



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Е. ЖУКОВСКОГО

Научно-техническая конференция  
«Технические концепции и проекты создания авиационных  
двигателей для малой и региональной авиации»  
Москва, ЦИАМ им. П.И Баранова, 03 октября 2017 г.

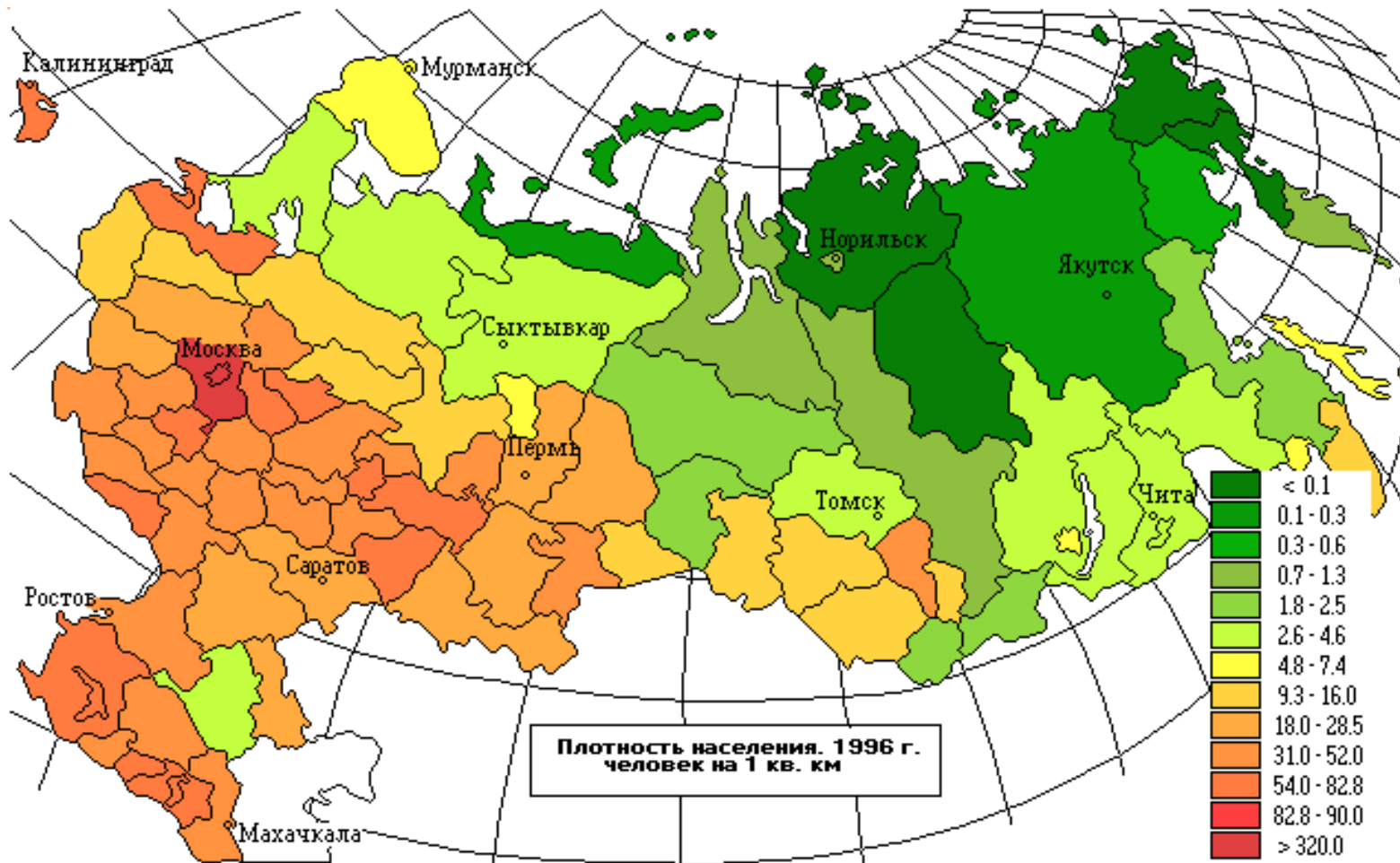
## ТРЕБОВАНИЯ К ПЕРСПЕКТИВНЫМ ВОЗДУШНЫМ СУДАМ МАЛОЙ И РЕГИОНАЛЬНОЙ АВИАЦИИ, И ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Клочков Владислав Валерьевич,  
*д.э.н., к.т.н., директор департамента стратегии  
и методологии управления созданием научно-  
технического задела*

Рождественская Софья Михайловна,  
*начальник отдела департамента СиМУ СНТЗ*



# Экономические проблемы развития авиатранспорта в отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионах



## Географическая специфика Российской Федерации:

*свыше 60% территории – малонаселенные регионы, в которых воздушный транспорт – безальтернативное средство обеспечения доступности*

В условиях низкой плотности и/или подвижности населения, неприемлемо высоки

- длительность и стоимость поездок в/из аэропорта и/или длительность ожидания рейса;
- стоимость содержания аэродромной инфраструктуры, приходящаяся на одного жителя или пассажира.



Общее время поездки - сумма времени, затрачиваемого на поездку на подвозящем транспорте  $T_{подв}$ , времени полета  $T_{пол}$  и межрейсового интервала  $T_{межр}$ :

$$T_{\Sigma} = T_{подв} + T_{пол} + T_{межр}.$$

Длительность полета в часах:  $T_{пол} = \frac{L}{v}$ , где  $v$  - средняя рейсовая скорость ВС на данной дальности (км/ч).

Пусть  $\rho$  - плотность населения, чел./кв. км,

$\gamma$  - уровень авиационной подвижности населения, полетов/чел. в год.

Тогда межрейсовый интервал при 100%-м заполнении салона:

$$T_{межр}^{ест} = \frac{365 \cdot 24 \cdot m}{r^2 \cdot \rho \cdot \gamma},$$

где  $m$  – пассажироместимость ВС.

## **Требование к качеству авиатранспортных услуг:**

выполнение транспортного стандарта – возможность преодолеть расстояние  $L$  за ограниченное время  $T_{\Sigma}^{допуст}$  (например, «300 км – 10 ч», с учетом ожидания рейса.)

