

## **Моделирование информационного обеспечения топливной эффективности самолетов транспортной категории**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского  
“Харьковский авиационный институт“*

Проанализирована статистическая информация по топливной эффективности ряда зарубежных пассажирских самолетов с учетом времени их создания и величины транспортной работы. Показано, что повышение топливной эффективности является определяющим в их использовании при эксплуатации. Приведены модели информационного представления топливной эффективности самолетов с учетом рейсовой и часовой производительности. На их основе установлено, что характеристики отечественных самолетов, таких как Ан-140, Ан-148 и Ан-158 по параметру топливной эффективности находятся на уровне мировых достижений.

**Ключевые слова:** самолеты транспортной категории, топливная эффективность, информационные модели.

### **Введение**

Топливная эффективность, то есть расход топлива, приходящийся на единицу транспортной работы, является одним из наиболее важных параметров оценки эффективности самолетов транспортной категории. Уровень топливной эффективности главным образом зависит от удельного расхода топлива двигателей, аэродинамического и весового совершенства летательного аппарата, его пассажироместимости (грузоподъемности). При прочих равных условиях более низкий расход топлива у самолётов означает меньшие издержки для авиакомпаний, эксплуатирующих данный тип самолётов [1]. Вопрос рентабельности авиаперевозок напрямую зависит от экономичности эксплуатируемой техники и её соответствия международным требованиям по безопасности и экологичности, поскольку снижение расхода топлива самым положительным образом отражается на экологических характеристиках авиалайнеров, уменьшая выбросы в атмосферу главного загрязнителя окружающей среды – диоксида углерода.

### **Постановка задачи**

С учетом существенного влияния расходуемого топлива на экономическую составляющую авиаперевозок, а также на экологию окружающей среды неизбежно возникает задача информационного представления по топливной эффективности как уже созданных и находящихся в эксплуатации самолетов, так и на этапе их создания, когда критерий топливной эффективности можно изменить в лучшую сторону.

### **Анализ топливной эффективности эксплуатируемых самолетов**

По показателю топливной эффективности корректно сравнивать самолеты одного назначения при примерно равной рейсовой и часовой транспортной производительности. Поэтому для анализа выбраны среднемагистральные транспортные самолеты, эксплуатируемые украинскими авиакомпаниями.

На рис. 1 приведен относительный уровень расхода топлива ряда самолетов зарубежного производства [2].

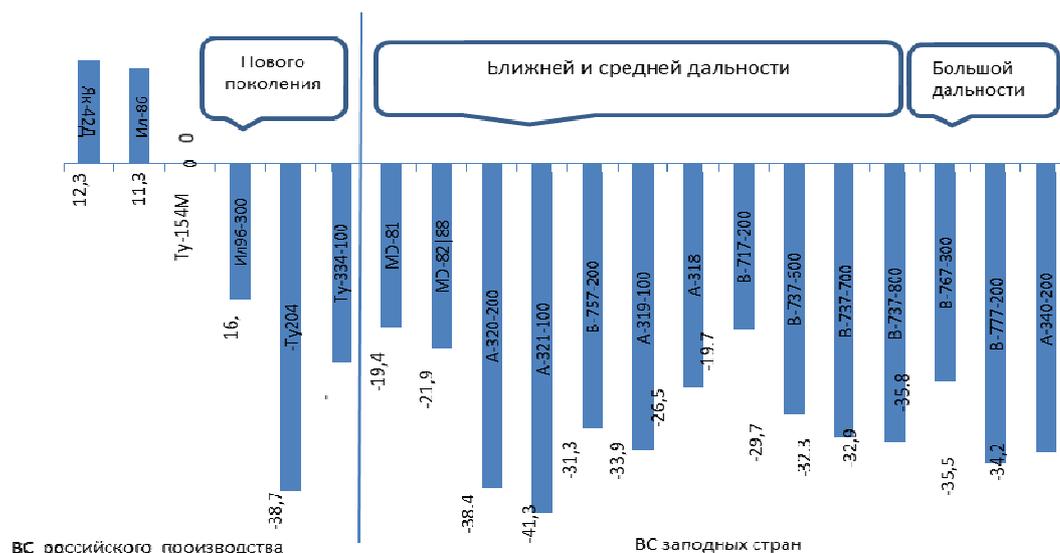


Рис. 1. Относительный уровень расхода авиатоплива на 1 пассажиро-километр иностранных самолетов в сопоставимых условиях

Из сравнительной оценки хорошо видно, что среди самолетов, находящихся в эксплуатации, наиболее низким расходом топлива обладают самолеты западноевропейского концерна Эрбас (А-319, А-320, А-321) и модификации самолета Boeing 737: В-737-600, В-737-700 и В-737-800.

