

Многовинтовой летательный аппарат с ДВС

и регулируемым гидростатическим приводом несущих винтов фиксированного шага

Борис Фролов
«МЭКОМ»

11/09/2017

Москва, Россия 2017

Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК)



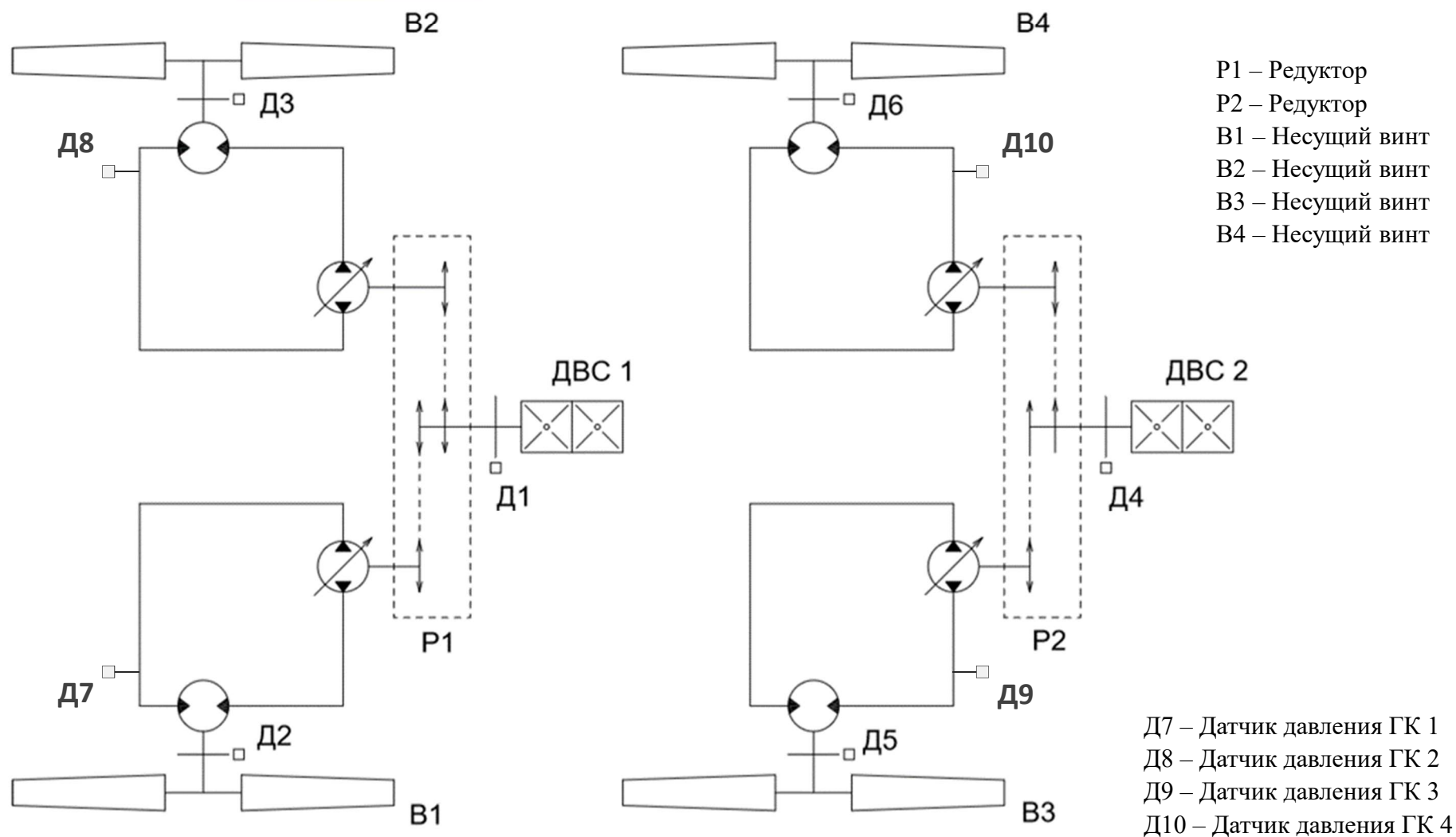
Макетный образец БК

Мощность, кВт (л.с.)	88,0 (120,0)
Статическая тяга, кгс	500
Коэффициент тяги (α)*	20 (15)
Диаметра винтов	4 x 2,5 м
Габариты, м	5,5 x 5,5 x 2,0
Снаряженная масса, кг	646

* см. слайд №8 – расчетная тяга и теоретическая г/п

Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК)