Тогда максимально допустимый межрейсовый интервал:

$$T_{межр}^{допуст} = T_{\Sigma}^{допуст} - T_{пол} - T_{подв} = T_{\Sigma}^{допуст} - \frac{L}{v} - \frac{r}{v_{подв}},$$

где  $v_{подв}$  - скорость подвозящего транспорта в км/ч,

$r$  - расстояние между аэропортами местных воздушных линий в км (аэропорты расположены на территории равномерно).



Для обеспечения  $T_{\text{межр}}^{\text{допуст}}$  при малой подвижности и плотности населения, потребуется компенсация расходов на перевозки с пониженной занятостью кресел (либо за счет бюджетного субсидирования, либо повышением цены авиабилетов).

Тогда затраты на полет в расчете на пассажира возрастут до

$$P_{\text{эфф}} = P \cdot \frac{T_{\text{межр}}^{\text{ест}}}{T_{\text{межр}}^{\text{допуст}}},$$

где  $P = c_{\text{ккм}} \cdot L$ , руб./кресло, - средняя себестоимость полета на расстояние  $L$ .

$c_{\text{ккм}}$  - средняя себестоимость кресло-километра полета, руб./кресло-км.

**Оптимизируем** расстояние между аэропортами и выбор типов ВС **по критерию минимума полных затрат на поездку при выполнении транспортного стандарта:**

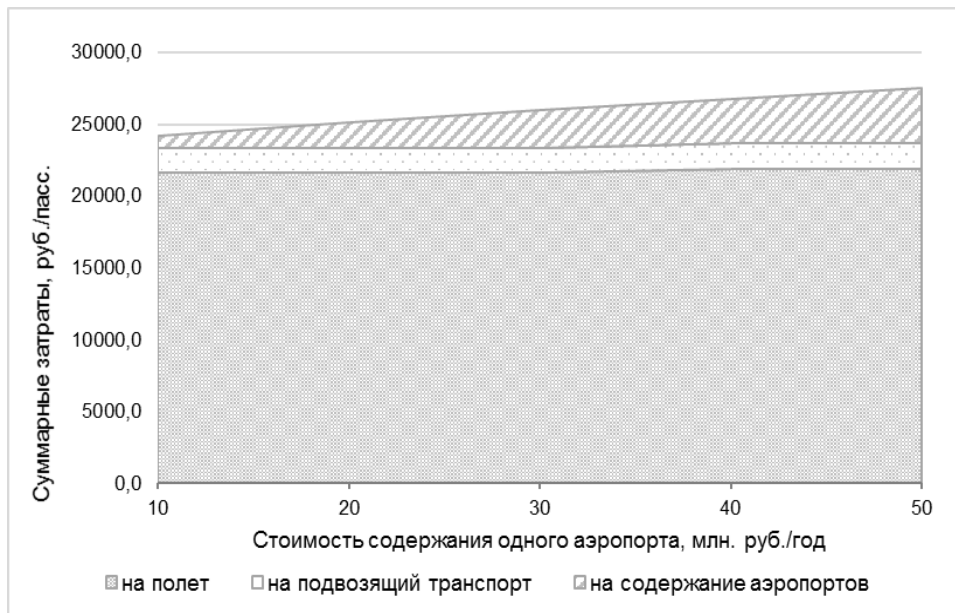
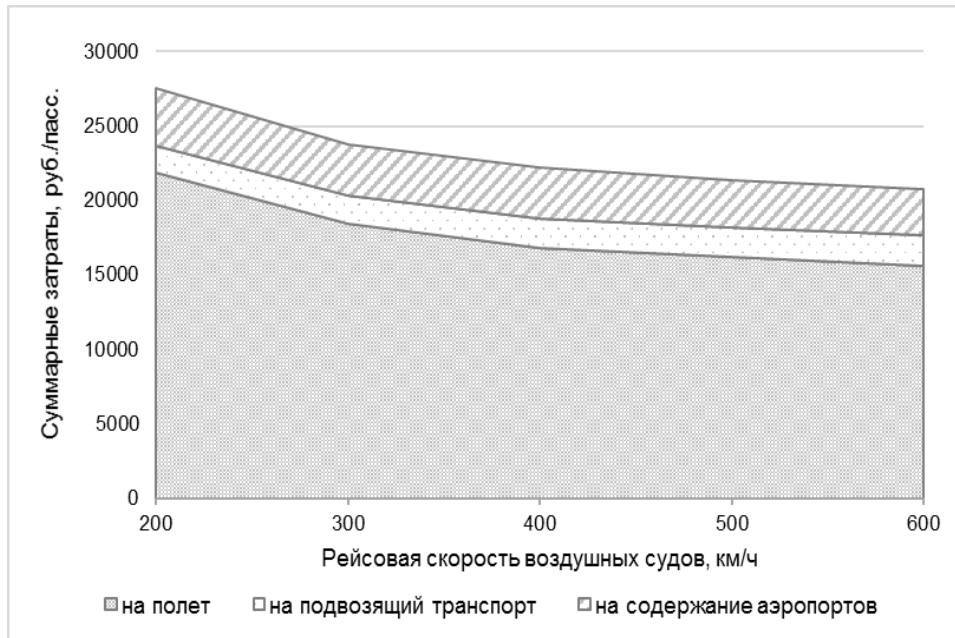
$$C_{\Sigma}^{\min} (T_{\Sigma}^{\text{допуст}}) = \min_{r,k} \left[ c_{\text{ккм}}^k \cdot L \cdot \max \left\{ \frac{T_{\text{межр}}^{\text{ест}}}{T_{\text{межр}}^{\text{допуст}}}; 1 \right\} + c_{\text{подв}} \cdot r + \frac{FC_{\text{аэр}}^k}{r^2 \cdot \rho \cdot \gamma} \right],$$

где  $C_{\Sigma}^{\min}$  - оптимальный уровень полных затрат на поездку;

$k$  - тип ВС (задающий, в т.ч., требования к инфраструктуре);