В таблице 1 приведены абсолютные значения расходов топлива для некоторых из этих самолетов, приходящиеся на 1г/ткм и 1п/км.

Таблица 1  
Параметры топливной эффективности ряда пассажирских самолетов

| Тип ВС    | Количество двигателей | Тип двигателей  | Взлетная тяга, кгс | Удельный расход топлива в час на единицу развиваемой мощности, кгт/кгсч | Средний часовой расход топлива, кг/ч | Относительный расход топлива на 1 т·км, кг/тткм | Расход топлива на 1т·км, г/т·км | Расход топлива на 1 пасс. км, г/пас·км |
|-----------|-----------------------|-----------------|--------------------|---|--------------------------------------|---|---------------------------------|--|
| Як-42Д    | 3                     | ТРДД Д-36       | 6500               | 0,47  | 3030                                 | 0,073   | 315                             | 34,1                                   |
| А-320-100 | 2                     | ТРДД CFM        | 11340              | 0,17  | 1960                                 | 0,035   | 145                             | 15,5                                   |
| MD-92     | 2                     | ТРДД GE36       | 11340              | 0,21  | 2390                                 | 0,041   | 171                             | 14,9                                   |
| В-737-500 | 2                     | ТРДД GFM56-В 84 | 9070               | 0,22  | 2020                                 | 0,044   | 147                             | 18,5                                   |
| Ту-204    | 2                     | ТРДД Д-90АТ     | 16000              | 0,23  | 3800                                 | 0,048   | 196                             | 19,0                                   |

По этим показателям предпочтение следует отдавать А-320-100 и В-737-500, что и обеспечивает их высокую конкурентоспособность на рынке авиаперевозок.

### Информационное обеспечение топливной эффективности на этапе разработки модификаций самолетов

Поскольку топливная эффективность во многом определяет конкурентоспособность самолетов [3], то наиболее рациональным является путь её реализации на этапе создания модификаций самолетов при изменении их рейсовой производительности (рис. 2).

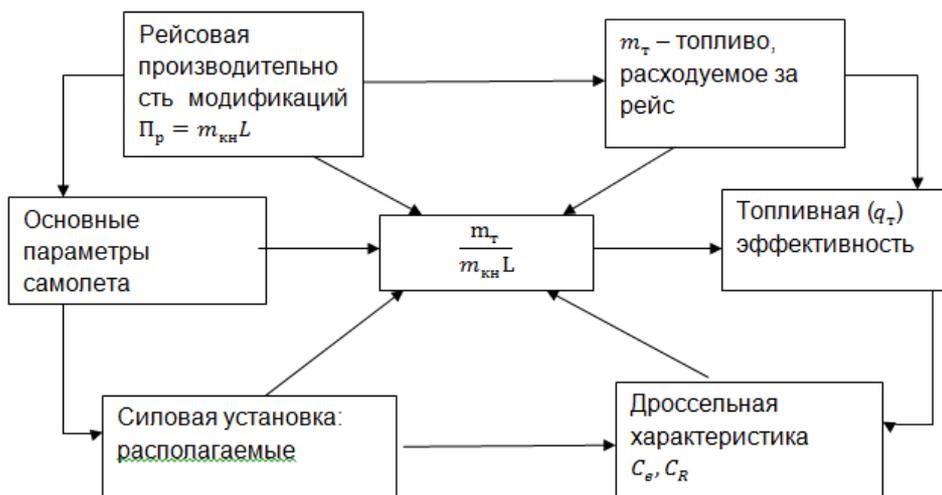


Рис. 2. Модель информационного обеспечения топливной эффективности при разработке модификаций самолетов транспортной категории

Топливная эффективность [4] определяется как удельный показатель, представляющий собой отношение масс затраченного за рейс топлива на единицу транспортной работы:

$$q_T = \frac{10^6 \cdot m_T}{\Pi_p} \text{ (г/т)}. \quad (1)$$

В случае отсутствия исходных данных по этапам профиля полета и для упрощения возможно использование показателя «среднечасовой расход топлива», который оценивается выражением:

$$q_{сч} = \frac{m_T}{t_p} = \frac{(m_{дт} + m_{кр.})}{t_p} \text{ (т/ч)}, \quad (2)$$

где  $q_{сч}$  – среднечасовой расход топлива, а топливная эффективность может определяться через часовую производительность полета ( $\Pi_{ч} = m_{KH} * V_p$ ):

$$q_T = \frac{10^6 \cdot q_{сч}}{\gamma \cdot m_{KH}^{пред} \cdot V_p} \text{ (г/т·км)}. \quad (3)$$

Для самолетов с ТВД часовой и километровой расходы топлива определяются из отношений:

$$q_{т.час} = \frac{mgV C_E}{K \eta_{ВВ}} = N_E C_E; \quad (4)$$

$$q_{т.км} = \frac{mg C_E}{3,6 K \eta_{ВВ}} = \frac{q_{т.час}}{3,6 V}; \quad (5)$$

где  $\eta_{ВВ}$  – КПД воздушного винта;

$C_e$  – удельный часовой расход топлива,  $\frac{\text{кг (топлива)}}{\text{кВт*час(на_валу)}}$ ;

$N_e$  – мощность на валу двигателя.

