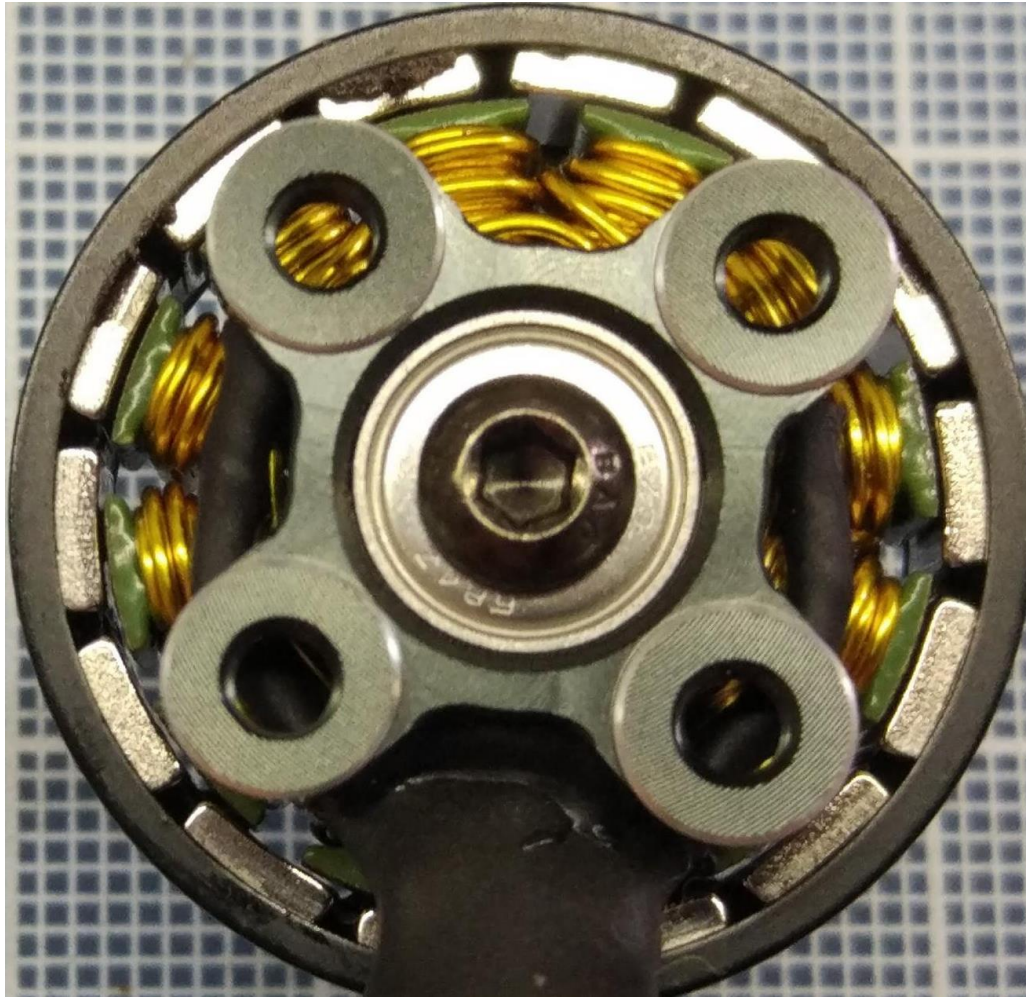
1) С-клипса. Сделана из прочного сплава железа.

Вставляется в паз на кончике вала. Для снятия и установки нужно разжать клипсу.



Крепление вала:

2) Болт\винт. Внутри вала нарезана резьба, куда вкручивается болт\винт.



Принцип работы бесколлекторного мотора

Магниты и обмотка создают движущую силу благодаря взаимодействию и созданию магнитного поля между ними. Это происходит благодаря подаче постоянного тока на определенную обмотку (у нас 3 фазы, то есть 3 отдельных провода на обмотке), ток подается и прекращает подаваться на определенные обмотки в короткий промежуток времени, тысячные доли секунды, заставляя крутиться верхнюю часть с магнитами. Этим процессом полностью управляют ESC-регуляторы, это мозг моторов, они решают, когда подавать ток, а когда нет и с какой частотой.