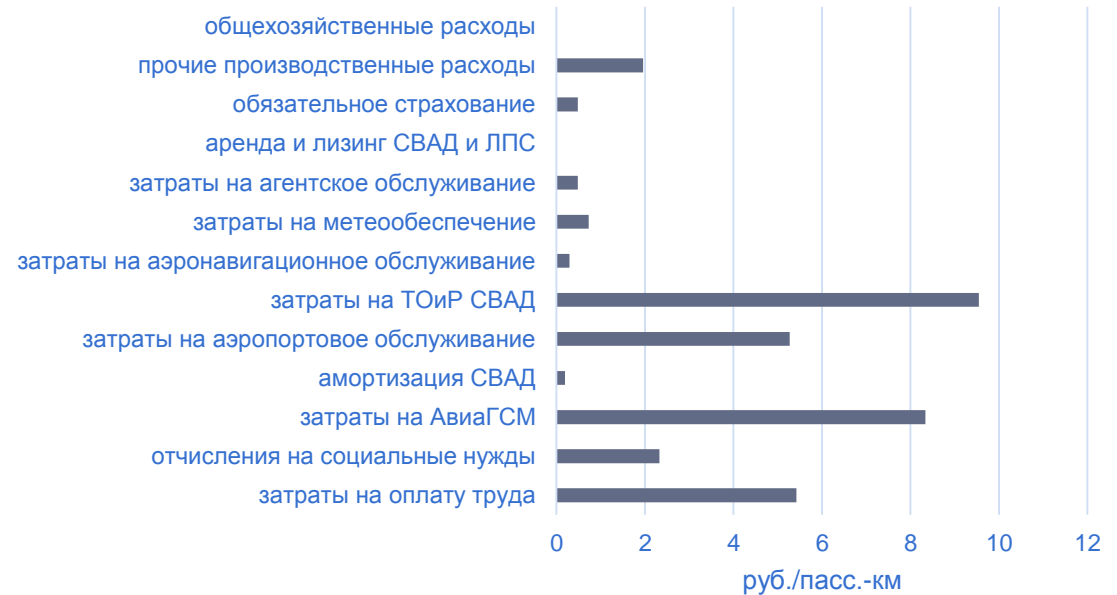
$c_{\text{подв}}$  - средний тариф на подвозящем наземном транспорте, руб./пасс.-км;

$FC_{\text{аэр}}$  - стоимость содержания одного аэропорта, руб./год.



- Влияние скорости полета (тем более, крейсерской) незначительно;
- На данном этапе незначительно влияние взлетно-посадочных характеристик;
- Пока преобладают затраты непосредственно на выполнение полета, особенно при низкой заполняемости кресел

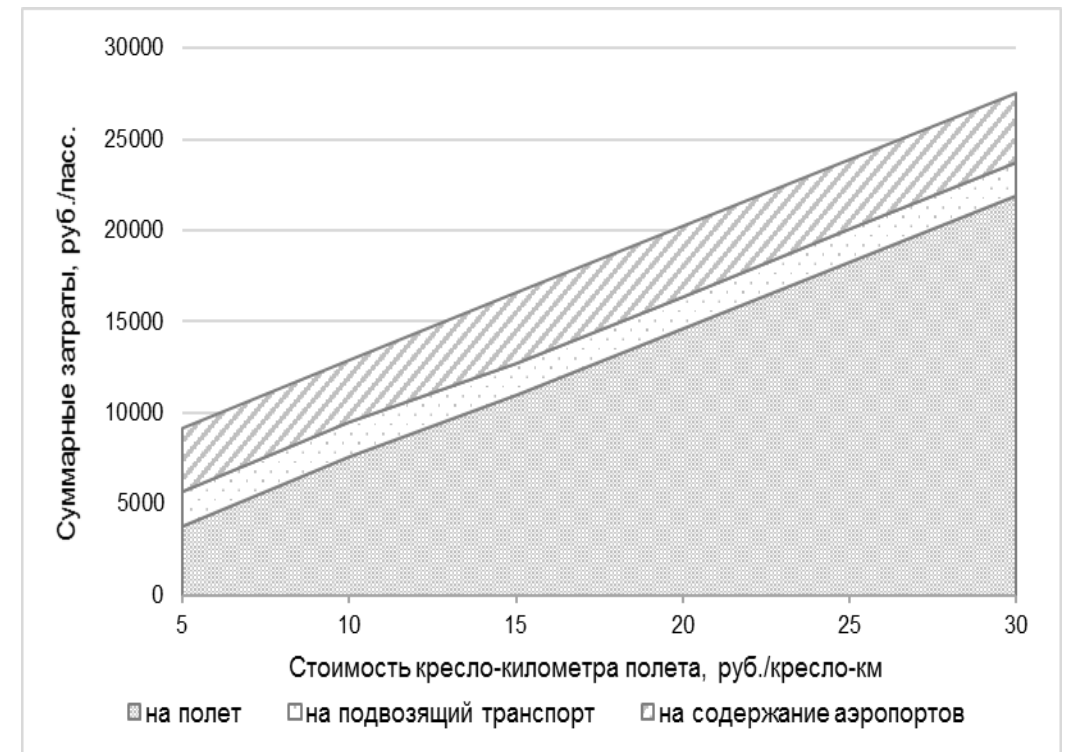
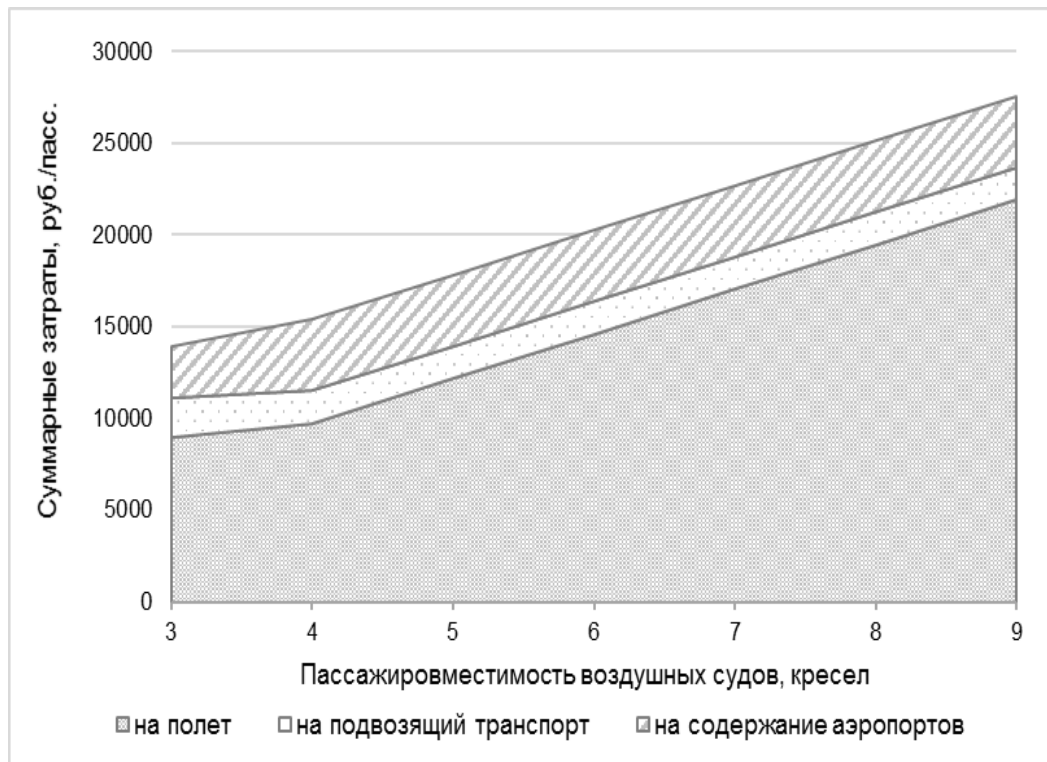
## местные внутренние ВЛ (L<sub>ср</sub> = 250-300 км)



