

УДК 621.45.02.024:05.054

В. В. ЛОГИНОВ<sup>1</sup>, Е. А. УКРАИНЕЦ<sup>1</sup>, И. Ф. КРАВЧЕНКО<sup>2</sup>, А. В. ЕЛАНСКИЙ<sup>2</sup><sup>1</sup> Харьковский университет Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба, Харьков<sup>2</sup> ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье

## АНАЛИЗ ЛЕТНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЕГКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО САМОЛЕТА С АВИАЦИОННЫМ ДИЗЕЛЬНЫМ И ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЯМИ

*Исследованы летно-технические и экономические характеристики самолетов местных воздушных линий с дизельными и газотурбинными двигателями. Приняты типовые полеты общей протяженностью одноплечевого  $L_n \approx 1500$  км и двухплечевого маршрутов  $L_n \approx 1000$  км с учетом ограничений по продолженному взлету с бетонной и грунтовой взлетно-посадочных полос длиной 800 метров. Показана целесообразность применения авиационных дизельных двигателей на маломестных (до 5-6 человек) региональных пассажирских самолетах. Расчетным путем установлено, что основными факторами, влияющими на стоимость жизненного цикла самолета, являются ресурсные характеристики двигателя и затраты на его техническое обслуживание и ремонт.*

**Ключевые слова:** параметрический облик, легкий региональный самолет, пассажирский самолет, местные воздушные линии, авиационный дизельный двигатель, турбовинтовой двигатель, газотурбинный двигатель, авиационная силовая установка, технико-экономические характеристики, эксплуатационные характеристики, интегративные свойства.

### Введение

В настоящее время региональная авиация находится в кризисном состоянии по причине отсутствия качественных современных легких самолетов, которые были бы доступными по цене [1-3]. Около 90 % парка малой авиации постсоветских стран составляют устаревшие самолеты Ан-2, L-410 и Ан-28. По некоторым прогнозированным исследованиям к 2025 году будет списано приблизительно 90 % воздушных судов коммерческой авиации и 80 % авиации общего назначения [1-3].

**Постановка задачи.** Целесообразно провести исследование летно-технических и экономических характеристик самолетов местных воздушных линий с дизельными и газотурбинными двигателями для обоснования стоимости их жизненного цикла.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время интенсивно проводятся исследования перспективных местных и региональных авиатранспортных систем. В работах [4-6] показано, что легкий многоцелевой самолет должен обеспечивать полеты на расстояние до 2,5 тысяч километров. При этом состав оборудования и конструкция самолета должны обеспечивать бесперебойную работу при температурах окружающего воздуха от -55 до +40 °С, обязательно должна быть реализована возможность взлета и посадки с грунтовых, снежных и ледовых площадок.

Актуальным является оценивание стоимости самолета и его технического обслуживания. Экономика данного сегмента авиаперевозок отличается сложностью, как следствие, реализовать на практике прибыльные проекты без существенной государственной поддержки затруднительно. Так, средняя стоимость нового самолета на 9 мест составляет 2,5 млн. долларов [7, 8], стоимость четырехместного двухмоторного австрийского самолета DA 42 в зависимости от комплектации составляет 660-840 тыс. долларов, стоимость турбовинтового Ан-3 – 1,5 млн. долларов, минимальная стоимость 19-местного канадского самолета Twin Otter – 6 млн. долларов, чешского EV-55 Outback на 14 мест – 2,3 млн. долларов. Стремление снизить стоимость 19-местного самолета до 3,7 млн. долларов обуславливает необходимость поиска рационального сочетания его летно-технических и экономических характеристик, во многом определяемых характеристиками двигателей силовой установки.

Многие иностранные авиационные фирмы предлагают для эксплуатации на местных авиалиниях самолеты с дизельными двигателями, что обусловлено большей топливной эффективностью дизельных двигателей в сравнении с газотурбинными [9, 10]. Следует отметить, однако, что производство дизельных двигателей затратное (сравнимо с затратами на производство турбовальных двигателей). Кроме того, многие эксперты отмечают недостаточ-

ную надежность авиационных дизельных двигателей [7, 8].

**Целью статьи** является проведение сравнительного анализа авиационного дизельного и газотурбинного двигателей в системе легкого регионального самолета.

### Основная часть исследований

Исследования характеристик пассажирского самолета местных воздушных линий проводились с помощью разработанной методики, изложенной в работе [11], с двумя типами двигателей для двух типовых профилей полета:

а) полет общей протяженностью двухплечевого маршрута  $L_n \approx 1000$  км с учетом ограничения по продолженному взлету с бетонной и грунтовой ВПП длиной 800 метров;

б) полет общей протяженностью маршрута  $L_n \approx 1500$  км с учетом ограничения по продолженному взлету с бетонной ВПП длиной 800 метров.

При пассажироместимости от 5 до 9 человек в состав экипажа входил 1 пилот, при пассажироместимости от 10 до 20 человек – 2 пилота.

Следует подчеркнуть, что данные исследования носят предварительный характер, поскольку в расчетах будут использоваться прогнозируемые характеристики дизельных двигателей, полученные обработкой статистических данных [12-15].

Для формирования 5-9 местных модификаций самолетов в качестве прототипа взят самолет Diamond DA42 [16], с расположением пассажиров без прохода между рядами, состав экипажа 1 человек. Увеличение взлетной массы проводилось в соответствии с увеличением количества пассажиров (в Diamond пилот также полагается пассажиром, а в нашем случае экипаж и пассажиры считаются отдельно). Силовая установка состоит из двух двигателей.

Для формирования 10-20 местных модификаций самолетов в качестве прототипов взяты самолеты EV-55 [17] и L-410UVP [18, 19]. Состав экипажа 2 человека, между пассажирами в ряду оставлен проход, что увеличило диаметр фюзеляжа, принят полный состав авиационного оборудования. Силовая установка состоит из двух двигателей. В совокупности это привело к существенному увеличению взлетной массы, и, как следствие, к росту аэродинамического сопротивления, потребной мощности двигателей.

Расчет экономических характеристик модификаций самолетов с разными двигателями проводился при следующих исходных данных:

- назначенный ресурс планера самолета – 20000 часов;
- межремонтный ресурс самолета – 4000 часов;

- коэффициент загрузки самолета – 1,0;
- среднегодовой налет самолета – 1600 часов;
- начальная цена самолета (5 пассажиров, без двигателей)  $\approx 0,34$  млн. долларов.

Исходные данные для газотурбинных двигателей:

- назначенный ресурс – 12000 часов;
- межремонтный ресурс – 3000 часов;
- средняя наработка на 1 отказ по всем причинам, которая привела к досрочному съему двигателя – 3000 часов;
- стоимость 1 кг топлива – 1,3 долларов/кг;
- стоимость 1 кг масла – 14,2 долларов/кг;
- начальная цена 1 двигателя  $\approx 0,3$  млн. долларов.

Исходные данные для дизельных двигателей:

- назначенный ресурс – 5000 часов;
- межремонтный ресурс – 1500 часов;
- средняя наработка на 1 отказ по всем причинам, которая привела к досрочному съему двигателя – 1500 часов;
- стоимость 1 кг топлива – 1,3 долларов/кг;
- стоимость 1 кг масла – 20 долларов/кг;
- начальная цена 1 двигателя  $\approx 0,1$  млн. долларов.