В исходное выражение для определения топливной эффективности (1) входит величина транспортной работы, которая определяется как произведение массы транспортируемой коммерческой нагрузки на горизонтальную проекцию воздушной линии:

$$P_p = m_{\text{к.н.}} * L_{\text{ВЗ}} \text{ (т*км)}, \quad (6)$$

где  $P_p$  – производительность рейса, т\*км;

$m_{\text{к.н.}}$  – масса транспортируемой коммерческой загрузки, т;

$L_{\text{ВЗ}}$  – горизонтальная проекция воздушной линии, км.

При сравнительном анализе часто используется часовая производительность полета:

$$P_{\text{ч}} = K_z * m_{\text{к.н.}}^{\text{пред}} * V_{\text{рейс}} \left( \frac{\text{т*км}}{\text{ч}} \right), \quad (7)$$

где  $P_{\text{ч}}$  – часовая производительность самолета, т\*км;

$m_{\text{к.н.}}^{\text{пред}}$  – предельная коммерческая нагрузка для данной дальности беспосадочного полета;

$K_z$  – коэффициент использования коммерческой нагрузки;

$V_{\text{рейс}}$  – рейсовая скорость беспосадочного полета, км/ч.

Рейсовая скорость, входящая в выражение (5), рассчитывается путем деления протяженности воздушной линии на рейсовое время:

$$V_{\text{рейс}} = \frac{L_{\text{ВЛ}}}{t_p} = \frac{L_{\text{ВЛ}}}{\frac{L_{\text{ВЛ}} - L_{\Delta t}}{V_{\text{кр}}} + \Delta t} \text{ (км/ч)}, \quad (8)$$

где  $t_p$  – время рейса, ч;

$L_{m_{\text{к.н.}, \text{max}}}$  – практическая дальность беспосадочного полета, на которую самолет данного типа при максимальной взлетной массе может транспортировать максимальную для самолетов данного типа массу коммерческой нагрузки;

$L_{\Delta t}$  – расстояние, которое самолет проходит по маршруту на не крейсерских этапах профиля полета, км.

При необходимости учета влияния массы модификации и её аэродинамического качества топливная эффективность оценивается выражением:

$$q_T = \frac{C_{e \text{ крейс}} * P}{K_{\text{крейс}} * V_{\text{рейс}} * \bar{m}}, \quad (9)$$

где  $\bar{m}$  – средняя относительная масса топлива для данного рейса;

$C_{e \text{ крейс}}$  – крейсерский удельный расход топлива, кг/дан\*ч;

$K_{\text{крейс}}$  – крейсерское аэродинамическое качество самолета;

$V_{\text{рейс}}$  – рейсовая скорость полета, км/час, которая равна:

$$V_{\text{рейс}} = \frac{L_{\text{н}} V_{\text{крейс}}}{L_{\text{н}} + V_{\text{крейс}} (0.16 + 1.85 * 10^{-4} * H_{\text{крейс}}^2)}; \quad (10)$$

$L_m$  – дальность полета модификации по маршруту, км;

$V_{\text{крейс}}$  – крейсерская скорость, км/час;

$H_{\text{крейс}}$  – крейсерская высота полета, км.

Как видим, во все варианты оценки топливной эффективности, кроме традиционных для её определения, таких как удельный расход топлива (характерный для двигателя), масса топлива, аэродинамическое качество и рейсовая скорость (характеристики планера), входят еще и величина коммерческой нагрузки, и дальность её перевозки (рейсовая производительность).

На рис. 3 приведены значения топливной эффективности модификаций регионального и ближнемагистрального пассажирских самолетов различной пассажировместимости, т. е. при переменном значении величины коммерческой нагрузки.