(по данным А.А. Фридлянда, ГосНИИГА, 2013)

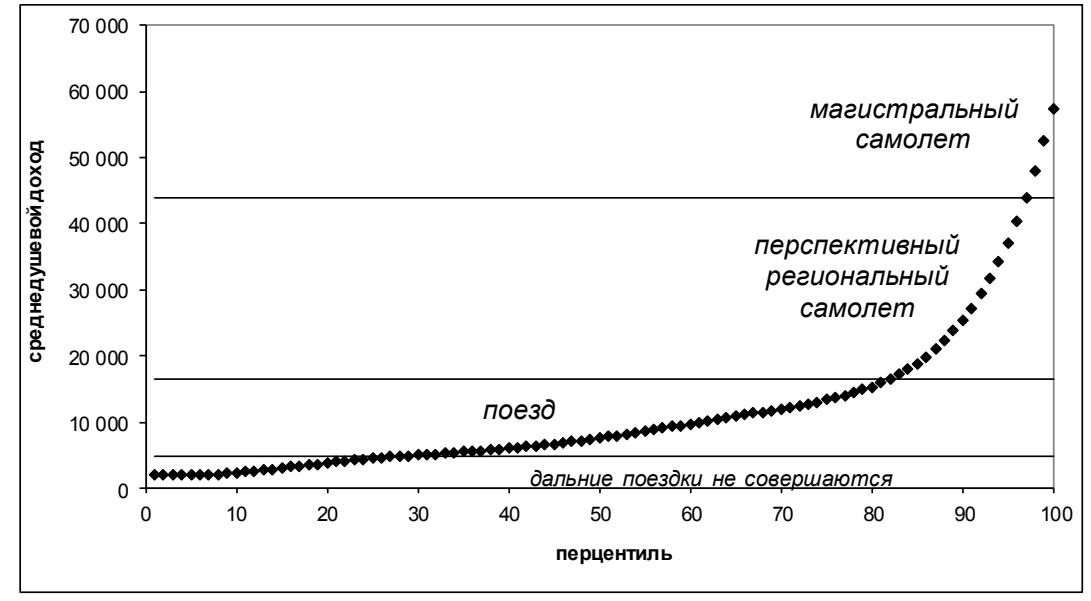
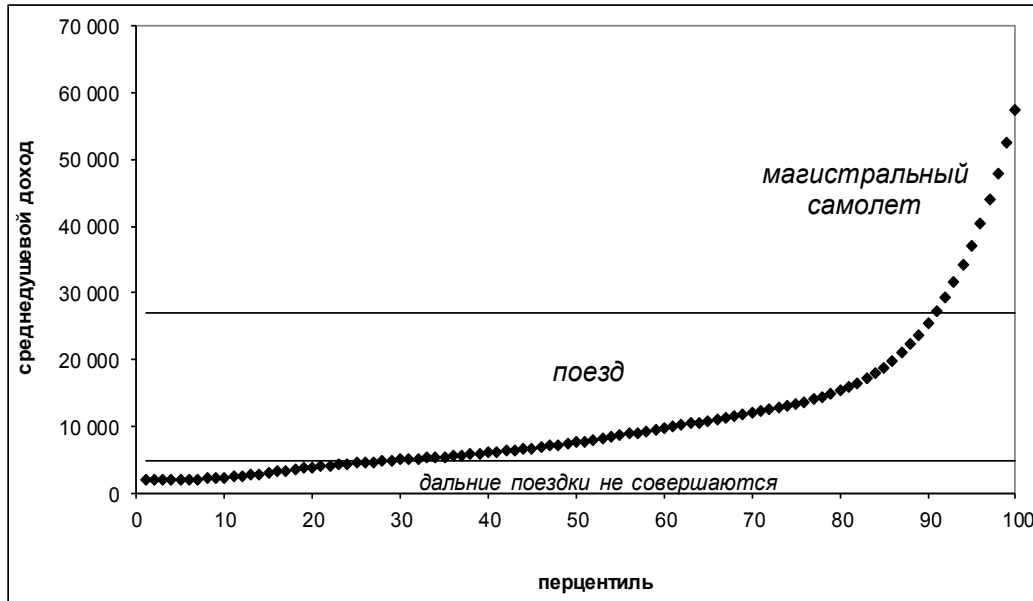
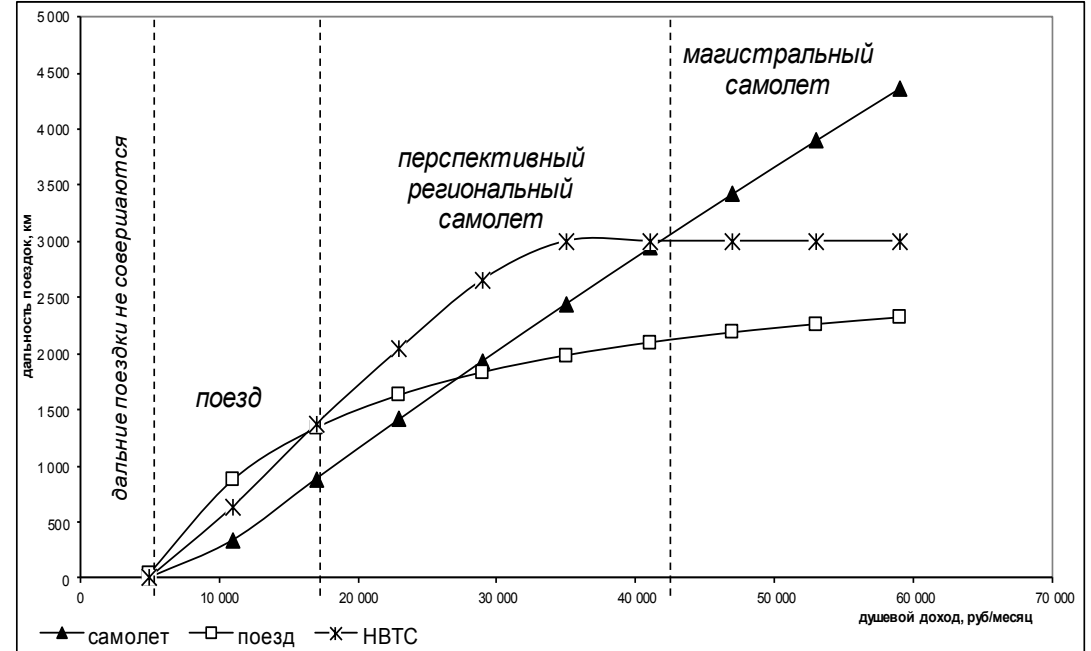
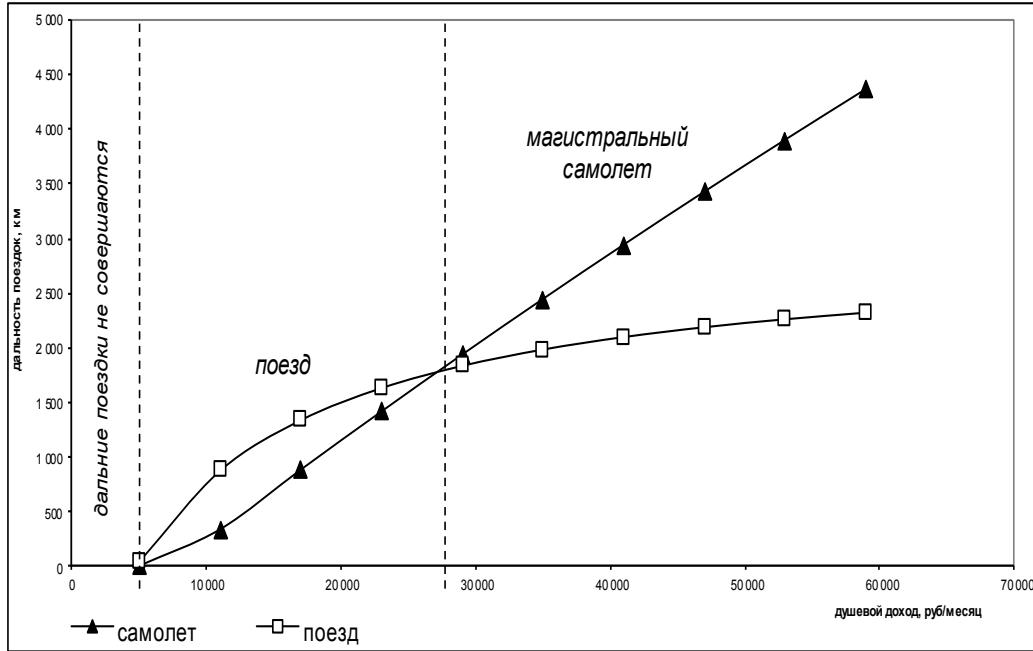