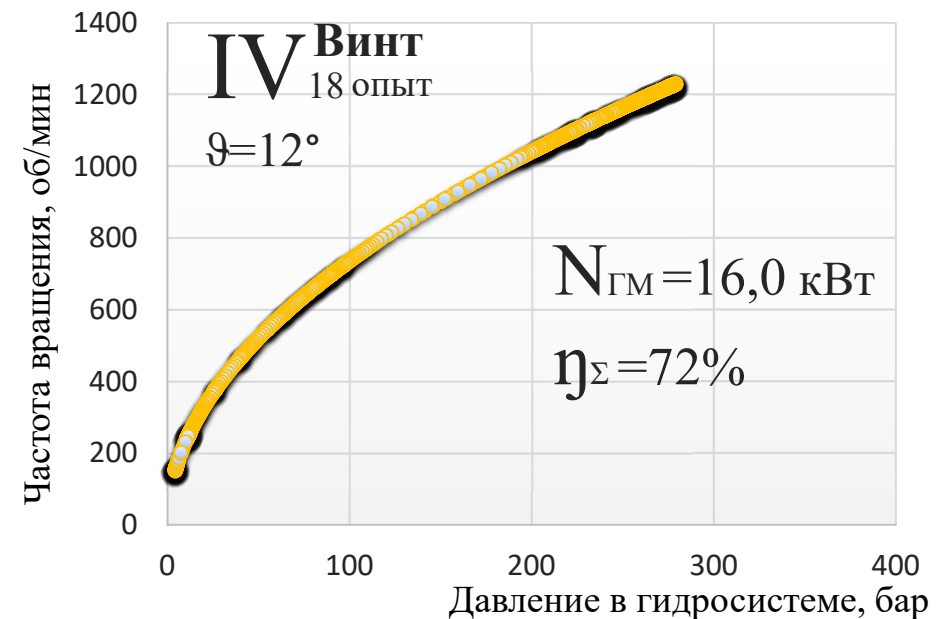
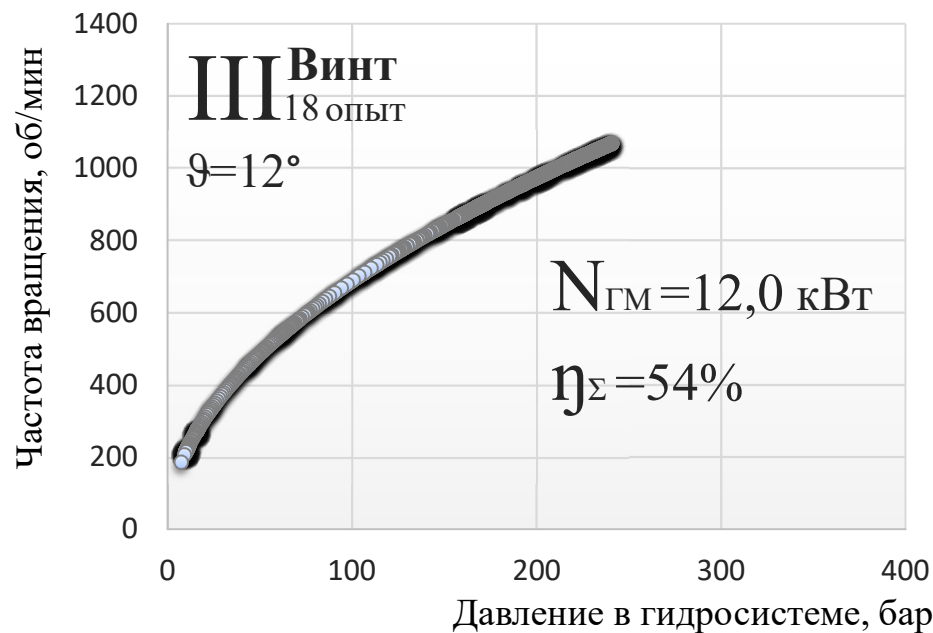
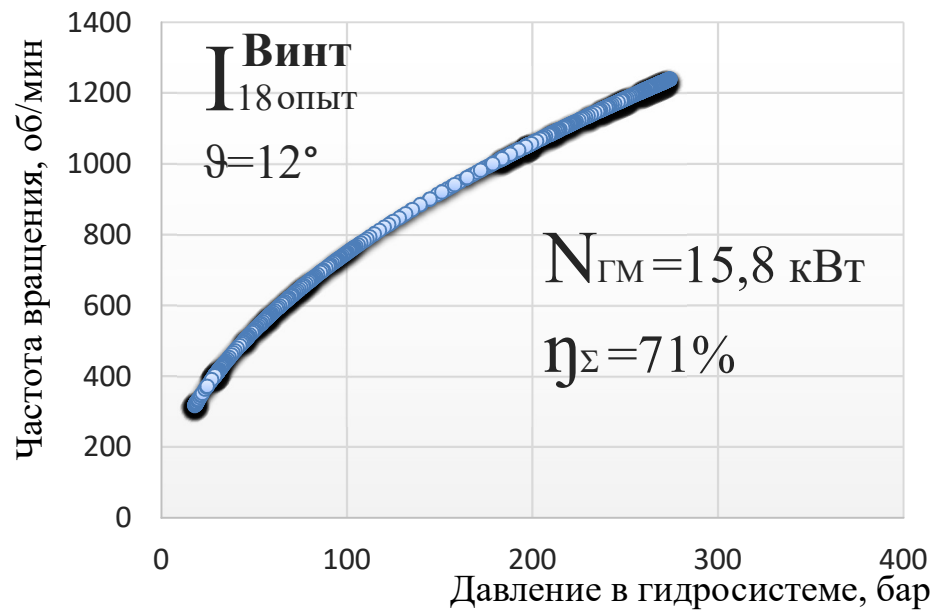
Принципиальная гидравлическая схема привода винтов



ДВС 1 – Двигатель внутреннего сгорания
 Д1 – Датчик частоты вращения выходного вала ДВС 1
 Д2 – Датчик частоты вращения винта В1
 Д3 – Датчик частоты вращения винта В2

ДВС 2 – Двигатель внутреннего сгорания
 Д4 – Датчик частоты вращения выходного вала ДВС 2
 Д5 – Датчик частоты вращения винта В3
 Д6 – Датчик частоты вращения винта В4

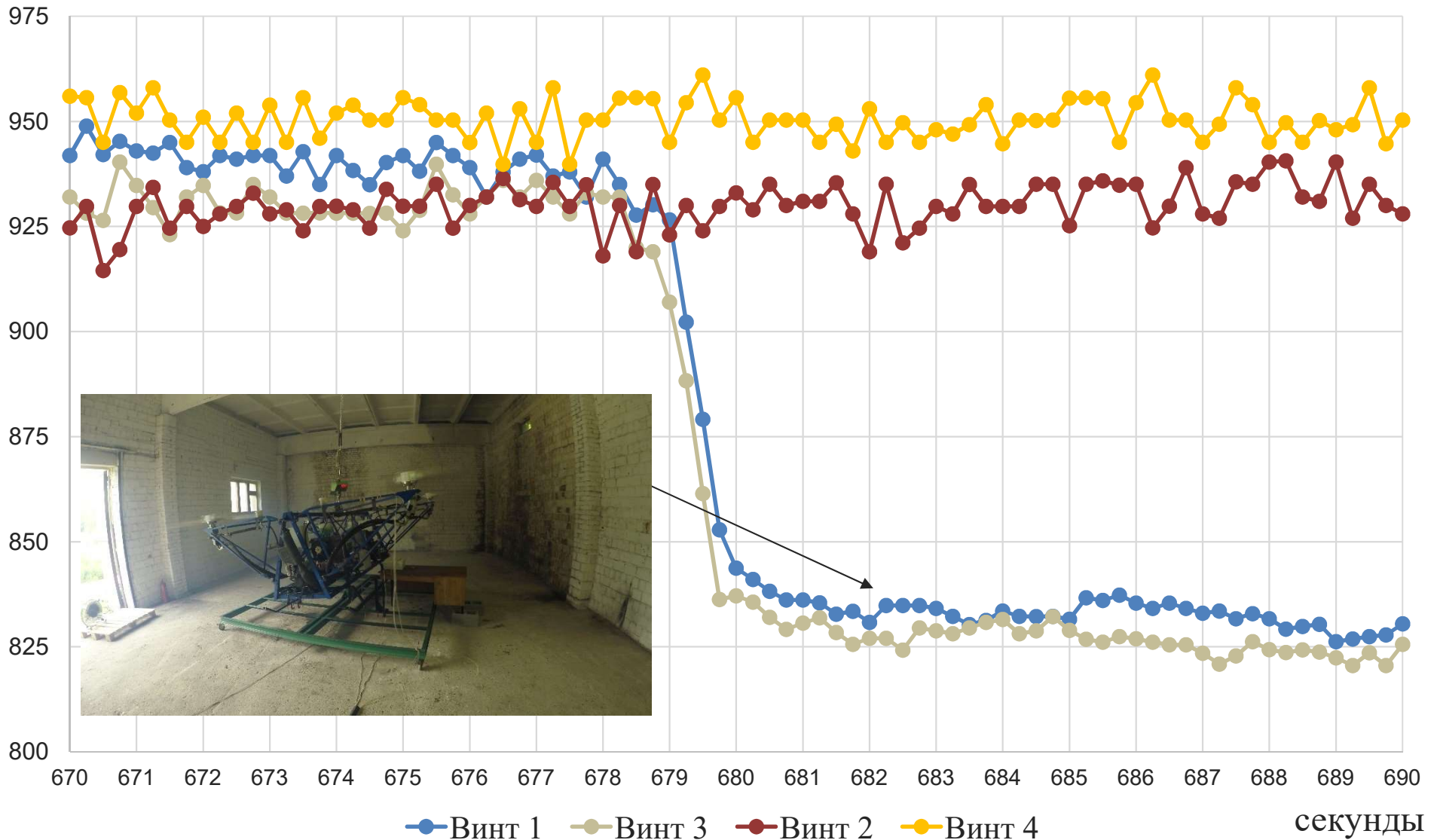
Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК) Диаграммы испытаний Гидростатического привода винтов



Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК) Выход на угол крена

время перехода с частоты 925...950 об/мин до 825...850 об/мин
составило 0,75...1,00 сек

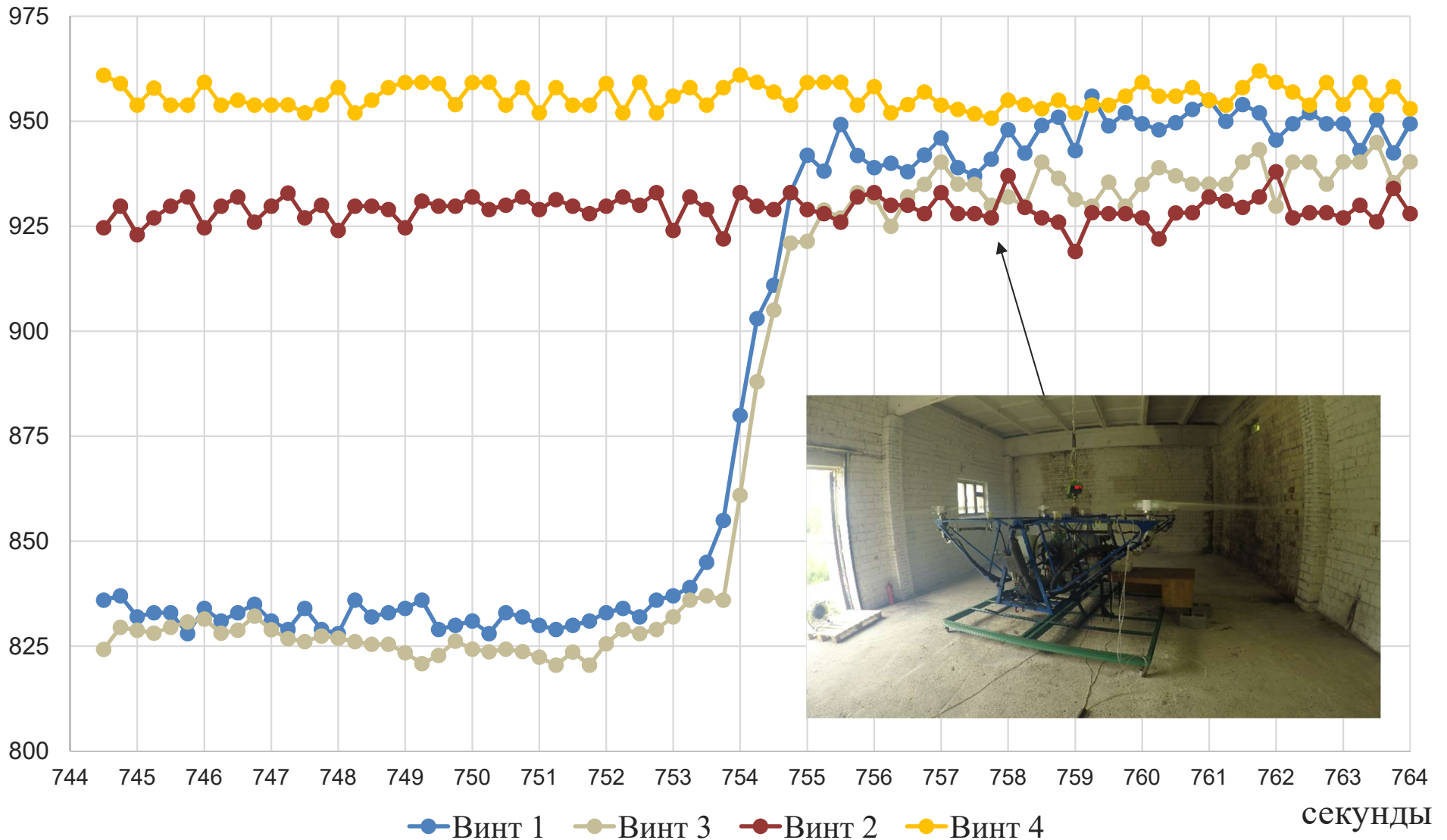
Об/мин



Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК) Выход с угла крена

время возврата частоты вращения винтов с величины 825...850 об/мин до 925...950 об/мин составило 0,75...1,00 сек