Следует отметить, что в проведенных исследованиях принято условие: на модификацию самолета с пассажироместимостью 5...9 и 10...20 человек предполагается устанавливать разные по диапазону мощности двигатели. Условные двигатели отличаются по цене, но имеют одинаковые ресурсные характеристики.

Модификация самолета проведена по условию общей протяженности двухплечевого маршрута  $L_n \approx 1000$  км с учетом ограничения по продолженному взлету с грунтовой ВПП длиной 800 метров и без учета (для дизельных двигателей, что обусловлено отсутствием у них чрезвычайного режима). Потребные мощности двигателей определялись подбором по заданному ограничению дистанции продолженного взлета. Поскольку взлетно-посадочные дистанции весьма чувствительны к взлетной мощности двигателей, дискретность значений мощности при подборе приводит к незначительному разбросу результатов.

Данные по модификации самолета с газотурбинными двигателями сведены в табл. 1, а результаты модификации самолета с дизельным двигателем сведены в табл. 2. Учитывая необходимость формирования параметрического облика двигателя для модифицированного самолета, принято решение о модификации устанавливаемого двигателя путем увеличения (или уменьшения) мощности и массы пропорционально существующим турбовинтовым двигателям АИ-450С и АИ-450С2.

Таблица 1

Модификации самолета с газотурбинными двигателями

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	$M_{\text{ДЛ взл}}$ , кг	$M_{\text{пл}}$ , кг	$M_{\text{СУ}}$ , кг	$S_{\text{кр}}$ , $M^2$	$CAX$ , м	$L_{\text{фюз}}$ , м	$D_{\text{фюз}}$ , м	$F_{\text{мид фюз}}$ , $M^2$	$L_{\text{МГ}}$ , м	$D_{\text{мид}}$ , м	Тяга винта на чрезвычайном режиме, кг	$N_{\text{потр}}$ на чрезвычайном режиме, кВт	$N_{\text{взл}}$ , кВт	$N_{\text{МКР}}$ , кВт	Режим "МП+Реверс", кВт
5	2000	790	425	17,00	1,25	9,00	1,20	1,15	3,28	0,71	270	159	144	90	189
6	2260	900	430	18,20	1,28	9,80	1,20	1,15	3,28	0,71	300	176	160	100	211
7	2520	1010	435	19,40	1,32	9,80	1,20	1,15	3,28	0,71	335	197	178	112	235
8	2780	1120	440	20,60	1,35	10,60	1,20	1,15	3,28	0,71	370	218	197	123	260
9	3040	1230	445	21,80	1,38	10,60	1,20	1,15	3,28	0,71	405	238	216	135	284
10	4600	2600	510	25,30	1,42	10,60	1,77	2,50	3,28	0,71	560	329	298	187	393
15	5400	3000	535	31,30	1,58	12,00	1,77	2,50	3,28	0,71	680	400	362	227	477
20	6200	3400	560	37,30	1,75	13,60	1,77	2,50	3,28	0,71	780	520	471	295	620

Таблица 2

Модификации самолета с дизельными двигателями

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	$M_{\text{ДЛ взл}}$ , кг	$M_{\text{СУ}}$ , кг	$L_{\text{фюз}}$ , м	$D_{\text{фюз}}$ , м	$F_{\text{мид фюз}}$ , $M^2$	$L_{\text{МГ}}$ , м	$D_{\text{мид}}$ , м	Тяга винта на чрезвычайном режиме, кг	$N_{\text{потр}}$ на чрезвычайном режиме, кВт	$N_{\text{взл}}$ , кВт	$N_{\text{МКР}}$ , кВт	Режим "МП+Реверс", кВт	Тяга винта на взлетном режиме, кг	Тяга винта на взлетном режиме для проложенного взлета на 800 м, кг
5	2000	521	9,00	1,20	1,15	3,28	0,85	280	156	141	88	186	245	296
6	2396	692	9,80	1,20	1,15	3,28	0,90	310	207	187	117	247	280	340
7	2892	759	9,80	1,20	1,15	3,28	0,95	340	227	205	129	270	306	360
8	3072	930	10,60	1,20	1,15	3,28	1,0	370	247	223	140	294		
9	3444	1048	10,60	1,20	1,15	3,28	1,05	425	283	283	178	374		
10	5100	1480	10,60	1,77	2,5	3,28	1,05	600	400	400	251	527		
15	5400	1727	12,00	1,77	2,5	3,28	1,1	700	467	467	292	615		

Прирост (или убывание) мощности и массы модифицируемого двигателя выбран по взлетному режиму этих двух двигателей. В дальнейшем установлено, что мощностные характеристики

модифицированных двигателей близки к мощностным характеристикам существующих двигателей.

Анализ летно-технических характеристик само-

летов типа Diamond DA42 показал, что в маломестных самолетах с дизельными двигателями сложно обеспечить продолженный взлет при отказе одного двигателя, поскольку отсутствует чрезвычайный режим работы. Для выполнения требования по обеспечению продолженного взлета самолета мощность дизельных двигателей вынужденно увеличена методом подбора на взлетном режиме на  $\approx 14\%$ . В дальнейших расчетах показано два варианта модификаций дизельных двигателей. Первый вариант двигателя (Дизель-1) имеет мощностные данные для нормального взлета самолета без обеспечения заданной дистанции продолженного взлета при отказе одного двигателя. Второй вариант двигателя (Дизель-2) имеет повышенные мощностные характеристики для обеспечения заданной дистанции продолженного взлета самолета.

Результаты исследований технико-экономических характеристик самолетов с ТВД представлены в табл. 3, самолетов с дизельным двигателем ( $L_{\text{прод взлет}} > 800$  м) – в табл. 4, самолетов с дизельным двигателем ( $L_{\text{прод взлет}} \leq 800$  м) – в табл. 5. Технико-экономические характеристики самолетов с газотурбинными двигателями приведены в табл. 6, а для самолетов с дизельными двигателями – в табл. 7.

На рисунке 1 показаны полученные и аппроксимированные полиномами зависимости среднего километрового расхода топлива силовой установки на крейсерском режиме от количества пассажиров в модификации самолета. На рис. 2 представлены зависимости часового расхода топлива силовой установки на крейсерском режиме полета от количества пассажиров в модификации самолета.

Представленные зависимости позволяют сделать вывод о преимуществе расходных характеристик по топливу силовой установки с дизельными двигателями. Однако видно, что часовой расход топлива на крейсерском режиме полета самолета с дизельными двигателями ( $N_{\text{пасс}} > 16$ ) становится больше, чем часовой расход топлива самолета с газотурбинными двигателями (рис. 2). Такое перераспределение расходов вызвано значительным возрастанием массы и размеров дизельного двигателя, что вызывает существенное увеличение коэффициента лобового сопротивления, а, следовательно, расхода топлива.