- *расширенные условия базирования и эксплуатации;*
- *малая пассажировместимость (до 9 мест, и даже ниже – до 3-5 мест);*
- *низкая себестоимость авиаперевозок (до 5-10 руб./пасс.-км);*
- *сокращение потребности в авиатопливе, завозимом в отдаленные регионы*





# Предпосылки повышения доступности авиаперевозок и межрегиональной подвижности населения

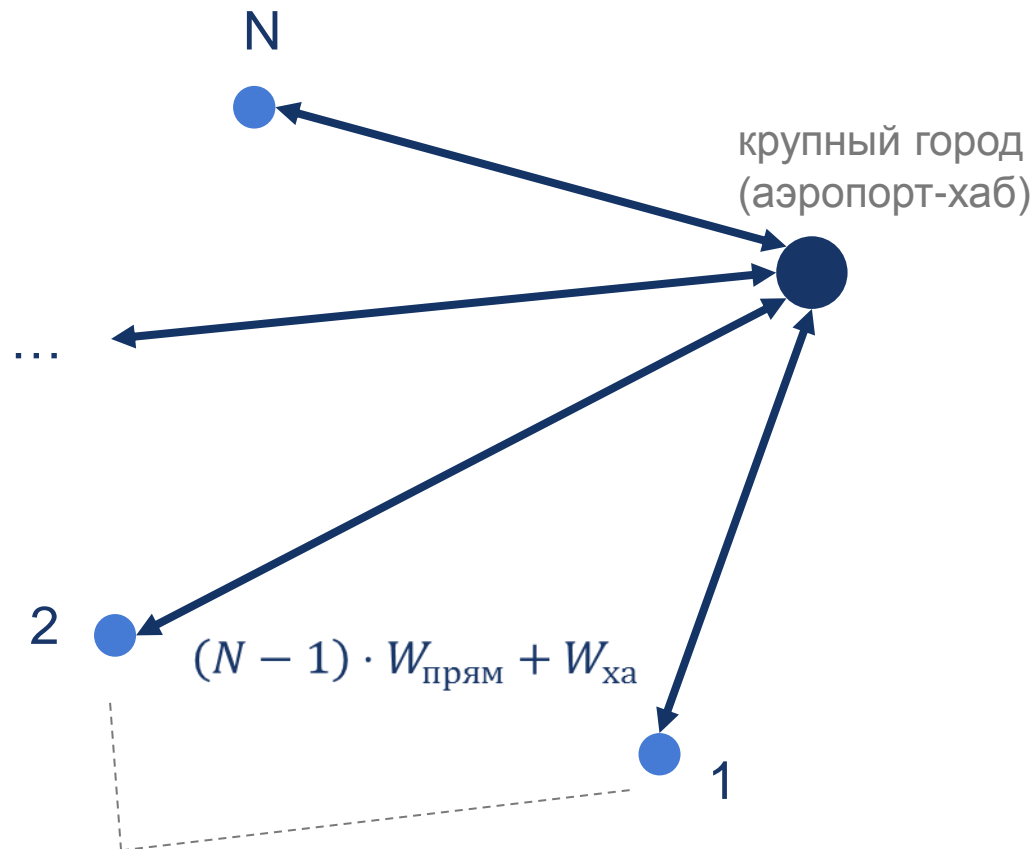




## Альтернативные модели маршрутной сети – прямые межрегиональные перевозки и полеты через хаб

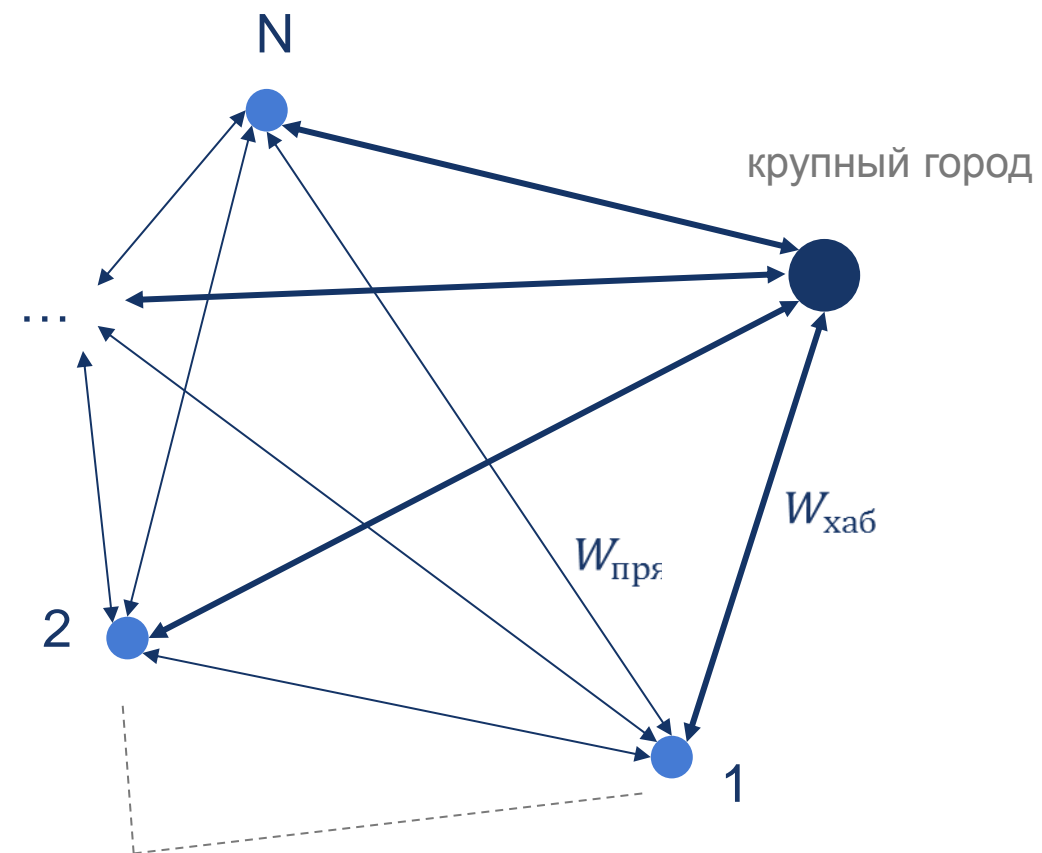
- около 70% рейсов в РФ выполняется в/из аэропортов **Московского авиационного узла**;
- на региональных маршрутах (не через МАУ) перевозится около 12 млн. пасс. в год.