Об/мин



Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК)

Протокол стендовых испытаний макетного образца БК

ПРОТОКОЛ №10

Зафиксированная
статическая тяга 4х винтов
составила более **500 кгс**

При суммарной мощности ДВС **120 лс**

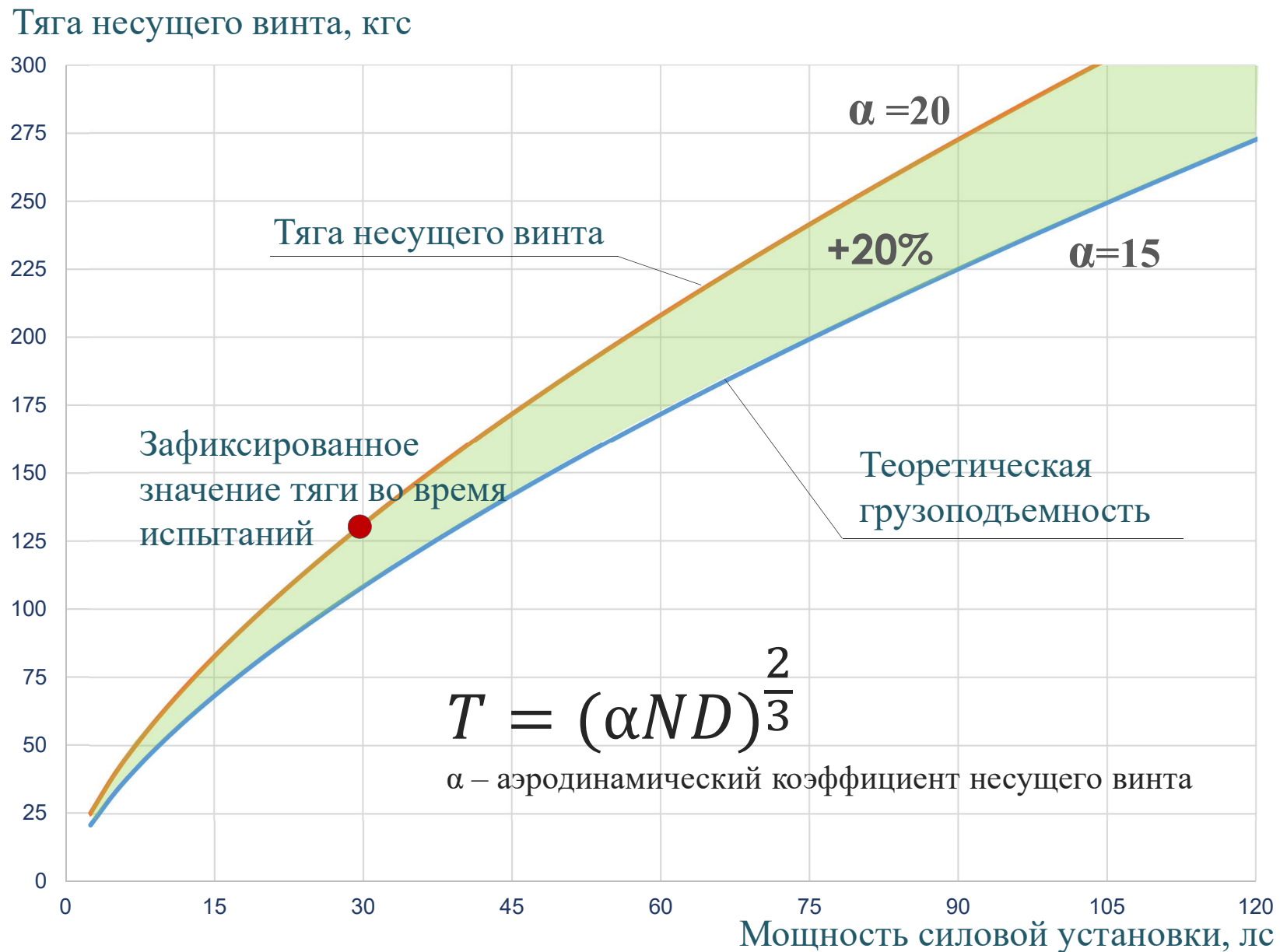
I	II	III	IV
133	136	95	144
509			

кгс

Угол установки лопастей винтов 12°

			1	2	3	4	5	6
Частота вращения винта №1 (В1)	пв1	об/мин	200	450	600	1150	1280	0
Частота вращения винта №2 (В2)	пв2	об/мин	203	470	602	1140	1220	0
Частота вращения винта №3 (В3)	пв3	об/мин	206	490	604	980	1178	0
Частота вращения винта №4 (В4)	пв4	об/мин	212	530	599	1180	1260	0
Частота вращения вала ДВС №1 (Д1)	пв5	об/мин	1620	4010	3610	6910	6800	0
Частота вращения вала ДВС №2 (Д2)	пв6	об/мин	1790	4130	3640	7100	6920	0
Давление на входе в ГМ №1 (ГМ1)	Р1	кгс/см ²	4	46	70	240	392	0
Давление на входе в ГМ №2 (ГМ2)	Р2	кгс/см ²	4	61	86	275	420	0
Давление на входе в ГМ №3 (ГМ3)	Р3	кгс/см ²	5	45	76	195	305	0
Давление на входе в ГМ №4 (ГМ4)	Р4	кгс/см ²	5	42	67	250	430	0
Исходный вес макетного образца БК	G _{0H}	кгс	656					648
	G _T	кгс	641	574	532	221	147	
Передаточное отношение от Д1 к В1	β1	-	8,1	8,9	6,0	6,0	5,3	-
Передаточное отношение от Д1 к В2	β2	-	8,0	8,5	6,0	6,1	5,6	-
Передаточное отношение от Д2 к В3	β3	-	8,7	8,4	6,0	7,2	5,9	-
Передаточное отношение от Д2 к В4	β4	-	8,4	7,8	6,1	6,0	5,5	-

Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК) Расчетная тяга и теоретическая грузоподъемность

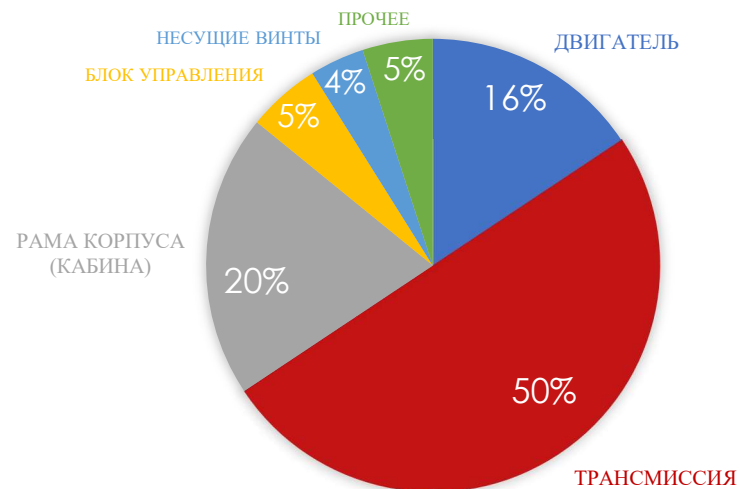


Макетный образец беспилотного квадрокоптера (БК)

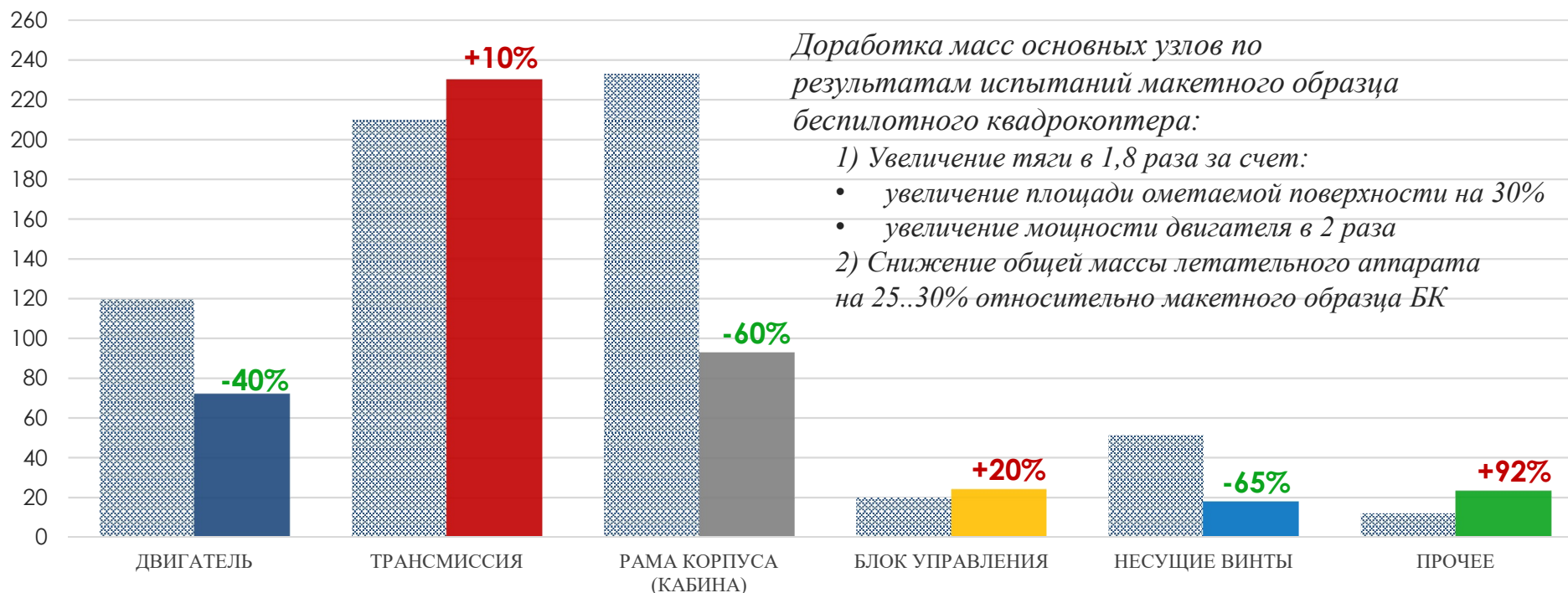
Масса основных узлов

МАКЕТНЫЙ ОБРАЗЕЦ БК (88 кВт)			БК (180 кВт)
№	Наименование узла	Масса, кг	Масса, кг
1	ДВИГАТЕЛЬ	120	72
2	ТРАНСМИССИЯ	210	230
3	РАМА КОРПУСА (КАБИНА)	233	93
4	БЛОК УПРАВЛЕНИЯ	20	24
5	НЕСУЩИЕ ВИНТЫ	51	18
6	ПРОЧЕЕ	12	23
ОБЩАЯ МАССА (без топлива)		646	460

Компоновка БК (180 кВт)



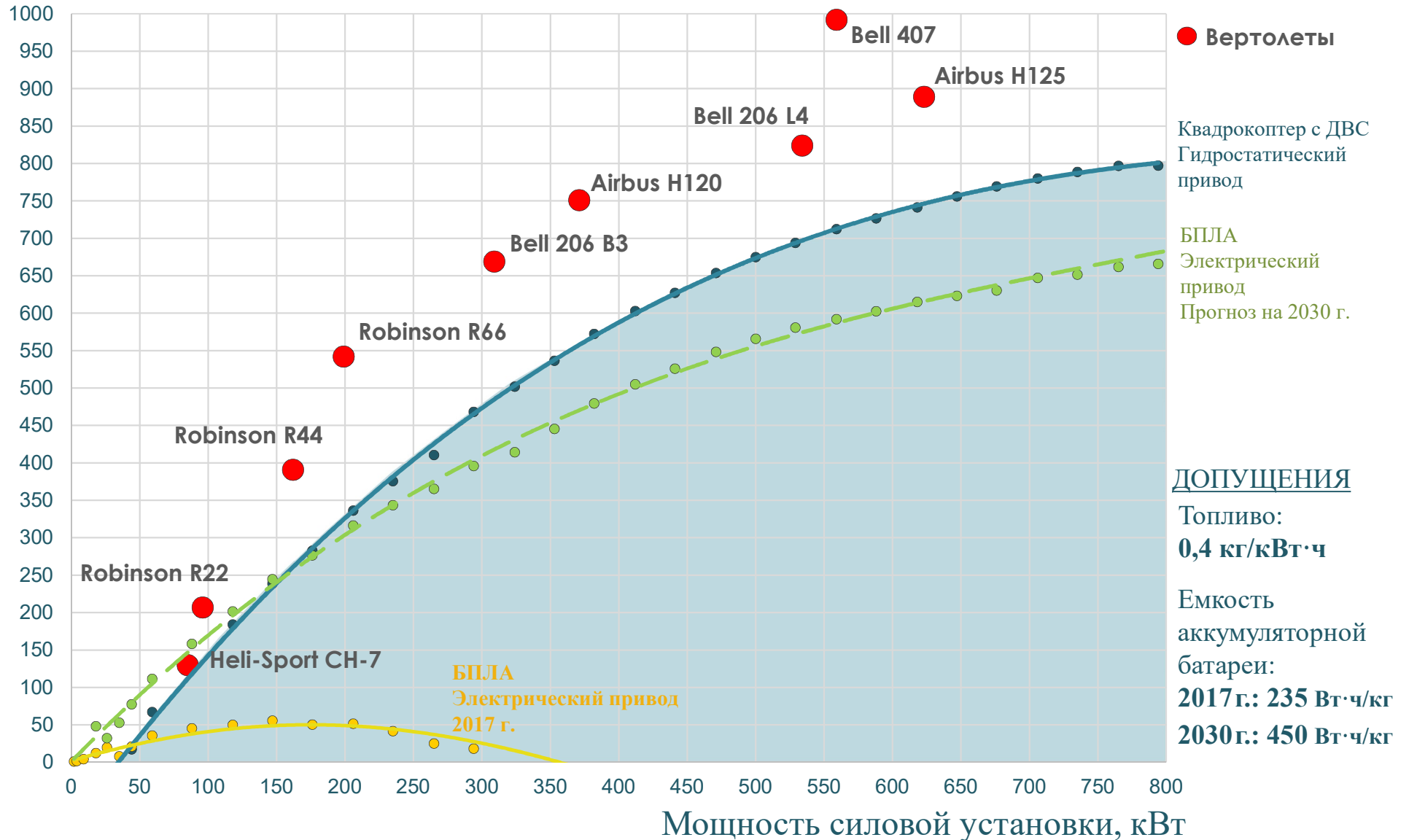
Масса, кг



Сопоставление летательных аппаратов Диаграммы зависимости Полезной нагрузки от мощности

Расчет полезной нагрузки с учетом запаса топлива
 (емкости аккумулятора) на 30 мин полета

Полезная нагрузка, кг



Сопоставление летательных аппаратов

Летные характеристики современных вертолетов

Тяга несущего винта

$$T = (\alpha N D)^{\frac{2}{3}}$$

α – аэродинамический коэффициент несущего винта
(на слайде 8 и 10 был использован коэффициент $\alpha=15$ для оценки грузоподъемности БПЛА)

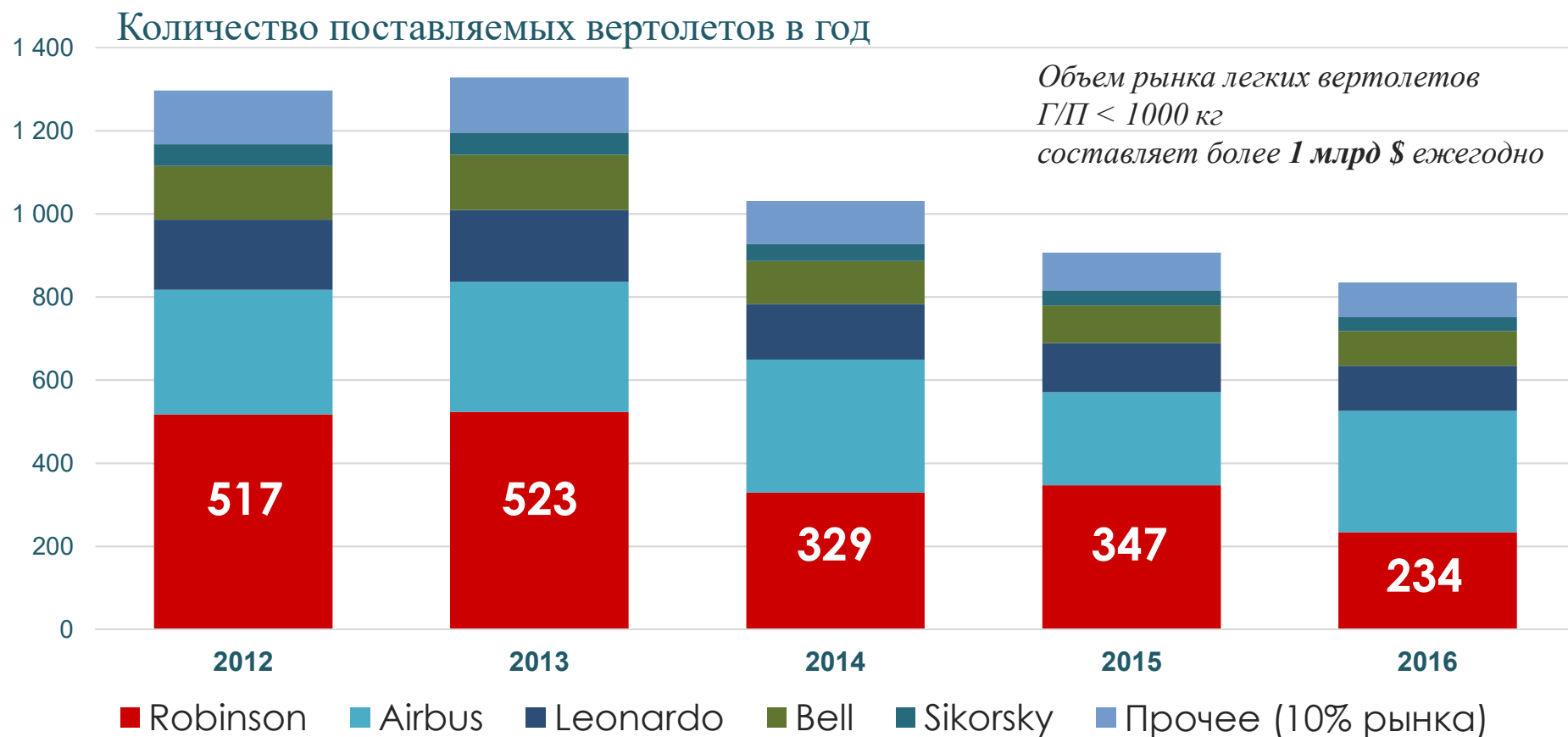
N – мощность двигателя, лс

D – диаметр несущего винта, м

Марка вертолета	Мощность		Диаметр винта, м	Макс. взлетный вес, кг	α	Вес пустого, кг	Топливо (30 мин), кг	Полезная нагрузка, кг
	кВт	лс						
 <p>Robinson R22 Beta II</p>	95	130	7,68	620	15,5	390	23	203
 <p>Robinson R66 Turbine</p>	200	270	10,06	1225	15,8	635	48	542
 <p>Bell 206 B3</p>	310	420	10,16	1520	13,9	780	71	666
 <p>Airbus H120</p>	370	505	10,00	1800	15,1	960	89	751

Сопоставление летательных аппаратов

Мировой рынок легких вертолетов



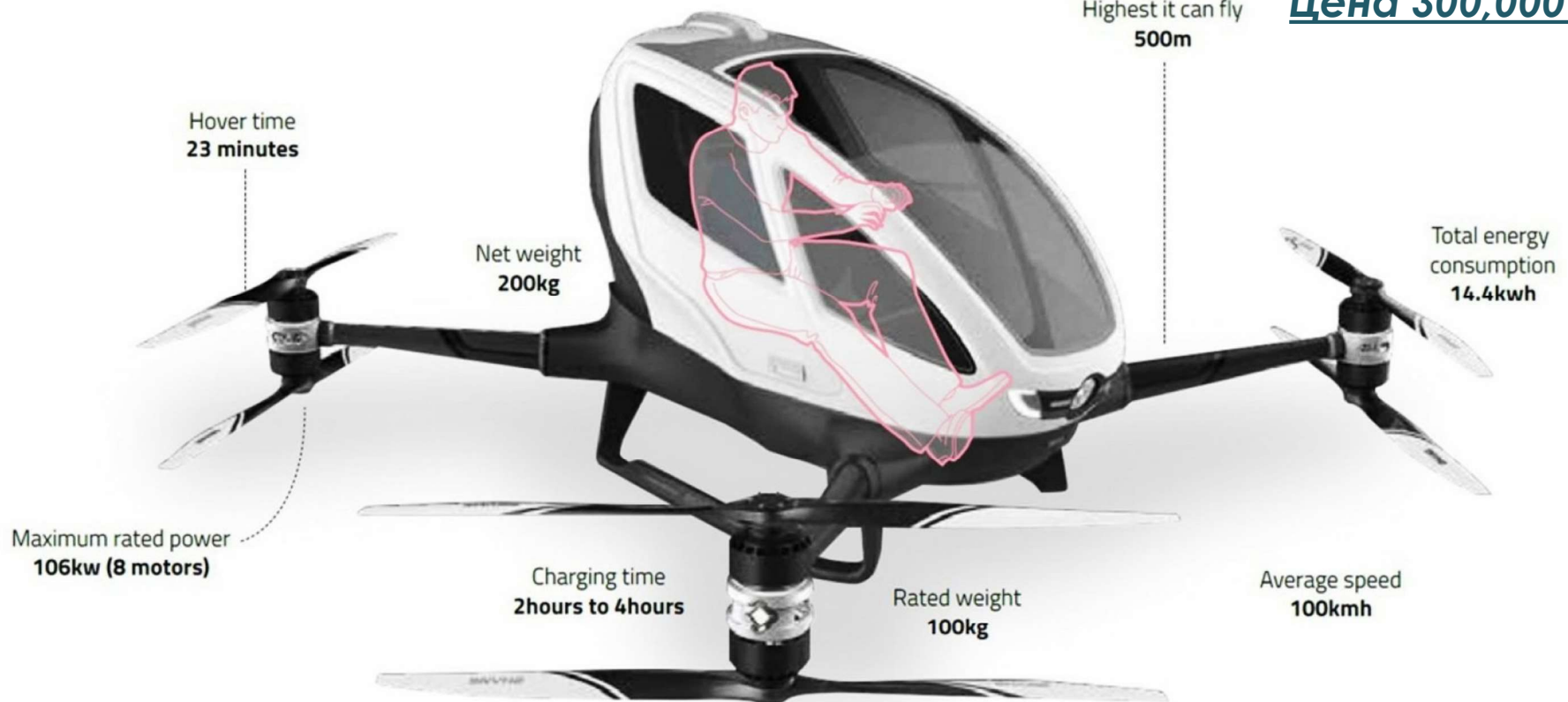
Robinson Helicopters: годовые продажи вертолетов и выручка

Марка вертолета	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Цена	Средняя выручка
R22	40	56	40	42	42	34	19	\$292 000	\$11 388 000
R44	112	212	286	289	186	196	152	\$465 000	\$95 192 143
R66	10	88	191	192	101	117	63	\$890 000	\$96 882 857
ИТОГО, шт	162	356	517	523	329	347	234		\$200 000 000

Сопоставление летательных аппаратов EHANG 184

<http://www.ehang.com/ehang184>

Цена 300,000 \$



Source: Ehang

TODAY

FIRST PASSENGER DRONE



В настоящее время компания-производитель собрала единственный прототип устройства. Компания объединит усилия с Nevada Institute for Autonomous Systems. Для дальнейших разработок и проведения совместных испытаний. Ehang собрал инвестиции в объеме порядка \$52 млн. (компания возникла в 2014 году).

Сопоставление летательных аппаратов Volocopter & Daimler

<https://www.volocopter.com/en/product/>

2011 г. – начало работы над проектом



2015 г. – готовый действующий прототип; тестовые полеты в закрытом помещении



2016 г. – успешное прохождение испытательных полетов на аэродроме



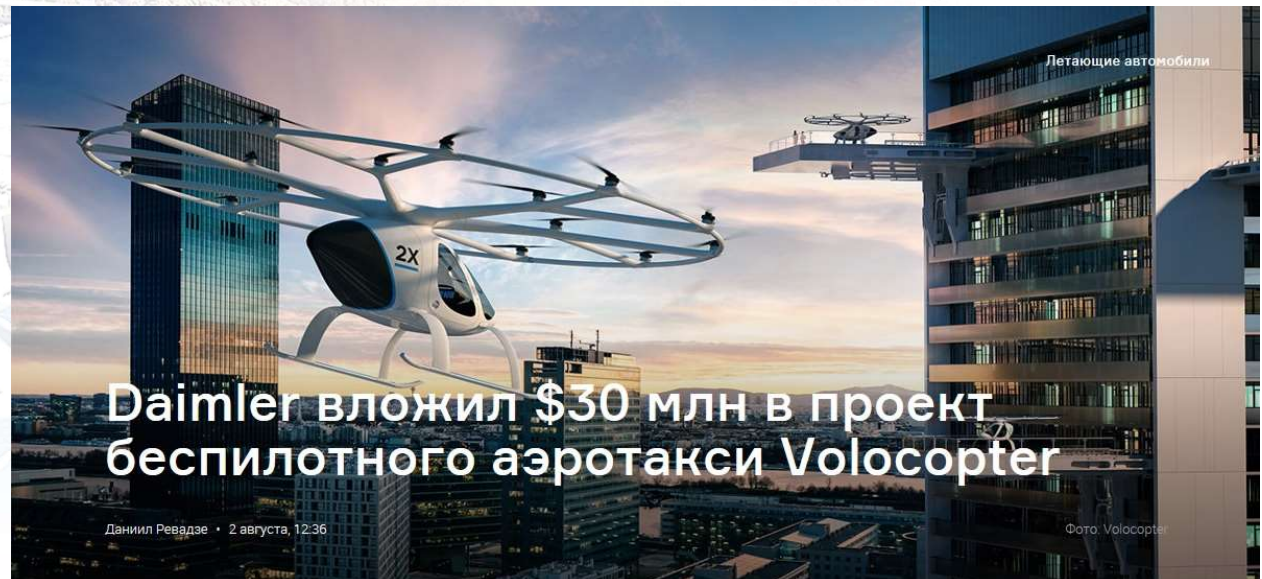
2018 г. – выход на рынок

Заявленные параметры:

Цена 350,000 \$

- Грузоподъемность **450 кг**
- Вес пустого **290 кг**
- Электрическая мощность **45 кВт**
- Габариты **Ø 9,2 м, высота 2,2 м**
- Количество винтов **18 x 1.80 м**
- Максимальная скорость **65...70 км/ч**
- Максимальное время полета **27 мин**
- Время зарядки аккумулятора **120 мин**

Стартап **Volocopter** компании **E-Volo** (Германия) **«Беспилотный электрический летающий автомобиль»** получил 30,000,000 \$ от автомобильного гиганта **Daimler**



2 августа 2017 г.

<https://hightech.fm/2017/08/02/volocopter-daimler>

Сопоставление летательных аппаратов

Концепт Pop.Up Airbus Helicopters

Характеристики капсулы (кабины)

- Длина **2650 мм**
- Высота **1450 мм**
- Ширина **1550 мм**
- Количество пассажиров **2**
- Вес конструкции **200 кг**

Характеристики летающего модуля:

- Длина **4400 мм**
- Высота **850 мм**
- Ширина **5000 мм**
- Количество винтов **8**
- Диаметр винтов **1,780 м**
- Электрическая мощность **136 кВт**
- Емкость аккумулятора **70,0 кВт·ч**
- Максимальное время полета **30 мин**
- Максимальная скорость **100 км/час**

Концепт летающего автомобиля будущего от компании Airbus Helicopters



Сопоставление летательных аппаратов

Технические характеристики летательных аппаратов

Параметры		Robinson R 22	EHANG 184	МЭКОМ БК с ДВС	Robinson R 66	Bell 206
Мощность	кВт	130	106 (14,4 кВт·ч)	180	200	315
Габариты	м	8,7 x 7,7	4,0 x 4,0	6,0 x 6,0	11,7 x 10,1	11,8 x 10,2
Диаметр винта	м	7,68	8 x 1,50	4 x 2,85	10,06	10,16
Грузоподъемность	кг	635	300	760	1 225	1 520
Масса пустого	кг	390	200	460	635	780
Полезная нагрузка (без учета запаса топлива)	кг	245	100	300	590	740
Время полета		130 мин	8..23 мин	120 мин	180 мин	170 мин
Стоимость		\$ 292 000	\$ 300 000	\$ 170 000	\$ 890 000	\$ 900 000
\$/Пол. Нагрузка		1 192	3 000	567	1 508	1 216

«Стоимость» – розничная цена в базовой комплектации без учета доставки

[Данные приведены на основе источников:](#)

http://agat-avia.com/bell_206b3

https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2015/06/r66_pricelist.pdf https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2016/03/r22_pricelist.pdf

<https://www.pcworld.com/article/3019704/consumer-electronics/the-chang-184-is-a-single-passenger-drone-that-transport-people-yes-people-at-11-000-feet.html>



Многовинтовой летательный аппарат с ДВС

и регулируемым гидростатическим
приводом несущих винтов
фиксированного шага