Основные экономические характеристики модификаций самолета с различными типами двигателей представлены на рис. 3-6. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что стоимость жизненного цикла самолета с дизельными двигателями

Таблица 3

Характеристики самолета с газотурбинными двигателями

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	Взлетная масса ЛА, кг	Общая протяженность маршрута, км	Средний километровый расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/км	Часовой расход топлива СУ ЛА, кг/час	Часовой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/час	Потребная дистанция разбега (на втором плече), м	Дистанция продолженного взлета, м	Относительная масса топлива	Относительная масса коммерческой нагрузки
5	2000	1001	0,1521	51,47	33,54	754	804	0,1525	0,2000
6	2260	1002	0,1768	67,20	44,00	651	801	0,1628	0,2124
7	2520	1001	0,1982	69,95	50,60	758	792	0,1429	0,2222
8	2780	1002	0,2017	75,90	51,50	750	781	0,1388	0,2302
9	3040	1002	0,2138	81,97	54,58	744	771	0,1359	0,2368
10	4600	1001	0,3573	127,35	99,51	791	803	0,1272	0,1739
15	5400	1001	0,3949	145,87	109,97	768	788	0,1226	0,2222
20	6200	1002	0,4321	165,95	120,32	669	791	0,1205	0,2581

Таблица 4

Характеристики самолета с дизельными двигателями ( $L_{\text{прод взлет}} > 800$  м)

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	Взлетная масса ЛА, кг	Общая протяженность маршрута, км	Средний километровой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/км	Часовой расход топлива СУ ЛА, кг/час	Часовой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/час	Потребная дистанция разбега, м	Дистанция продолженного взлета, м	Относительная масса топлива	Относительная масса коммерческой нагрузки
5	2000	1000,4	0,1375	35,36	30,32	794,12	950,71	0,1140	0,2000
6	2396	1000,5	0,1327	42,88	33,87	712,76	968,43	0,1031	0,2003
7	2892	1000,8	0,1569	50,03	40,97	702,75	913,51	0,0958	0,1936
8	3072	1000,3	0,1713	55,26	45,71	646,80	851,15	0,0967	0,2083
9	3502	1000,4	0,1825	67,13	48,72	634,05	849,40	0,0999	0,2056
10	5134	1000,4	0,2650	89,30	70,73	696,21	915,13	0,0875	0,1558
15	5900	1000,4	0,3370	114,76	105,59	739,89	908,03	0,0873	0,2373

Таблица 5

Характеристики самолета с дизельными двигателями ( $L_{\text{прод взлет}} \leq 800$  м)

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	Взлетная масса ЛА, кг	Общая протяженность маршрута, км	Средний километровой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/км	Часовой расход топлива СУ ЛА, кг/час	Часовой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/час	Потребная дистанция разбега, м	Дистанция продолженного взлета, м	Относительная масса топлива	Относительная масса коммерческой нагрузки
5	2219	1000,4	0,1440	41,03	31,74	630,73	800,05	0,1158	0,1803
6	2613	1000,4	0,1381	47,00	35,26	617,26	800,64	0,1018	0,1837
7	2939	1000,4	0,1544	51,08	39,41	611,12	795,93	0,0970	0,1912

имеет меньшее значение для модификации самолета с 5-6 пассажирами. Стоимость жизненного цикла самолета с большим количеством пассажиров становится меньше у модификаций с газотурбинными двигателями (рис. 5). Такое перераспределение обусловлено затратами на техническое обслуживание и ремонт дизельных двигателей за весь жизненный цикл. Поскольку межремонтный ресурс дизельных двигателей существенно меньше межремонтного ресурса газотурбинных двигателей, то затраты на все виды ремонта дизелей будут существенно выше.

Средняя стоимость фактически отработанного часа ресурса парка двигателей представлена на рис. 6.

Таким образом, проведенное исследование модификаций самолета с разными типами двигателей позволяет сделать следующие выводы:

1. Для принятых условий полета в 5-тиместных самолетах (без учета ограничения по продолженному взлету) рост массы силовой установки с дизельными двигателями полностью компенсируется снижением потребной массы топлива из-за большей экономичности дизельных двигателей.

Технико-экономические характеристики самолетов с газотурбинными двигателями

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	$M_{\text{ЛА взл}}$ , кг	Цена планера ЛА (без СУ), тыс. \$	Цена двигателя, тыс. \$	Стоимость летного часа силовой установки ЛА, \$/(л.час)	Показатель качества ЛА, (км·кг)/\$	Стоимость летного часа ЛА, \$/час	Средняя стоимость фактически отработанного часа ресурса парка двигателей, \$	Стоимость ЖЦ силовой установки одного ЛА, тыс. \$	Цена ГСМ за весь ЖЦ, тыс. \$	Затраты на ТОиР за весь ЖЦ, тыс. \$	Себестоимость эксплуатации, \$/пасс-км
5	2000	338,3	132,1	128,6	92,12	301,8	106,0	4313,8	1407,9	89,9	0,29912
6	2260	448,3	146,8	155,2	114,67	345,0	123,9	5042,0	1816,5	95,9	0,26004
7	2520	554,7	163,3	166,1	134,65	372,0	134,6	5477,3	1892,3	102,7	0,23050
8	2780	659,2	180,7	181,4	147,97	403,0	147,7	6012,4	2047,9	109,8	0,21849
9	3040	764,4	198,0	196,6	160,36	433,9	160,7	6543,2	2207,1	116,8	0,20909
10	4600	1254,8	197,1	255,7	174,09	575,3	189,8	7726,0	3403,7	116,6	0,23070
15	5400	1916,0	239,5	298,1	218,86	776,3	224,4	9133,4	3889,3	133,9	0,20757
20	6200	2518,1	311,3	355,1	260,96	901,1	275,7	11222,5	4414,2	163,4	0,18066

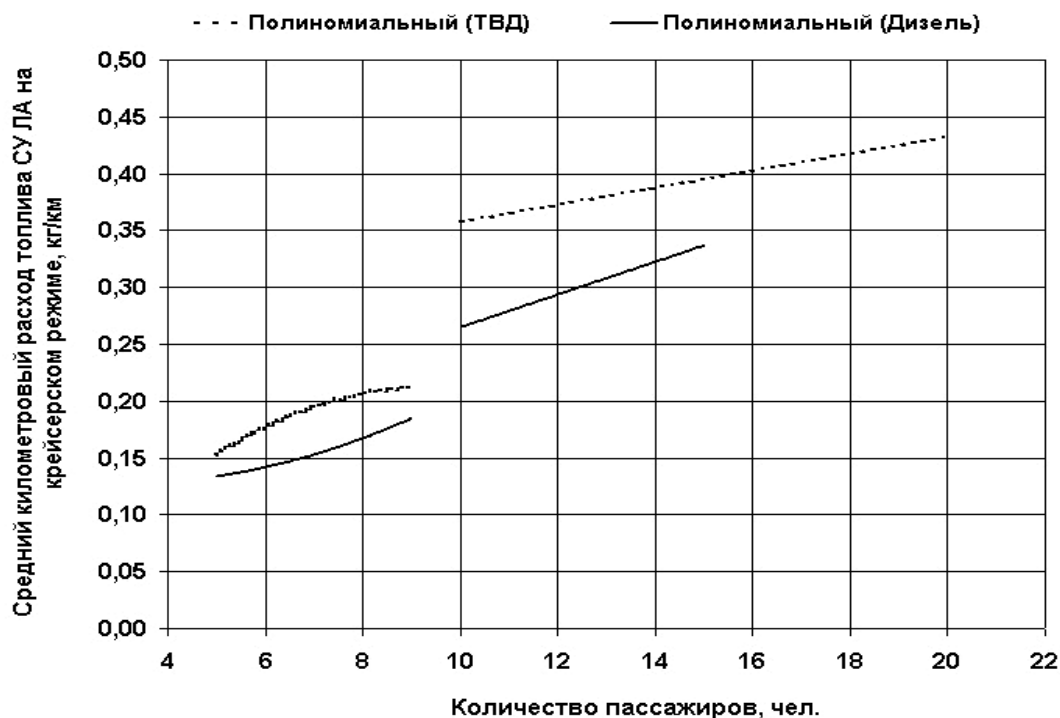


Рис. 1. Изменение среднего километрового расхода топлива силовой установки на крейсерском режиме полета самолета

Таблица 7

Технико-экономические характеристики самолетов с дизельными двигателями

$N_{\text{пасс}}$ , чел.	$M_{\text{ЛА взл}}^{\text{кг}}$	Цена планера ЛА (без СУ), тыс. \$	Цена двигателя, тыс. \$	Стоимость летного часа силовой установки ЛА, \$/л. час	Показатель качества ЛА, (км·кг)/\$	Стоимость летного часа ЛА, \$/час	Средняя стоимость фактически отработанного часа ресурса парка двигателей, \$	Стоимость ЖЦ силовой установки одного ЛА, тыс. \$	Цена ГСМ за весь ЖЦ, тыс. \$	Загрязнения на ТОиР за весь ЖЦ, тыс. \$	Себестоимость эксплуатации, \$/пасс-км
Самолет с дизельными двигателями ( $L_{\text{прод взлет}} > 800$ м)											
5	2000	398,1	102,2	167,1	92,52	345,0	102,1	4154,1	1089	164,36	0,3419
6	2396	551,9	131,5	206,8	117,45	409,3	127,5	5187,9	1286,1	164,37	0,2958
7	2892	764,6	157,7	242,9	130,23	477,0	150,5	6125,5	1470,7	164,37	0,2894
8	3072	817,8	179,7	272,3	145,25	515,5	169,3	6892,9	1610,6	164,38	0,2684
9	3502	996,1	205,8	314,5	153,00	583,6	195,3	7951,5	1921,2	164,38	0,3039
10	5134	1740,1	271,2	410,4	144,90	781,4	255,7	10407,7	2505,4	164,38	0,4069
15	5900	2111,9	290,5	463,4	272,90	880,4	285,7	11630,8	3173,8	164,39	0,3972
Самолет с дизельными двигателями ( $L_{\text{прод взлет}} \leq 800$ м)											
5	2219	451 198,8	134,37	207,4	86,38	396,7	128,3	5222,2	1237,2	164,3	0,39318
6	2613	611 537,9	159,8	241,2	111,02	455,2	150,0	6106,9	1393,9	164,4	0,32903
7	2939	746 517,8	179,6	266,7	123,53	500,8	166,6	6780,8	1498,6	164,4	0,31030

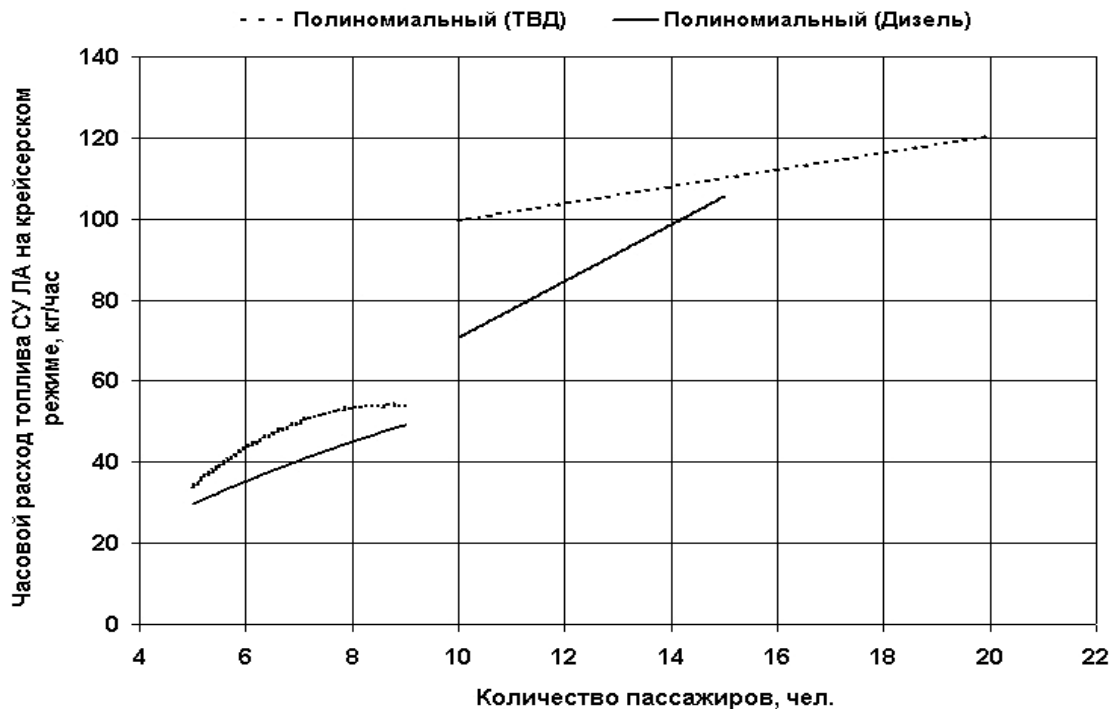


Рис. 2. Изменение часового расхода топлива силовой установки на крейсерском режиме полета самолета

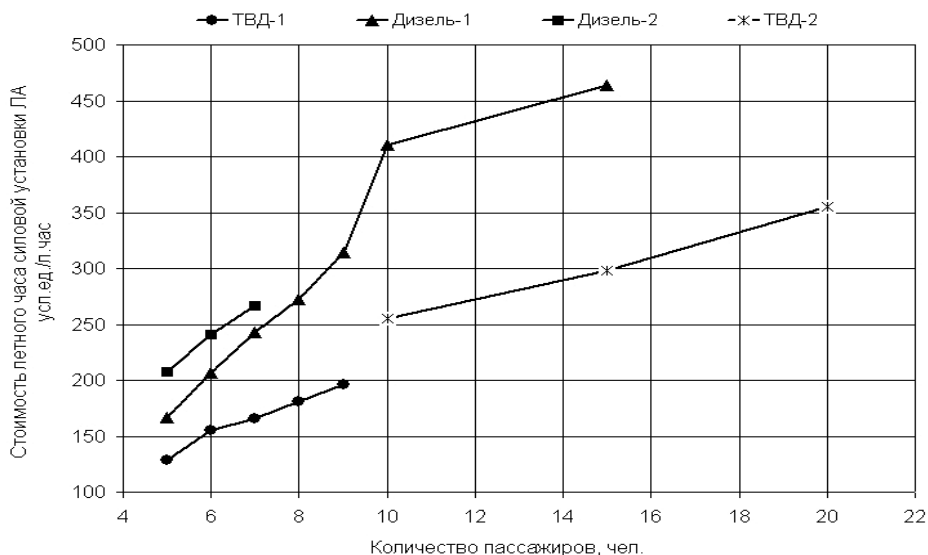


Рис. 3. Зависимость стоимости летного часа силовой установки самолета от количества пассажиров

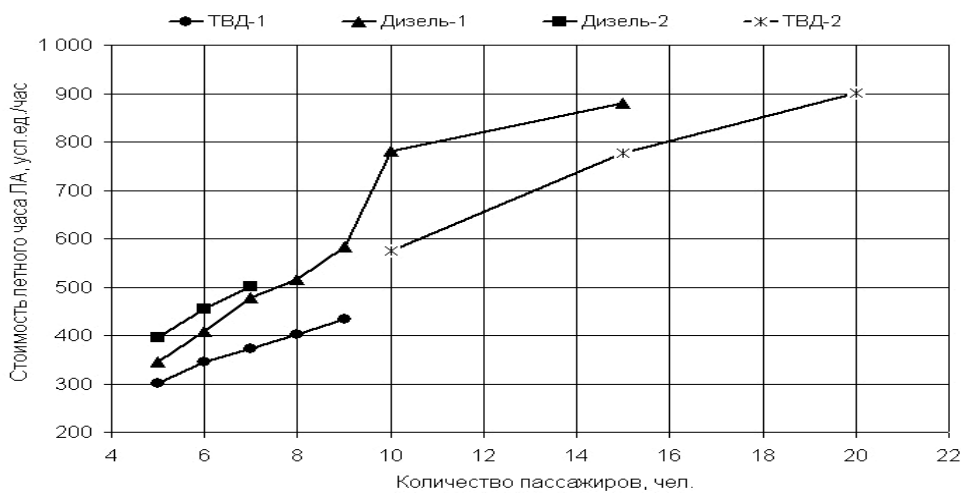


Рис. 4. Зависимость стоимости летного часа самолета от количества пассажиров

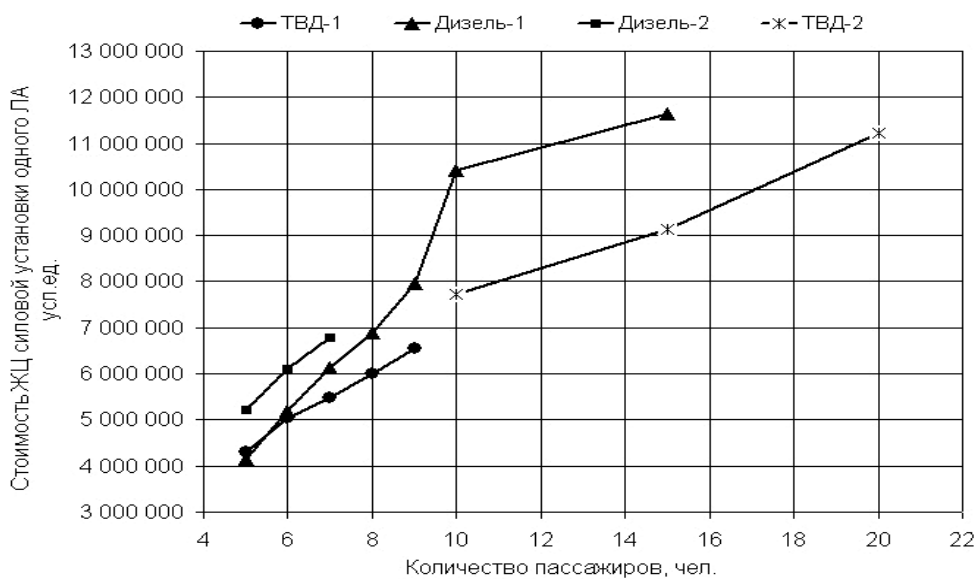


Рис. 5. Зависимость стоимости жизненного цикла силовой установки самолета от количества пассажиров



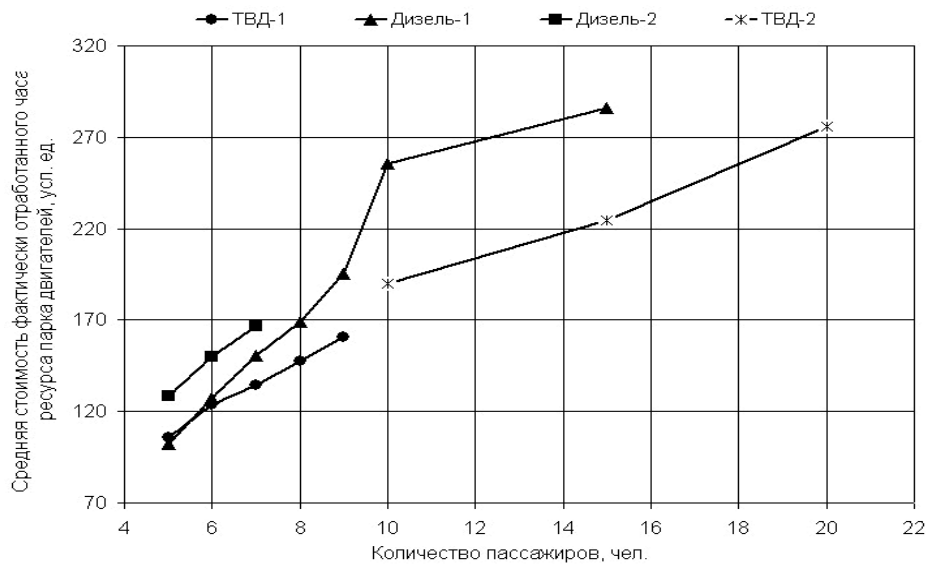


Рис. 6. Зависимость средней стоимости фактически отработанного часа ресурса парка двигателей от количества пассажиров

Иными словами, взлетные массы для выполнения дальности двухплечевого полета на 1000 км этих модификаций практически одинаковы (см. табл. 1, 2). В модификациях с большим количеством пассажиров взлетная масса самолетов с дизельными двигателями существенно возрастает по сравнению с самолетами с газотурбинными двигателями.

2. В самолетах с дизельными двигателями сложнее обеспечить продолженный взлет при отказе одного двигателя (а иногда и невозможно), поскольку отсутствует чрезвычайный режим работы двигателя. Это является серьезным недостатком самолетов с дизельными двигателями.

3. Выбор режима полета (скорости, высоты) весьма существенно влияет на экономичность силовой установки. Поэтому многовариантные проработки с целью “подбора” двигателя сталкиваются с необходимостью оптимизировать не только аэродинамическую компоновку элементов самолета, но и необходимость оптимизации всех режимов полета. При этом влияние выбора режима полета может превалировать над другими влияниями.

4. Дизельные двигатели имеют большую массу и меньший ресурс по сравнению с газотурбинными двигателями. Ввиду наличия большой площади трущихся пар, применяются особенные масла.

Из-за низких ресурсных характеристик дизельных двигателей выигрыш в топливной экономичности за весь жизненный цикл не всегда приводит к достаточной эффективности в эксплуатации.

Силовая установка с дизельным двигателем для маломестных модификаций хороша только своей топливной экономичностью и возможностью использования более тяжелого дизельного топлива.

5. Часовой расход топлива на крейсерском

режиме полета самолета с дизельными двигателями ( $N_{\text{пасс}} > 16$ ) становится больше, чем часовой расход топлива самолета с газотурбинными двигателями. Такое перераспределение расходов вызвано значительным возрастанием массы и размеров мотогондолы дизельного двигателя, что вызывает существенное увеличение коэффициента лобового сопротивления, а следовательно, расхода топлива.

6. Следует отметить минимальное значение себестоимости эксплуатации самолета с дизельными двигателями при  $N_{\text{пасс}} = 8$ , а потом стремительное ее возрастание.

Проведенное комплексное исследование позволило разработать следующие рекомендации:

- на модификациях самолетов с 6...10 пассажирами целесообразно применение двигателя с мощностью на взлетном режиме до 330 кВт;

- на модификациях самолетов с 11...20 пассажирами целесообразно применение двигателя с мощностью на взлетном режиме до 520 кВт;

- применение дизельного двигателя целесообразно на модификациях самолетов с количеством пассажиров менее 6 человек, в противном случае, на самолете устанавливать дизельные двигатели с повышенным ресурсом и малой стоимостью.

Выполнение условия общей протяженности двухплечевого маршрута  $L_{\text{п}} \approx 1000$  км с учетом ограничения по продолженному взлету с бетонной и грунтовой ВПП длиной 800 метров не меняет радикально диапазоны рационального применения газотурбинных и дизельных двигателей, однако, несколько корректирует количественную оценку основных параметров модифицированных самолетов и их силовых установок.

Проведено исследование летно-технических и

эксплуатационных характеристик модификаций самолетов с различными двигателями по условию общей протяженности одноплечевого маршрута  $L_{\text{п}} \approx 1500$  км. Модификация самолетов заключалась в незначительном увеличении взлетной массы на величину “недостающего” топлива для полета на заданное расстояние. Для 5...9-ти местных модификаций прибавлялось 30...50 кг, для 10...20-ти местных модификаций – 90...100 кг топлива (табл. 8, 9). Такое незначительное изменение взлетной массы обуславливает незначительное отличие результатов исследования от предыдущих.

Наибольший интерес представляют зависимости среднего километрового расхода и часового расхода топлива силовой установки на крейсерском режиме в разных модификациях самолета (рис. 1, 2).

Видно, что часовой расход топлива силовой установки с дизельными двигателями становится равным расходу топлива силовой установки с газотурбинными двигателями, при  $N_{\text{насс}} = 16$ .

Исследование экономических и эксплуатационных показателей самолетов с различными двигателями проводился при прежних исходных данных. Результаты расчета летно-технических характеристик самолетов представлены в табл. 8, 9. Графические зависимости основных экономических характеристик самолетов представлены на рис. 7-10.

### Выводы по исследованию

Анализ представленных результатов позволяет сделать вывод о том, что использование дизельных двигателей на самолетах с дальностью полета 1000 км и 1500 км целесообразно на маломестных самолетах (до 5-6 человек). Стоимость жизненного цикла самолета с большим количеством пассажиров становится меньше у модификаций с газотурбинными двигателями, следовательно, использование этого типа двигателей целесообразно на самолетах с большей пассажироместимостью.

Исходя из анализа результатов исследований, следует выделить следующие преимущества газотурбинных двигателей по сравнению с дизельными:

- небольшие масса и габаритные размеры;
- простота конструкции и системы смазки;
- хорошая механическая уравновешенность;
- многотопливность и низкое рабочее давление;
- быстрый запуск в любых климатических условиях;
- проще эксплуатация и техническое обслуживание;
- наличие чрезвычайного режима.

Недостатки газотурбинных двигателей по сравнению с дизельными двигателями: повышенный расход топлива, большая стоимость.

Преимущества дизельных двигателей по сравнению с газотурбинными двигателями: низкий расход топлива, низкая стоимость закупки, возможность использования топлива с большей плотностью (дизельного топлива).

Недостатки дизельных двигателей по сравнению с газотурбинными двигателями:

- худшие массогабаритные характеристики, что приводит к ухудшению ЛТХ;
- дорогое техническое обслуживание;
- сложность запуска в зимних условиях;
- сложность механического уравнивания;
- отсутствие чрезвычайного режима;
- применение масла двух типов (отдельно для редуктора) и охлаждающей жидкости;
- недостаточно развитая инфраструктура аэропортов.

В дальнейших исследованиях предполагается учет конструктивно-компоновочных схем самолета, эксплуатационных характеристик двигателей, маршрута полета.

### Литература

1. Анализ рынка самолетов малой авиации пассажироместимостью 9-19 человек, 2011-2013 гг. Прогноз до 2030 года. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.asmarketing.ru/marketingovye-issledovaniya/marketingovoe-issledovanie-ryinka-legkoy-maloy-aviatsii-statistika-i-perspektivy-razvitiya.html>. –15.06.2014.
2. Формирование облика семейства легких многоцелевых самолетов для местных воздушных линий России [Текст] / С. Л. Чернышев, А. И. Дунаевский, А. В. Редькин, Ю. С. Михайлов // Полет. – 2013. – № 8. – С. 72-79.
3. Маркетинговое исследование рынка легких самолетов, 2009-2011 гг. Прогноз развития до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.asmarketing.ru/marketingovye-issledovaniya/marketingovoe-issledovanie-ryinka-legkih-samoletov-v-rf-2009-2011-gg.-prognoz-razvitiya-do-2020-goda.html>. –15.06.2014.
4. Концепция создания самолета для местных воздушных линий [Текст] / Ю. Н. Геремес, А. Г. Гребеников, А. М. Гуменный, А. Ф. Иванько, А. И. Костенко и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та «ХАИ». – 2010. – № 47. – С. 20-33.
5. Региональные авиоперевозки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/category/rubric/regionalnye-aviaperevozki>. –15.06.2014.

6. На замену Ан-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vz.ru/economy/2013/10/15/655009.html>. –15.06.2014.

7. Малые самолеты поднимут в воздух австрийские технологии и 10 млрд руб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://top.rbc.ru/economics/15/10/2013/882304.shtml>. –15.06.2014.

8. <http://www.cnews.ru/topnews/2002/06/03/content4.shtml>. –11.03.2011.

9. [http://www.aviationnow.com/avnow/news/channel\\_busav.jsp?view=story&id=news/bfuel0530.xml](http://www.aviationnow.com/avnow/news/channel_busav.jsp?view=story&id=news/bfuel0530.xml). – 10.02.2012.

10. Методика оценки технико-экономических характеристик турбовинтового двигателя в системе легкого регионального пассажирского самолета [Текст] / В. В. Логинов, Е. А. Украинец, И. Ф. Кравченко, А. В. Еланский / Системи озброєння і військова техніка. – 2014. – № 1(37). – С. 150-160.

11. Diamond DA42 Серии (Austro Engine). Maintenance Training Division. – 2010. – 228 p.

12. AE 300 Austro Engine. Technical data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.austroengine.at>. –15.06.2014.

13. Flight engine E8. Austro Engine AE 440. Engine Data Sheet. – 2011. – 120 p.

14. Авиационный дизельный двигатель ТАЕ125. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cnews.ru/topnews/2002/06/03/content4.shtml>. –15.06.2014.

15. Руководство по летной эксплуатации Diamond DA42. – 2000. – 145 с.

16. Aircraft EV-55 Outback [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evektor.cz/en/outback/specification.aspx>. –15.06.2014.

17. Ковалев, А. И. Самолет Л-410УВП: Конструкция и летная эксплуатация [Текст] / А. И. Ковалев. – М. : Транспорт, 1988. – 86 с.

18. Белогузов, В. С. Практическая аэродинамика самолета Л-410УВП [Текст] : учеб. пособие / В. С. Белогузов. – Кировоград : ГЛАУ, 2001. – 108 с.

Таблица 8

Характеристики самолета с газотурбинными двигателями

Кол-во пассажиров, чел.	Взлетная масса ЛА, кг	Общая протяженность маршрута, км	Средний километровый расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/км	Часовой расход топлива СУ ЛА, кг/час	Часовой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/час	Потребная дистанция разбега, м	Дистанция продолженного взлета, м	Относительная масса топлива	Относительная масса коммерческой нагрузки
5	2033	1500	0,1575	40,77	34,73	722	815	0,1663	0,1968
6	2283	1500	0,1818	52,67	44,30	723	810	0,1713	0,2102
7	2570	1500	0,2037	58,56	52,00	725	801	0,1595	0,2179
8	2821	1500	0,2075	61,33	52,99	712	784	0,1514	0,2269
9	3080	1500	0,2202	65,58	56,21	706	773	0,1471	0,2338
10	4703	1500	0,3692	112,15	102,83	755	809	0,1463	0,1701
15	5502	1500	0,4072	125,63	113,41	729	790	0,1389	0,2181
20	6298	1500	0,4450	139,70	123,94	633	790	0,1342	0,2540

Таблица 9

Характеристики самолета с дизельными двигателями

Кол-во пассажиров, чел.	Взлетная масса ЛА, кг	Общая протяженность маршрута, км	Средний километровый расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/км	Часовой расход топлива СУ ЛА, кг/час	Часовой расход топлива СУ ЛА на крейсерском режиме, кг/час	Потребная дистанция разбега, м	Дистанция продолженного взлета, м	Относительная масса топлива	Относительная масса коммерческой нагрузки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	2052	1500	0,1402	32,6	30,9	750,2	952,7	0,1365	0,1949

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	2433	1500	0,1348	37,6	34,4	663,7	955,3	0,1167	0,1973
7	2937	1500	0,1585	44,6	41,4	652,9	897,3	0,1096	0,1907
8	3123	1500	0,1741	49,8	46,5	602,5	837,6	0,1114	0,2049
9	3539	1500	0,1858	56,2	49,6	588,7	832,7	0,1094	0,2034
10	5207	1500	0,2711	78,8	72,4	646,1	895,5	0,1002	0,1536
15	6012	1500	0,3431	110,5	107,5	710,4	944,9	0,1043	0,2329

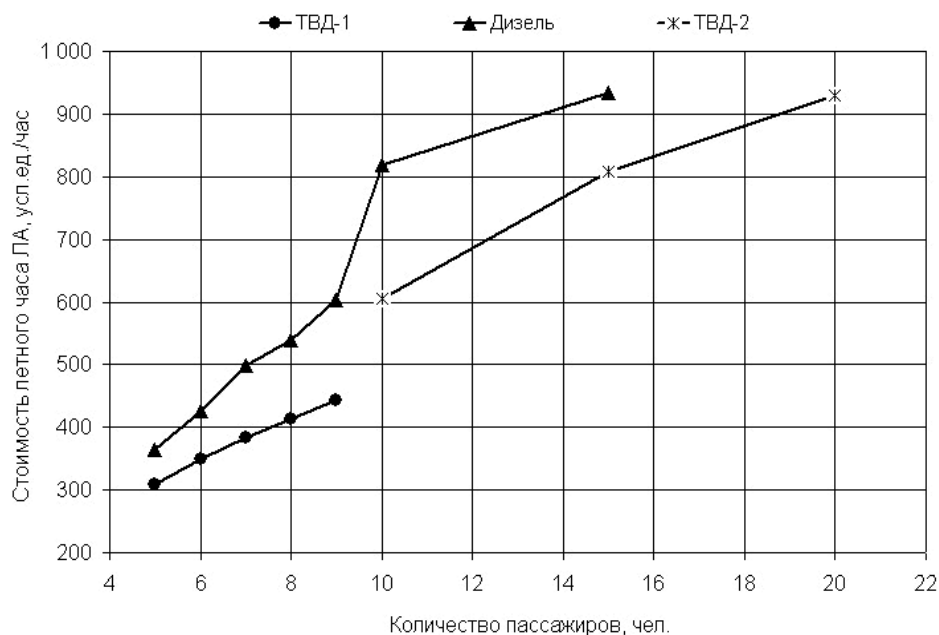


Рис. 7. Зависимость стоимости летного часа самолета от количества пассажиров

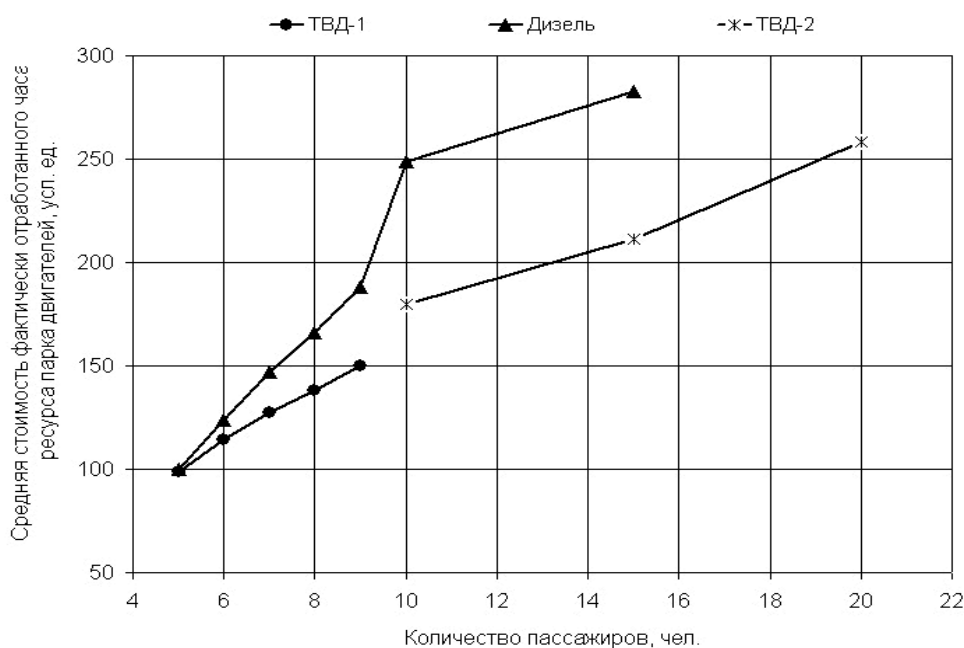


Рис. 8. Зависимость средней стоимости фактически отработанного часа ресурса парка двигателей от количества пассажиров

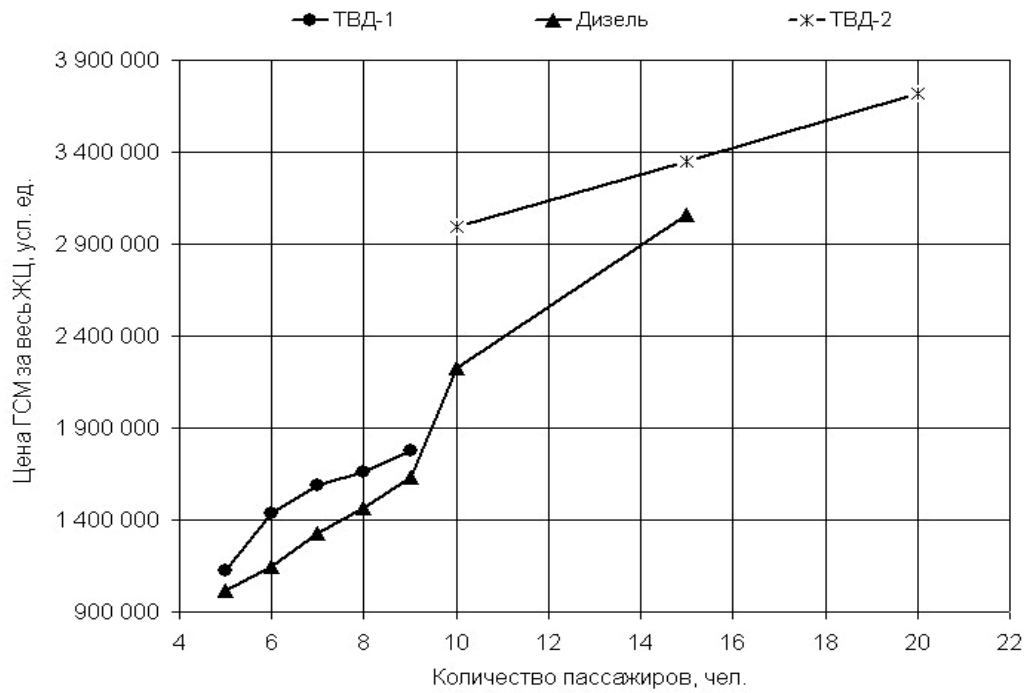


Рис. 9. Зависимость цены ГСМ за весь жизненный цикл самолета от количества пассажиров на борту

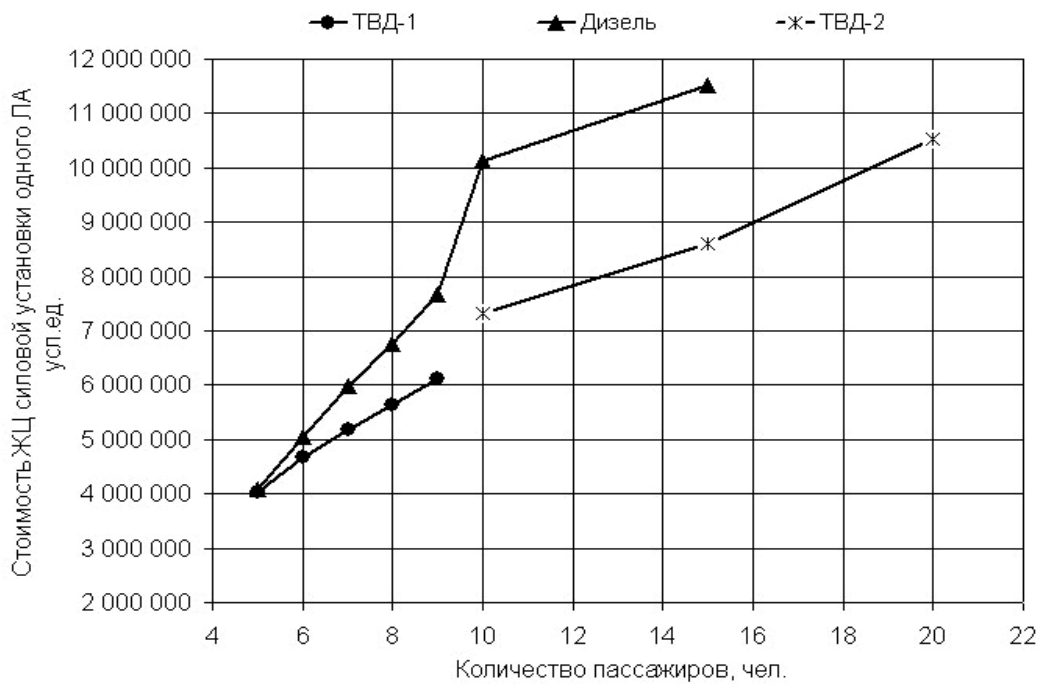


Рис. 10. Зависимость стоимости жизненного цикла силовой установки одного самолета от количества пассажиров

Поступила в редакцию 15.06.2014, рассмотрена на редколлегии 17.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. С. В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.

## АНАЛІЗ ЛЬОТНО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЕГКОГО РЕГІОНАЛЬНОГО ЛІТАКА З АВІАЦІЙНИМ ДИЗЕЛЬНИМ І ГАЗОТУРБІННИМ ДВИГУНАМИ

*В. В. Логінов, Є. О. Українець, І. Ф. Кравченко, О. В. Єланський*

Досліджено льотно-технічні і економічні характеристики літаків місцевих повітряних ліній з дизельними і газотурбінними двигунами. Прийнято типові польоти загальною протяжністю одноплечового  $L_{\text{п}} \approx 1500$  км і двоплечового маршрутів  $L_{\text{п}} \approx 1000$  км з урахуванням обмежень по продовженому зльоту з бетонної і ґрунтової злітно-посадочних смуг завдовжки 800 метрів. Показано доцільність застосування авіаційних дизельних двигунів на маломісних (до 5-6 чоловік) регіональних пасажирських літаках. Розрахунковим шляхом встановлено, що основними чинниками, що впливають на вартість життєвого циклу літака, є ресурсні характеристики двигуна і витрати на його технічне обслуговування і ремонт.

**Ключові слова:** параметричний обрис, легкий регіональний літак, пасажирський літак, місцеві повітряні лінії, авіаційний дизельний двигун, турбогвинтовий двигун, газотурбінний двигун, авіаційна силова установка, техніко-економічні характеристики, експлуатаційні характеристики, інтеграційні властивості.

## AIRCRAFT PERFORMANCES AND ECONOMICAL RATIO ANALYSIS FOR A LIGHT REGIONAL AIRCRAFT WITH AVIA DIESEL AND GAS TURBINE ENGINES

*V. V. Loginov, E. A. Ukrainetz, I. F. Kravchenko, A. V. Yelanskiy*

Paper addresses the urgent issue of flight and economical characteristics of airplanes of local airlines, which are powered by diesel and gas-turbine engines. The research was carried out for typical non-stop flight of 1500 km length and for typical flight with stopover of 1000 km length. The limitations made for continued take off run from concrete and ground runways of 800 m length were considered in the analysis. The analysis proved diesel engines to be expedient for small (less than 5 or 6 passengers) passenger aircrafts of local airlines. Numerical analysis also revealed that major expenses of aircraft life are formed by long-term engine performances ensuring and expenses for maintenance and overhaul.

**Keywords:** parametric form, light regional aircraft, passenger aircraft, local airlines, diesel engine of aircraft, turboprop engine, gas turbine engine, the power plant of aircraft, technical and economic characteristics, operational characteristics, integrative properties.

**Логінов Василь Васильевич** – д-р техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедри інженерно-авіаційного факультета, Харківський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, e-mail: astravek@mail.ru.

**Українець Євгеній Александрович** – д-р техн. наук, ст. науч. сотр., проф. каф. інженерно-авіаційного факультета, Харківський університет Воздушних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, e-mail: eukrainez@mail.ru.

**Кравченко Ігорь Федорович** – канд. техн. наук, доцент, Генеральний конструктор, ГП “Івченко-прогресс”, Запоріжжя.

**Єланський Александр Витальевич** – начальник бригади, заступитель начальника отдела перспективных разработок, ГП “Івченко-прогресс”, Запоріжжя, e-mail: a.elanskiy@ivchenko-progress.com.