### Звездообразная сеть



региональные центры

### Сеть «точка-точка»

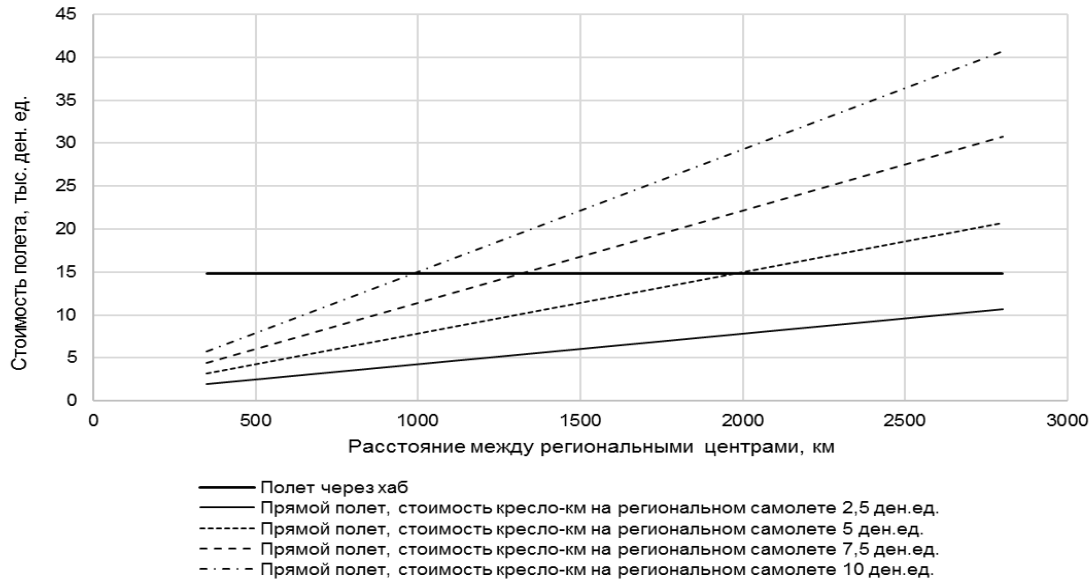


региональные центры

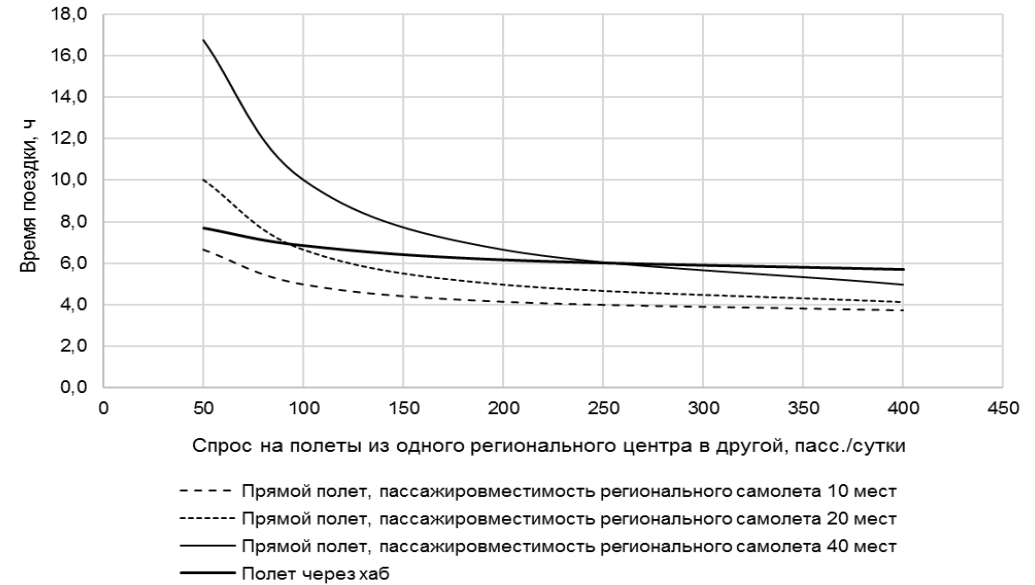


# Анализ влияния характеристик региональных ВС на эффективность прямых межрегиональных рейсов

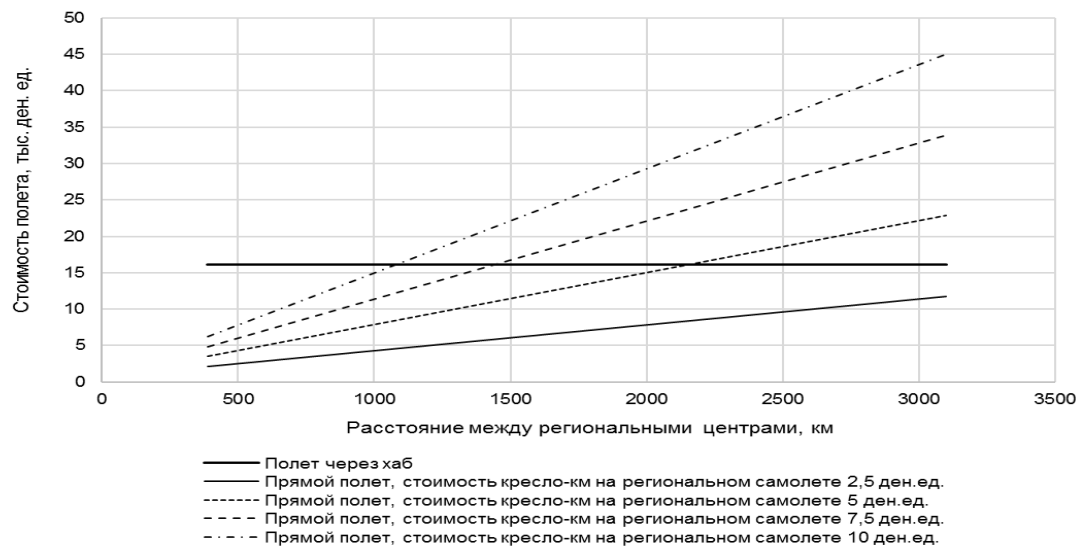
Зависимость стоимости полета от расстояния между региональными центрами при разных стоимостях кресло-километра полета на региональном самолете, крупные города



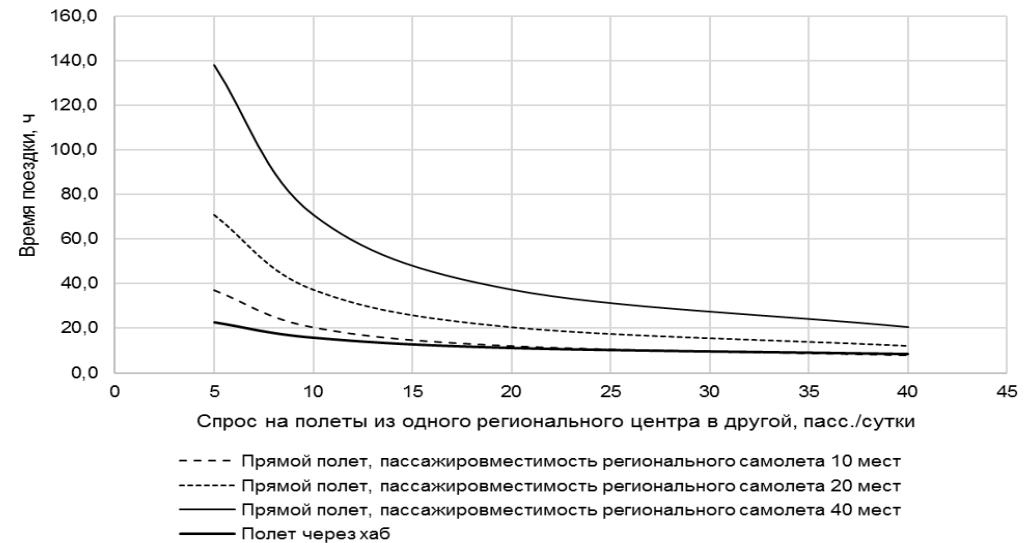
Зависимость времени поездки с учетом ожидания в аэропорту от спроса на полеты между региональными центрами, крупные города



Зависимость стоимости полета от расстояния между региональными центрами при разных стоимостях кресло-километра полета на региональном самолете, средние по величине города



Зависимость времени поездки с учетом ожидания в аэропорту от спроса на полеты между региональными центрами, средние по величине города





- Малое время поездки до места назначения (порядка 2-4 ч на расстояния до 1-2 тысяч км) при низкой себестоимости перевозок – **не более 3-5 руб./пасс.-км;**
- Высокая частота рейсов, обеспечивающая длительность поездки ниже, чем при перелете через крупнейшие хабы (в основном, МАУ), с учетом времени ожидания рейса, **=> пассажироместимость – до 20-30 мест;**
- Невозрастание экологического воздействия на окружающую среду при радикальном повышении подвижности населения, **=> многократное сокращение удельных выбросов вредных веществ;**
- Неухудшение безопасности полета при радикальном повышении трафика **=> повышение пропускной способности инфраструктуры и воздушного пространства, новые технологии ОрВД**