Маркировка двигателей

Бесколлекторные моторы маркируются по двум основным параметрам:

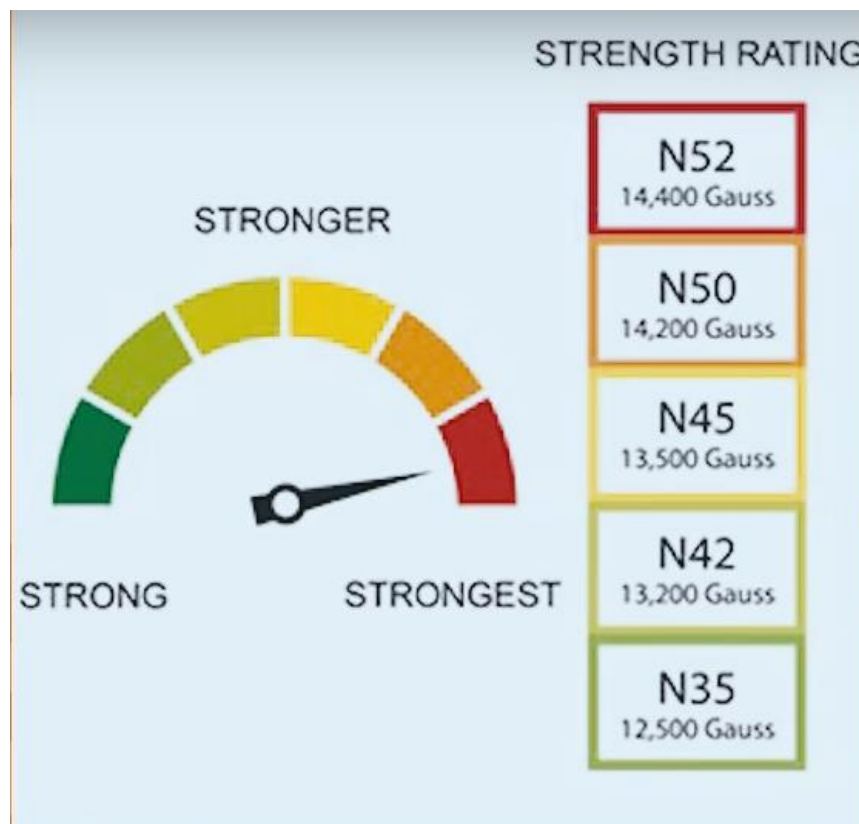
- 1) По размеру мотора (Пример: 2205, 2207,5, 2812).
Где первые две цифры это диаметр статора, а вторые цифры высоту статора.
- 2) KV (Пример: 1100, 1500, 1750, 2700)

Бывает, что производители маркируют и по дополнительным параметрам, к примеру:

12N14P – 12N определяет количество зубцов на статоре, а 14P количество магнитов на колоколе.

Маркировка использующихся магнитов - обычно маркируются видом N

Маркировка используемых магнитов - обычно маркируются видом N35, N45, N50 и тд. Чем выше цифра, тем выше свойства магнитного сплава.



Характеристики двигателя

- 1) KV
- 2) Крутящий момент
- 3) Потребляемая мощность
- 4) Тяга
- 5) Эффективность

Характеристики двигателя

Основные данные

Значение KV	300	Вес двигателя (с проводом)	53g
Габарит двигателя	Ф44.35×19mm	Межфазное сопротивление	452mΩ
Длина провода	50mm	Число плюса паза	18N24P
Наружный диаметр листа из кремнистой стали	40mm	Номинальное рабочее напряжение (Lipo)	4-6S
Ток холостого хода (22 В)	0.2A	Максимальный ток (180 с)	9A
Максимальная мощность (180 с)	216W		
Значение KV	400	Вес двигателя (с проводом)	53g
Габарит двигателя	Ф44.35×19mm	Межфазное сопротивление	359mΩ
Длина провода	50mm	Число плюса паза	18N24P
Наружный диаметр листа из кремнистой стали	40mm	Номинальное рабочее напряжение (Lipo)	4-6S
Ток холостого хода (22 В)	0.2A	Максимальный ток (180 с)	12A
Максимальная мощность (180 с)	300W		

KV

«KV» - это количество оборотов двигателя в минуту (RPM) на единицу напряжения без нагрузки на валу. Рассчитывается по формуле: $RPM = kv * V$.

