#### Конкурсная работа

**Авторы:** Никитин С.О., Каргапольцев П.И. (АО «Камов»)

**Название работы**: Проект скоростного вертолета схемы «синхроптер» с толкающим воздушным винтом.

Аннотация: Разработан проект перспективного скоростного летательного аппарата (ЛА) вертикального взлета и посадки на базе несущих винтов (НВ) вертолета схемы «синхроптер» с толкающим воздушным винтом (ВВ). При разработке проекта использованы и продемонстрированы возможности современных компьютерных технологий проектирования. Основной акцент сделан на аэродинамическом проектировании ЛА с внедрением современных тенденций создания скоростных вертолетов. Рассмотрены основные ограничения и возможные пути реализации увеличения скоростей полета вертолета. Приведены результаты расчетов аэродинамических характеристик с учетом принятых решений. Сформированы общий вид, компоновка и рассчитаны летно-технические характеристики (ЛТХ) ЛА.

#### Основные результаты:

Решена задача разработки скоростного пассажирского летательного аппарата вертикального взлета и посадки с платной нагрузкой 1000 кг.

Проведено моделирование несущей системы типа «синхроптер» и эквивалентных ей одиночной и соосной схем на висении. Показано преимущество схемы «синхроптер» по величине КПД до 4% в сравнении с эквивалентным четырехлопастный одиночным винтом.

Приняты следующие технические решения для реализации повышенных скоростей полета:

- снижение окружной скорости вращения концов лопастей винтов (с 220 до 180 м/с) и установка стреловидных сужающихся законцовок, для избежания волнового кризиса на наступающих лопастях с ростом скорости полета;
- уравновешивание опрокидывающих моментов на НВ типа «синхроптер» по аналогии со схемой АВС;

- несущие винты с полужесткими торсионными втулками с системой индивидуального управления лопастями (ИУЛ) типа МЕТА для борьбы со срывом потока на отступающих лопастях;
- разработана компоновка фюзеляжа, учитывающая специфику принятой схемы, имеющая малое лобовое сопротивление на околонулевых углах атаки;
- специально подобранный и спроектированный пропульсивный BB, имеющий максимальную эффективность на эксплуатируемых скоростях.

Путем численного моделирования несущей системы на базе нелинейной вихревой модели проведен анализ эффективности принятых решений на скорости полета до 420 км/ч.

Выполнен расчет ЛТХ аппарата, подтвердивший соответствие полученных характеристик исходному заданию и мировому уровню перспективных современных разработок.

В итоге разработан проект скоростного пассажирского вертолета, обладающий следующими характеристиками: взлетная масса 6500 кг, масса полезной нагрузки 1000 кг, крейсерская скорость 357 км/с, максимальная скорость 420 км/ч, статический потолок 4700 м, динамический потолок 5600 м, дальность полета 1228 км.

Разработанный проект имеет перспективы и запас по совершенствованию ЛТХ за счет более глубокого аэродинамического проектирования несущей системы и фюзеляжа.





## Проект скоростного вертолета схемы "синхроптер" с толкающим воздушным винтом



#### Авторы:

- Никитин С.О.;
- Каргапольцев П.И.;

#### Научные консультанты:

- зав. кафедрой «Проектирование вертолетов» МАИ, доцент, к.т.н. Игнаткин Ю.М.;
- доцент кафедры «Проектирование вертолетов» МАИ, к.т.н. Макеев П.В.;
- доцент кафедры «Проектирование вертолетов» МАИ, к.т.н. Шомов А.И.



#### ПАРАМЕТРЫ ПРОЕКТА

- Масса платного груза, (кг)......1000
- Дальность полета, (км)......1000
- Крейсерская скорость, (км/ч)......350
- Максимальная скорость, (км/ч)...400
- Статический потолок, (м)......3000
- Динамический потолок, (м)......5000



## <u>Анализ основных реализованных аэродинамических схем</u> <u>скоростных вертолетов</u>





Eurocopter X3 (демонстратор)

Airbus Racer (проект)





Sikorsky X2 (демонстратор)



Sikorsky S-97 Raider



Применяемые технологии:

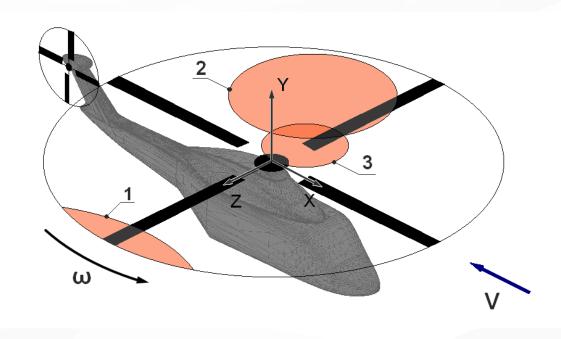
- "разгрузка" НВ при помощи крыла;
- вывод НВ на авторотацию;
- жесткий НВ;
- пропульсивной движитель;
- технология АВС;
- индивидуальное управление лопастями;
- поворотные винты.

Bell XV-15 (демонстратор)

Bell V-280 Valor (разрабатывается)



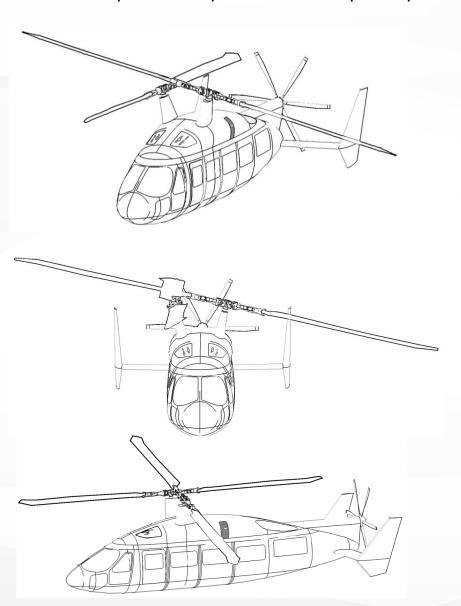
#### <u>Ограничения по скорости полета вертолета связанные с</u> <u>особенностями аэродинамики несущего винта</u>



- 1 волновой кризис на наступающей лопасти;
- 2 срыв потока на отступающей лопасти;
- 3 зона обратного обтекания на отступающей лопасти.



#### Проект скоростного синхроптера с толкающим воздушным винтом

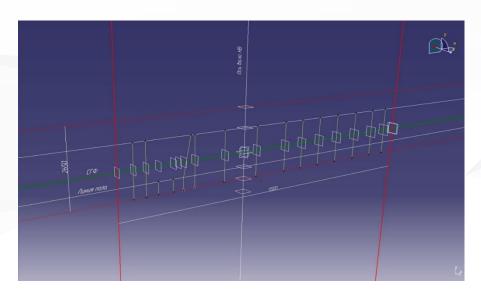


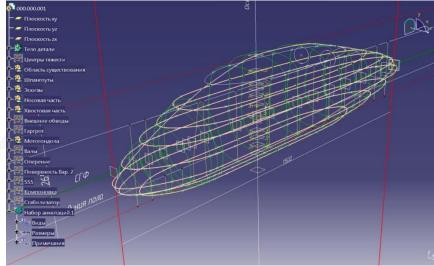
#### Преимущества:

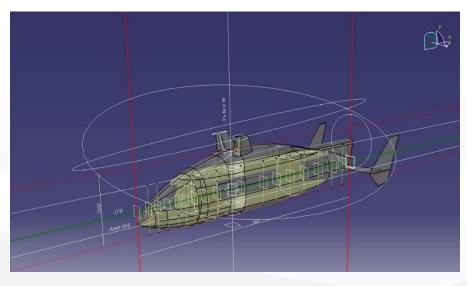
- относительно простая трансмиссия;
- возможность реализации технологии типа АВС;
- компенсация боковых моментов;
- горизонтальный полет на «авторотации» НВ с минимальной нагрузкой на трансмиссию;
- реализация пропульсивной силы только на воздушном винте с максимальной энергетической эффективностью на данных режимах;
- работа фюзеляжа при околонулевых углах атаки, обеспечивающих минимальное сопротивление;
- возможность применения индивидуального управления лопастями (ИУЛ) позволяющего отодвинуть критические режимы обтекания лопастей, с большим нагружением наступающих лопастей.

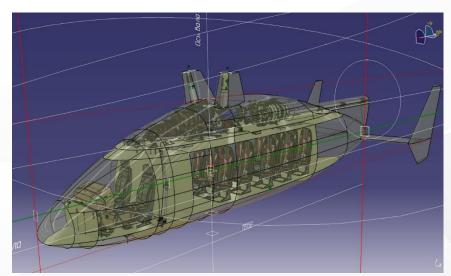


#### <u>Проектирование обводов фюзеляжа и компоновки в САПР Catia V5</u>







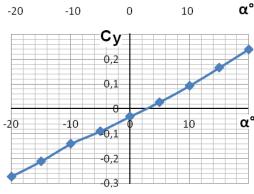


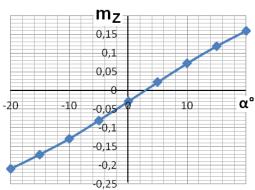


#### <u>Результаты расчета аэродинамических характеристик</u> <u>спроектированного фюзеляжа на базе CFD-метода</u>

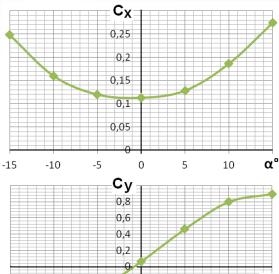
# «чистый» фюзеляж С<sub>х</sub> 0,15

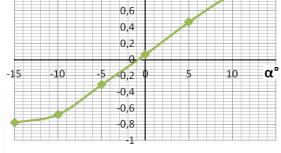
0,05

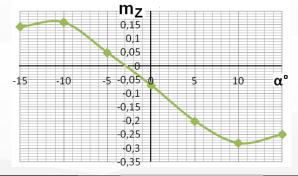


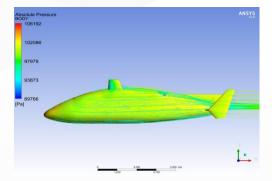


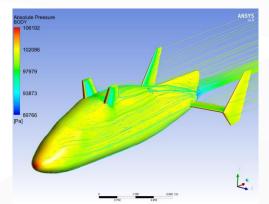
#### фюзеляж с оперением

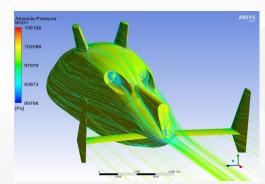








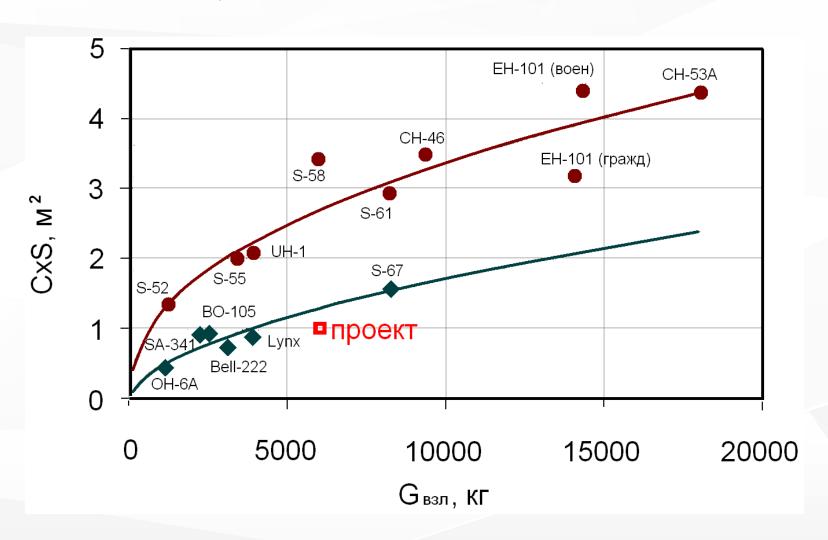






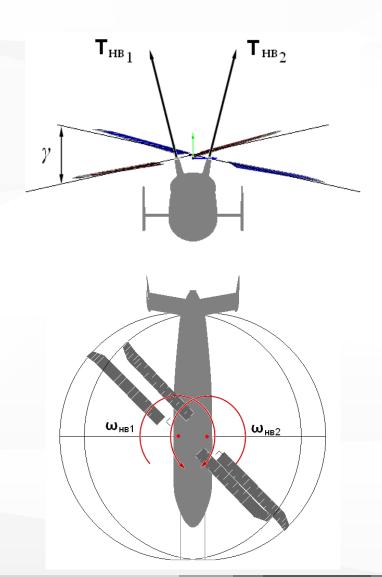
#### Статистический график М.Н. Тищенко

#### (лобовое сопротивление ЛА в зависимости от взлетного веса)





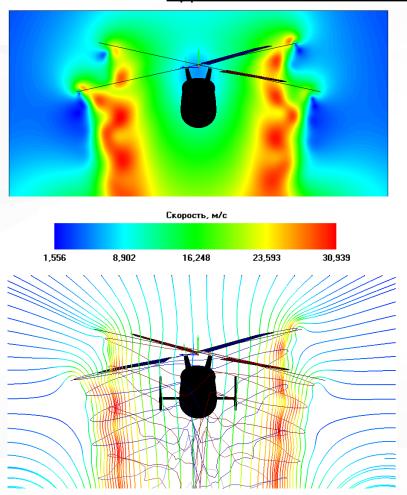
## Выбранные на предварительном этапе основные параметры несущей системы проектируемого "синхроптера"



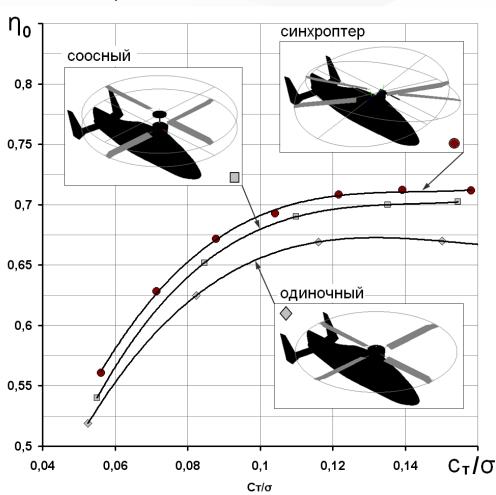
Параметры HB <sub>1</sub> и HB <sub>2</sub>	
D, (м)	12
R, (м)	6
Кл, (шт.)	2
ωR,(м/c)	220/180
σ <sub>7</sub> , (%)	0,062
b <sub>7</sub> , (м)	0,588
$ar{r}_0,$ (M)	0,2
$\eta_\pi$	1
λ	10,2
Р, (Па)	282
$C_{_{\mathrm{T}}}$	0,0095
$C_{\scriptscriptstyle \mathrm{T}}$ $C_{\scriptscriptstyle \mathrm{y7}}$	0,506



## Относительный КПД НВ синхроптера и эквивалентных ему одиночного и соосного винтов на режиме висения



мгновенное точечное поле скоростей и линии тока в струе за винтами синхроптера на режиме висения V = 0

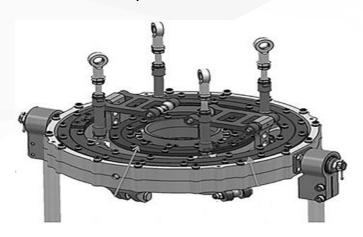


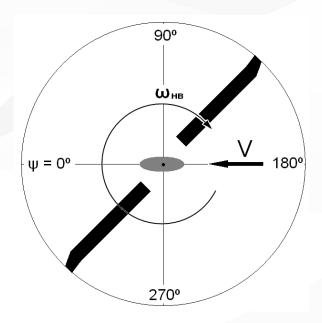
зависимости относительного КПД  $\eta_0 = f(c_{\tau}/\sigma)$  на режиме висения V = 0



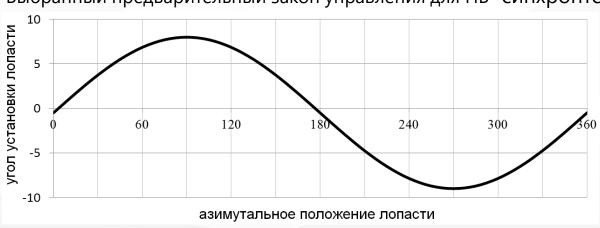
## Применяемая на проектируемом аппарате система индивидуального управления лопастями НВ (ИУЛ)

## Схема двойного автомата перекоса МЕТА



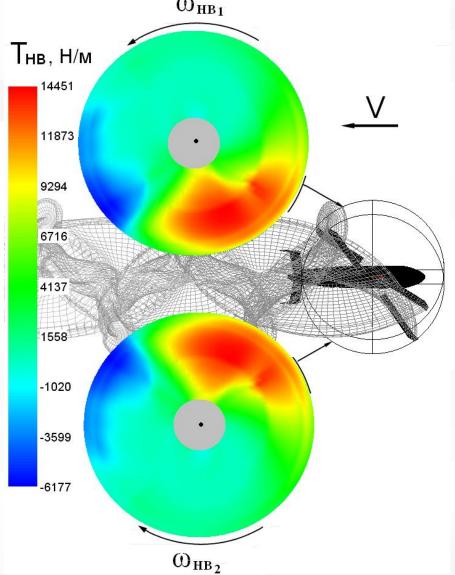


Выбранный предварительный закон управления для НВ "синхроптера"





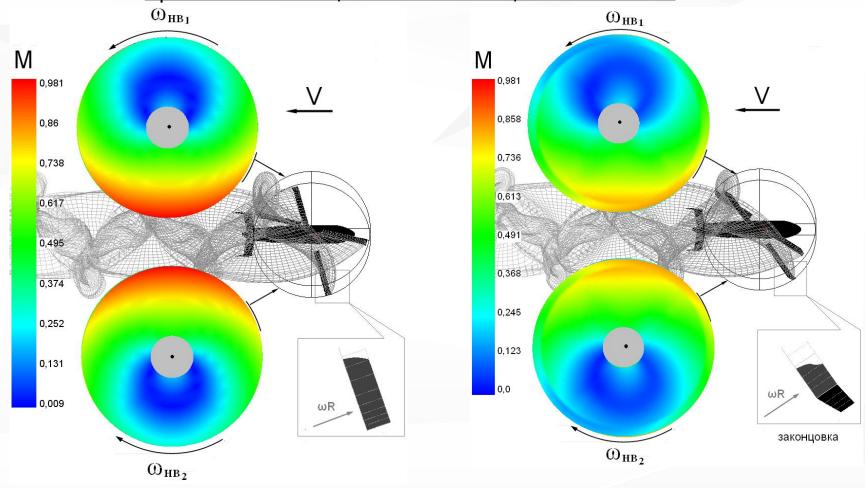
### Концепция реализации тяги на наступающих лопастях HB $\omega_{{\scriptscriptstyle HB}_1}$



распределение тяги по диску HB на режиме полета с максимальной скоростью V = 420 км/ч



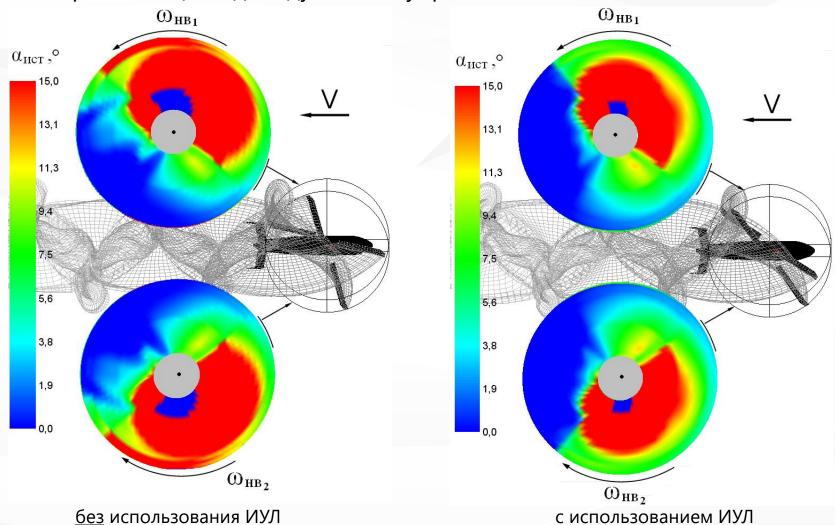
#### Уменьшение чисел Маха на наступающей лопасти за счет снижения скорости вращения НВ с ростом скорости полета и применения специальных законцовок лопастей



ωR = 220 м/с ωR = 180 м/с распределение числа Маха в сечениях лопасти по диску НВ на режиме полета с максимальной скоростью V = 420 км/ч



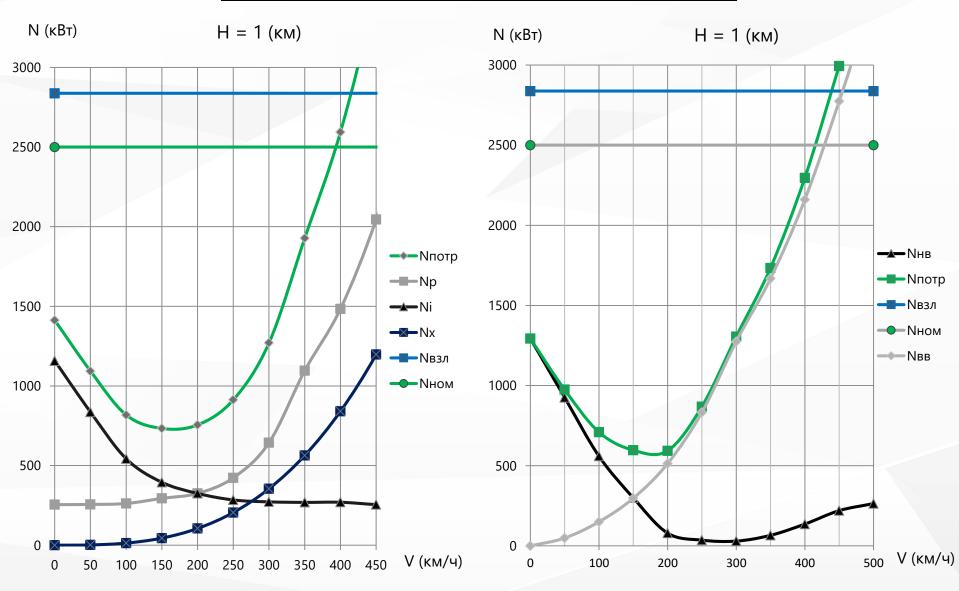
## <u>Уменьшение области срыва потока на отступающей лопасти</u> при помощи индивидуального управления лопастями (ИУЛ)



распределение углов атаки в сечениях лопасти по диску НВ на режиме полета с максимальной скоростью V = 420 км/ч (красным цветом обозначены срывные области с углами атаки свыше 15°)

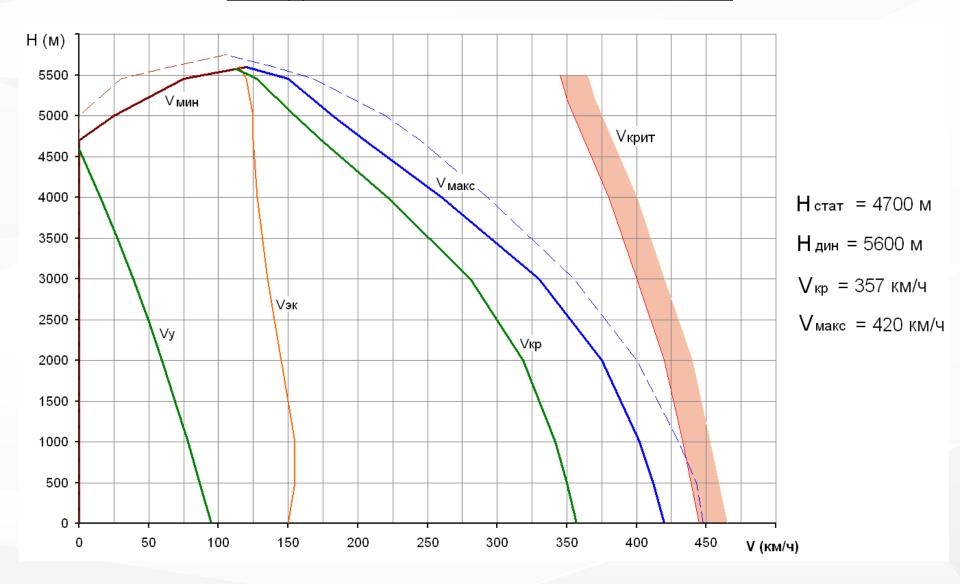


#### АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЕРТОЛЕТА



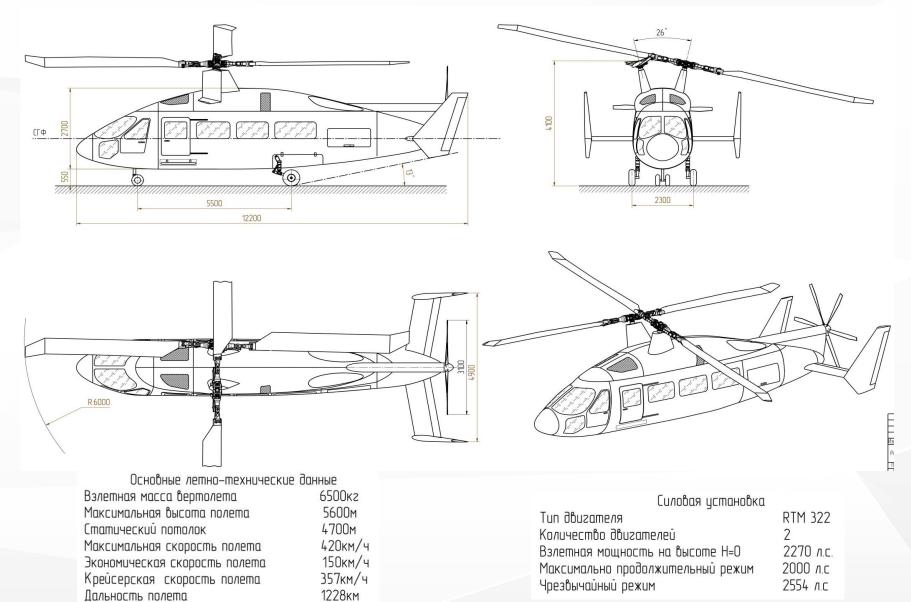


#### АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ВЕРТОЛЕТА





#### ОБЩИЙ ВИД ВЕРТОЛЕТА

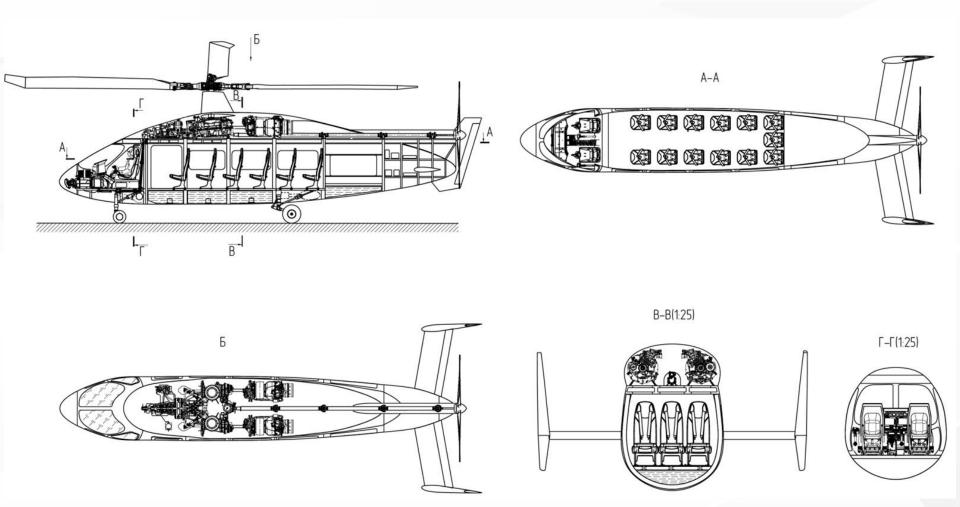


4,94

Продолжительность полета



#### КОМПОНОВКА ВЕРТОЛЕТА









## Спасибо за внимание!