- В сегменте ВС МВЛ на данном этапе требуется обеспечение стоимости пассажиро-километра крейсерского полета на уровне не более 150-200% стоимости магистральных перевозок, но при малой вместимости, в т.ч. менее 9 мест (до 3-5) и расширенных условиях базирования. Также актуально сокращение потребности ВС МВЛ в дорогостоящем авиатопливе, завозимом в районы Крайнего Севера.
- Приоритетное направление технологического развития региональных ВС – создание технологий, которые при малой пассажироместности (не более 20-30 мест) сохраняют себестоимость пассажиро-километра, крейсерскую скорость, уровень комфорта и безопасности полетов, достигнутые для современных магистральных воздушных судов.
- Ожидаемый многократный рост подвижности на МВЛ и региональных линиях требует пропорционального сокращения удельных выбросов.
- => актуальна разработка силовых установок, использующих альтернативные виды энергии.



# Потенциальные возможности удешевления авиаперевозок при переходе к альтернативным видам энергии

Если сейчас затраты на ГСМ составляют до 30-35% ПЭР,  
можно ли снизить себестоимость авиаперевозок на большую величину, даже если энергия станет «бесплатной»?

Суммарные ПЭР в расчете на пассажиро-километр:

$$c = c_{fuel} + c_{other} = p_{fuel} \cdot g + c_{other},$$

где  $c_{other}$  - прочие, нетопливные затраты;

$p_{fuel}$  - цена ГСМ;

$g$  - удельный расход ГСМ в расчете на пассажиро-километр.

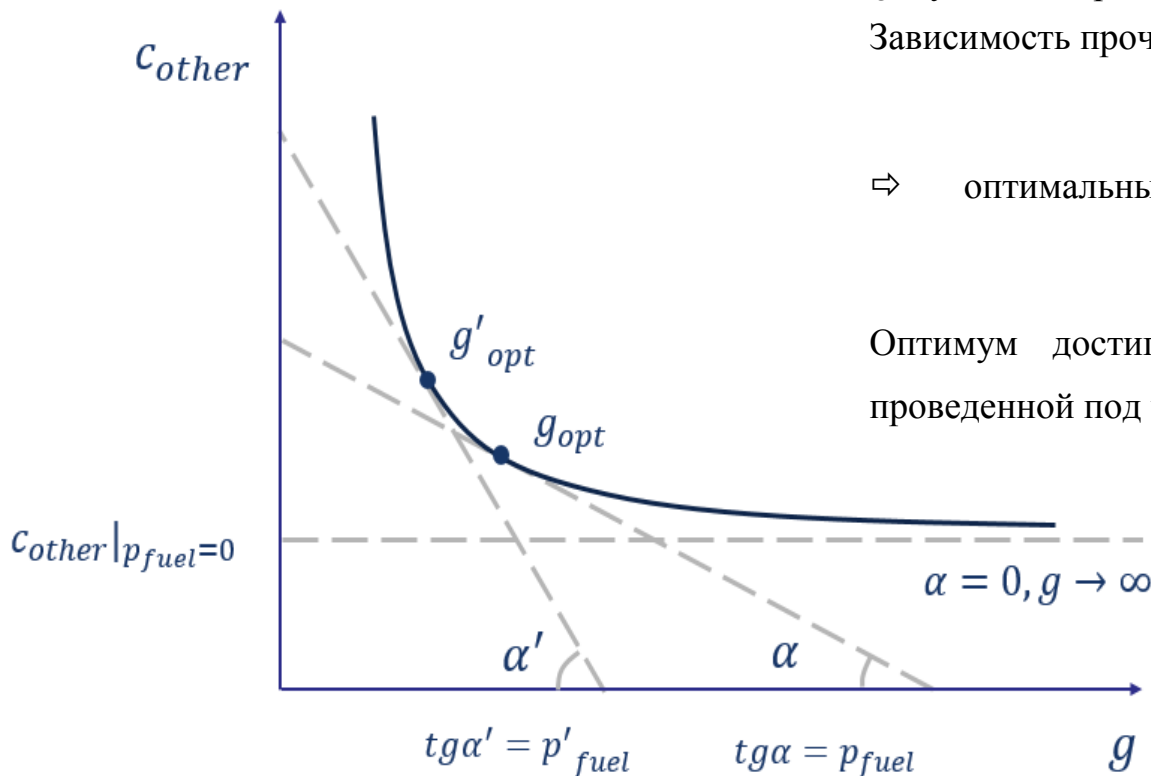
Зависимость прочих затрат от проектного уровня расхода топлива:

$$c_{other} = c_{other}(g), \quad \frac{\partial c_{other}}{\partial g} < 0,$$

⇒ оптимальный проект (по уровню расхода топлива) определяется из условия:

$$\frac{\partial c}{\partial g} = p_{fuel} + \frac{\partial c_{other}}{\partial g} = 0, \quad \text{т.е.} \quad \left. \frac{\partial c_{other}}{\partial g} \right|_{g=g_{opt}} = -p_{fuel}.$$

Оптимум достигается в точке касания графика  $c_{other} = c_{other}(g)$  с прямой, проведенной под углом  $\alpha$ ,  $tg \alpha = p_{fuel}$ .



Можно, если перепроектировать  
ЛА в расчете на дешевую энергию.

Но нужно еще обосновать, что она  
будет дешевой



## 1. ВС МВЛ и региональные ВС

- **нуждаются в силовых установках на альтернативных видах энергии;**
- **могут быть первоочередными объектами для их внедрения (в силу физических причин – размерность ВС, накопителей, электромашин и т.д.).**

2. Наряду с разработками в авиастроении, требуются новые технологии в энергетике, обеспечивающие многократное удешевление энергии. Иначе соответствующие разработки в авиастроении бессмысленны.

3. В отдаленных районах (Крайний Север, и т.п.) может быть целесообразным использование вместо дорогостоящего привозного авиатоплива локальных энергетических ресурсов (в т.ч. и электроэнергии локальной генерации).

- **=> специфические условия эксплуатации ВС МВЛ также могут расширять области применимости новых типов силовых установок.**