К примеру рассчитаем количество оборотов для мотора с 2750 kv, то при подключении его к источнику тока с напряжением 6s батареи (22,2в), он выдаст 61 050 оборотов в минуту.

Однако, это всё так однозначно.

На практике есть нагрузка, которую создаёт пропеллер, и создаваемое им сопротивление воздуха. Из этого следует, что обороты будут ниже, или их не будет вообще, так как от KV зависит крутящий момент. Чем выше параметр KV, тем меньшее усилие развивает электродвигатель.

Поэтому для более высокого значения KV моторов нужен легкий пропеллер, а для низких KV больше.

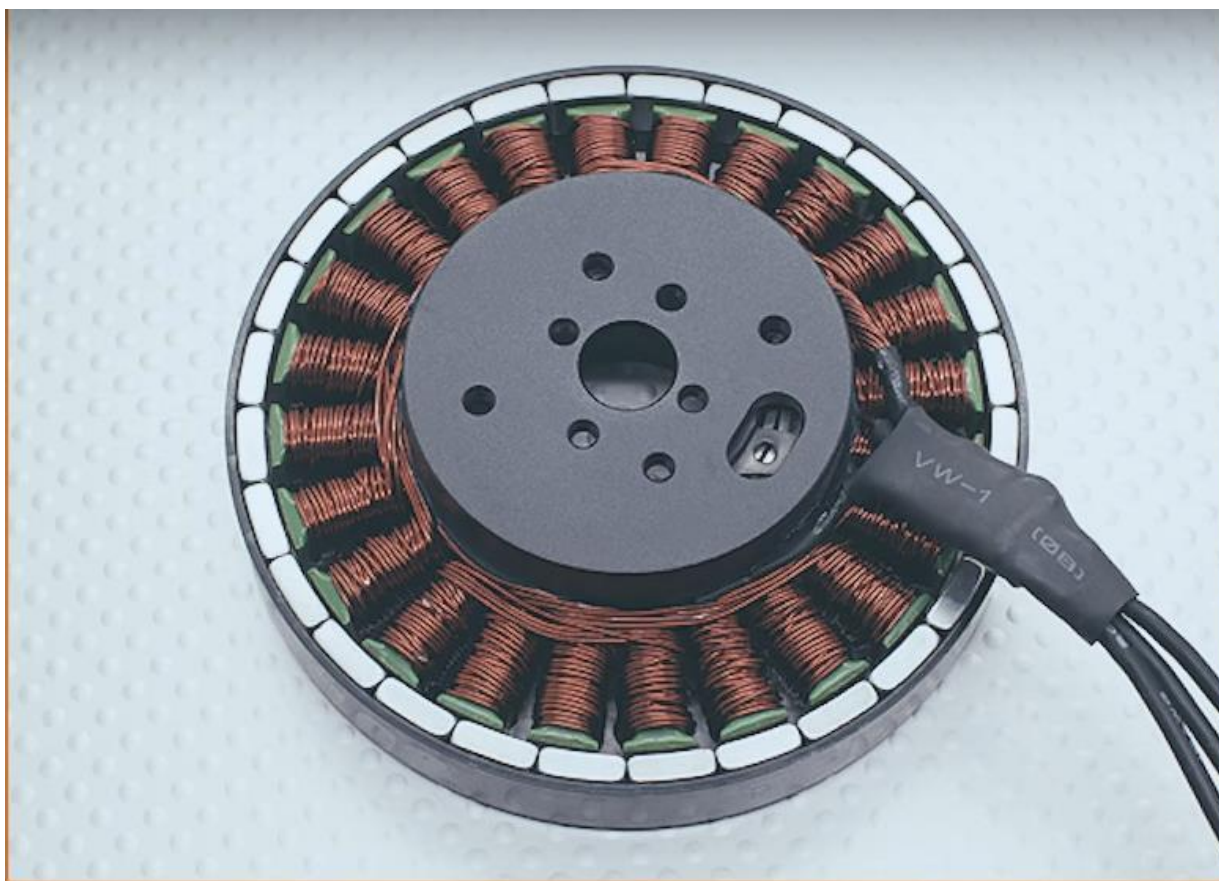
Крутящий момент

Постоянная крутящего момента является обратной величиной KV. Чем больше KV, тем меньше крутящий момент.

Ток, крутящий момент и KV взаимосвязаны, двигатели с более низким KV требуют меньшего тока для вращения тяжелых пропеллеров и, следовательно, имеют больший крутящий момент, но теряют эффективность при высоких оборотах — и наоборот, двигатели с высоким KV требуют более высоких токов для вращения тяжелых пропеллеров, но могут работать на высоких оборотах более эффективно.

Основными параметрами влияющими на крутящий момент является размер статора и количество магнитов в двигателе. Чем больше статор и количество магнитов установлено на колоколе, тем больше крутящий момент.

И так же, чем больше магнитов установлено на колоколе, тем больше полюсов, тем выше крутящий момент, но меньше оборотов.



И противоположная ситуация на бесколлекторных моторах, где магнита всего 2 и соответственно 2 полюса, имеют большие обороты, но небольшой крутящий момент.



Крутящий момент

Постоянная крутящего момента является обратной величиной KV. Чем больше KV, тем меньше крутящий момент.

Ток, крутящий момент и KV взаимосвязаны, двигатели с более низким KV требуют меньшего тока для вращения тяжелых пропеллеров и, следовательно, имеют больший крутящий момент, но теряют эффективность при высоких оборотах — и наоборот, двигатели с высоким KV требуют более высоких токов для вращения тяжелых пропеллеров, но могут работать на высоких оборотах более эффективно.

Потребляемая мощность

Потребляемая мощность измеряется в ваттах. Чем больше мощность, тем быстрее кончится батарея. Тут всё просто

Тяга

Тяга, она же подъёмная сила. Это тот вес, который может поднять двигатель (включая самого себя). Тяга на прямую зависит от нескольких параметров:

- Размер мотора;
- Оборотов мотора;
- Пропеллер;
- Напряжение.

Один и тот же мотор естественно может показывать разную тягу в зависимости от батареи и разных пропеллеров.

Так же тяга это один из основных показателей при проектировании дрона. К примеру соотношение тяги к весу должно быть минимум 4 к 1 для фристайл-дронов и 8 к 1 и больше для гоночных дронов.

Эффективность (КПД)

Эффективность измеряется в граммах/ватт и представляется как требуемая тяга/мощность.

КПД двигателя влияет на время полета, срок службы аккумулятора и на падение напряжения в полете.

Идеальный двигатель, это когда все параметры эффективны при любых оборотах двигателя, а не только при самых высоких.

Аккумулятор должен уметь отдавать большие токи, этот параметр указывается буквой С. Маленькие аккумуляторы с низким С не смогут реализовать высокую эффективность двигателя. Например, аккумулятор с 90С покрывает потребности практически любых двигателей для фристайла и гонок.

На данный момент КПД современных квадрокоптеров, а точнее связку начиная от батарейки до пропеллеров на моторах, очень и очень мал. Грубые расчеты показывают значения около 10-15%. Вся остальное КПД уходит в основном в тепло, передаваемое в воздух и нагревая нашу планету еще больше



Показатели

Производители моторов проводят стендовые тесты своей продукции и вы можете найти интересующие вам данных в сводной таблице следующего типа

Данные испытания									
тип	Пропеллер	Точка дросселя	Натяжение (г)	Напряжение (В)	Ток (А)	Скорость вращения (RPM)	Мощность (Вт)	Эффект силы (г / Вт)	Температура двигателя (°C)
	Т51435 Трехлопастное пропеллер	50%	493.52	23.41	6.41	18316	150.03	3.29	71 (Температура окружающей среды:25°C)
		55%	581.46	23.38	7.92	19747	185.23	3.14	
		60%	653.87	23.34	9.55	21319	222.98	2.93	
		65%	768.70	23.30	11.75	22424	273.63	2.81	
		70%	856.55	23.25	13.87	23931	322.48	2.66	
		75%	935.01	23.20	15.88	24948	368.30	2.54	
		80%	1026.78	23.15	18.30	26189	423.50	2.42	
		85%	1120.45	23.09	20.67	27252	477.17	2.35	
		90%	1206.63	23.03	23.29	27889	536.32	2.25	
		95%	1298.67	22.96	26.20	29387	601.44	2.16	
		100%	1453.96	22.83	31.07	30778	709.30	2.05	