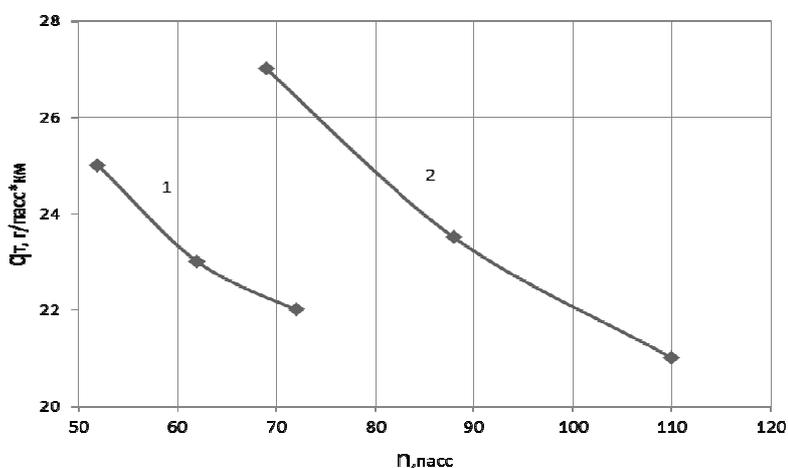


Рис. 3. Топливная эффективность модифицированных отечественных региональных самолетов: 1 – с двумя ТВД, 2 – с двумя ТРД

Как видим, информационные модели, полученные в данной работе, позволяют качественно оценить изменения топливной эффективности при разработке модификаций самолетов Ан-140 и Ан-148. Из данных, приведенных на рис. 3, следует, что создание модификаций путем увеличения пассажировместимости приводит к улучшению топливной эффективности до уровня мировых достижений по этому показателю их конкурентоспособности.

### Выводы

1. Воздушные суда, созданные в советское время, проигрывают в расходе топлива воздушным судам фирмы Boeing и Эрбас соответствующего класса приблизительно в 1,5 раза. Так, ИЛ-86 расходует 11 т/час, а Boeing-747, перевозящий в 2 раза больше пассажиров, 9 т/час. Среднечасовой расход авиатоплива на ВС Ил-96-300 составляет более 7 т/час, а у Boeing-767 – около 5 т/час, поэтому затраты на 1 час полета по авиатопливу на ВС Ил-96-300 в сравнении с ВС Boeing-767 значительно выше. Самолеты Ту-204-300, Ту-214, Boeing-767, Boeing-737, А-310 расходуют авиатопливо в объеме 20 – 30 г/пас·км, а на модификациях А-320 и А-321 расходуются менее 20 г/пас·км.

2. Предложена информационная модель, позволяющая оценить топливную эффективность на этапе разработки модификаций самолетов транспортной категории.

Показано, что при создании модификаций самолетов Ан-140 и Ан-148 с увеличенной пассажироместимостью представляется возможным обеспечить их топливную эффективность на уровне 20 – 24 г/пас-км, что соответствует современным мировым достижениям.

### Список литературы

1. Официальный сайт «Международных авиалиний Украины» – [www.fiyuia.com](http://www.fiyuia.com).
2. <http://samolety.org/>.
3. Временная методика сравнительной экономической оценки транспортных самолетов (МЭО-82) ГосНИИГА. – М.: Воздушный транспорт, 1984. – 103 с.
4. Бадягин, А. А. Проектирование пассажирских самолетов с учетом экономики эксплуатации / А. А. Бадягин, Е. А. Овруцкий. – М.: Машиностроение, 1964. – 295 с.

Поступила в редакцию 22.08.2016

## Моделювання інформаційного забезпечення паливної ефективності літаків транспортної категорії

Проаналізована статистична інформація по паливній ефективності ряду зарубіжних пасажирських літаків з урахуванням часу їх створення і величини транспортної роботи. Показано, що підвищення паливної ефективності є визначальним в їх використанні при експлуатації. Приведені моделі інформаційного представлення паливної ефективності літаків з урахуванням рейсової і годинної продуктивності. На їх основі встановлено, що характеристики вітчизняних літаків, таких як Ан- 140, Ан- 148 і Ан- 158 по параметру паливної ефективності знаходяться на рівні світових досягнень.

**Ключові слова:** літаки транспортної категорії, паливна ефективність, інформаційні моделі.

## Modeling information supply of transport category aircraft fuel efficiency

Statistical information on fuel efficiency of a number of foreign passenger planes taking into account time of their creation and size of transport work is analysed. It is shown that increase of fuel efficiency is defining in their use. Modeled informational representation of the planes fuel efficiency , taking into account flight and hour productivity. On their basis it is established that characteristics of domestic planes, such as An-140, An-148 and An-158 in the parameter of fuel efficiency are at the level of world achievements.

**Keywords:** planes of transport category, fuel efficiency, information models.

### Сведения об авторах:

**Матвийчук Анастасия Владимировна** – аспирант, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина.