



П.И. Смирнов, О.Н. Пикалев
Вологодский государственный университет

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ЗАТРАТ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ И РЕАЛИЗАЦИЯ ЕЕ В СРЕДЕ MS EXCEL

Описаны предпосылки необходимости оценки прогнозных величин затрат на ТО техники, в т.ч. в рамках разработки методик оценки конкурентоспособности автомобилей или эффективности их работы. Предложена математическая модель, учитывающая основные технические особенности и позволяющая получать прогнозную оценку величин и характера денежных потоков при эксплуатации техники. Продемонстрирован пример реализации полученной модели и алгоритма расчета в среде MS Excel.

Спутниковые системы телематического контроля, автотранспортные предприятия, базы данных, математическая модель, калькулятор затрат, MS Excel.

Проблема поиска дополнительных средств экономии эксплуатационных затрат в современных экономических реалиях является одной из наиболее часто встречающихся задач для автотранспортных предприятий всех форм собственности [1–3].

Для облегчения процесса оценки легковых автомобилей (ЛА) по их системе фирменного сервиса

(СФС) и автоматизации расчета величин предполагаемых прогнозных затрат на ТО ЛА в течение заданного срока эксплуатации была разработана математическая модель зависимости стоимости ТО ЛА от пробега, лет в эксплуатации и конструктивных особенностей ЛА.

$$Q_{\text{ТО}}(n, L) = \left\{ \begin{array}{l} Q_{\text{ММ}} V_{\text{ММ}} \frac{L}{t_{\text{ТО}}} + Q_{\text{МФ}} \frac{L}{t_{\text{ТО}}} + Q_{\text{ВФ}} \frac{L}{t_{\text{ТО}}}, \text{ если } L > nt_{\text{ТО}} \\ Q_{\text{ММ}} V_{\text{ММ}} n + Q_{\text{МФ}} n + Q_{\text{ВФ}} n, \text{ если } L < nt_{\text{ТО}} \\ \\ Q_{\text{СВ}} n_{\text{СВ}} \frac{L}{t_{\text{СВ}}}, \text{ если бензиновый ДВС и если } L > t_{\text{СВ}} \\ \\ Q_{\text{ОЖ}} V_{\text{ОЖ}} \frac{L}{t_{\text{ОЖ}}}, \text{ если } L > t_{\text{ОЖ}} \\ \\ Q_{\text{ТФд}} \frac{L}{t_{\text{ТФд}}}, \text{ если дизельный ДВС} \\ \\ Q_{\text{ТФб}} \frac{L}{t_{\text{ТФб}}}, \text{ если бензиновый ДВС} \\ \\ Q_{\text{СФ}} \frac{L}{t_{\text{ТО}}} \\ \\ Q_{\text{ММКПП}} V_{\text{ММКПП}} \frac{L}{t_{\text{ММКПП}}}, \text{ если на ЛА МКПП} \\ \\ Q_{\text{МАКПП}} V_{\text{МАКПП}} \frac{L}{t_{\text{МАКПП}}} + Q_{\text{ФАКПП}} \frac{L}{t_{\text{МАКПП}}} + Q_{\text{РМАКПП}} \frac{L}{t_{\text{МАКПП}}}, \text{ если на ЛА АКПП} \\ \\ 2(Q_{\text{КОЛД}} \frac{L}{t_{\text{КОЛД}}} + Q_{\text{ДИСК}} \frac{L}{t_{\text{ДИСК}}}), \text{ если ЛА с дисковыми тормозами} \\ \\ Q_{\text{КОЛД}} \frac{L}{t_{\text{КОЛД}}} + Q_{\text{ДИСК}} \frac{L}{t_{\text{ДИСК}}} + Q_{\text{КОЛЬ}} \frac{L}{t_{\text{КОЛЬ}}} + Q_{\text{БАРАБ}} \frac{L}{t_{\text{БАРАБ}}}, \text{ если ЛА с дисковыми} \\ \text{и барабанными тормозами} \\ \\ Q_{\text{ТЖ}} V_{\text{ТЖ}} \frac{L}{t_{\text{ТЖ}}}, \text{ если } L > nt_{\text{ТО}} \\ \\ Q_{\text{ТЖ}} V_{\text{ТЖ}} \frac{n}{2}, \text{ если } L < nt_{\text{ТО}} \\ \\ Q_{\text{МАТР}} V_{\text{МАТР}} \frac{L}{t_{\text{МАТР}}}, \text{ если ЛА полноприводный} \\ \\ Q_{\text{РВСП}} \frac{L}{t_{\text{РВСП}}} + Q_{\text{РОЛВСП}} \frac{L}{t_{\text{РВСП}}} \\ \\ Q_{\text{РГРМ}} \frac{L}{t_{\text{РГРМ}}} + Q_{\text{РОЛГРМ}} \frac{L}{t_{\text{РГРМ}}}, \text{ если ГРМ ДВС с ременным приводом и } L > 6t_{\text{ТО}} \\ \\ Q_{\text{РГРМ}} \frac{n}{6} + Q_{\text{РОЛГРМ}} \frac{n}{6}, \text{ если ГРМ ДВС с ременным приводом и } L < 6t_{\text{ТО}} \text{ или } L < nt_{\text{ТО}} \\ \\ Q_{\text{ЦГРМ}} \frac{L}{t_{\text{ЦГРМ}}} + Q_{\text{КЦГРМ}} \frac{L}{t_{\text{ЦГРМ}}}, \text{ если ГРМ ДВС с цепным приводом} \end{array} \right.$$

при следующих ограничениях:

$$\frac{L}{t_{\text{ТО}}} = 1, \text{ или } 2, \text{ или } 3 \text{ и т. д.}$$

если $\frac{L}{t_{\text{СВ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{СВ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{СВ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ОЖ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ОЖ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ОЖ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ТФб}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ТФб}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ТФб}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ММКПП}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ММКПП}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ММКПП}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{АМКПП}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{АМКПП}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{АМКПП}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ДИСК}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ДИСК}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ДИСК}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{БАРАБ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{БАРАБ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{БАРАБ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{КОЛЬ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{КОЛЬ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{КОЛЬ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{КОЛД}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{КОЛД}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{КОЛД}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ТЖ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ТЖ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ТЖ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{МАТР}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{МАТР}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{МАТР}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{РВСП}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{РВСП}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{РВСП}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ГРМ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ГРМ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ГРМ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

если $\frac{L}{t_{\text{ЦГРМ}}} < 1$, то $\frac{L}{t_{\text{ЦГРМ}}} = 0$, $\frac{L}{t_{\text{ЦГРМ}}} = 0$, или 1, или 2, или 3 и т. д.

Таблица 1

Описание переменных модели стоимости ТО ЛА

Описание переменной	Обозначение	Единица измерения
Объем масла в ДВС	V _{мм}	литр
Общий пробег ЛА	L	км
Пробег между ТО	t _{то}	км
Лет в эксплуатации	n	годы
Количество свечей в ДВС	p _{св}	штук
Периодичность замены свечей	t _{св}	км
Объем охлаждающей жидкости в ДВС	V _{ож}	литр
Периодичность замены охлаждающей жидкости	t _{ож}	км
Периодичность замены бензинового топл. фильтра	t _{тфб}	км
Периодичность замены дизельного топл. фильтра	t _{тфд}	км
Объем масла в МКПП	V _{ммкпп}	литр
Периодичность замены масла в МКПП	t _{ммкпп}	км
Объем масла в АКПП	V _{амкпп}	литр
Периодичность замены масла в АКПП	t _{амкпп}	км
Ср. наработка колодок дискового тормоза	t _{колд}	км
Ср. наработка тормозных дисков	t _{диск}	км
Ср. наработка колодок барабанного тормоза	t _{коль}	км
Ср. наработка тормозных барабанов	t _{бараб}	км
Объем тормозной жидкости в ЛА	V _{тж}	литр
Интервал замены ТЖ	t _{тж}	км
Средний объем масла в агрегатах трансмиссии	V _{матр}	литр
Ср. наработка масла в агрегатах трансмиссии	t _{матр}	км
Ср. наработка ремня вспомогательных агрегатов	t _{рвсп}	км
Ср. наработка ремня ГРМ	t _{грм}	км
Ср. наработка цепи ГРМ	t _{цгрм}	км

Таблица 2

Описание постоянных модели стоимости ТО ЛА

Описание переменной	Обозначение	Единица измерения
Ср. цена 1 литра моторного масла	Q _{мм}	руб.
Ср. цена масляного фильтра ДВС	Q _{мф}	руб.
Ср. цена воздушного фильтра ДВС	Q _{вф}	руб.
Ср. цена свечи зажигания	Q _{св}	руб.
Ср. цена 1 литра охлаждающей жидкости	Q _{ож}	руб.
Ср. цена топливного фильтра дизельного ДВС	Q _{тфд}	руб.
Ср. цена топливного фильтра бензинового ДВС	Q _{тфб}	руб.
Ср. цена салонного фильтра	Q _{сф}	руб.
Ср. цена 1 литра масла в МКПП	Q _{ммкпп}	руб.
Ср. цена 1 литра масла в АКПП	Q _{амкпп}	руб.
Ср. цена фильтров в АКПП	Q _{факпп}	руб.
Ср. цена расходных материалов для АКПП	Q _{рмакпп}	руб.
Ср. цена колодок для дискового тормоза	Q _{колд}	руб.
Ср. цена 2 тормозных дисков	Q _{диск}	руб.
Ср. цена колодок для барабанного тормоза	Q _{коль}	руб.
Ср. цена 2 тормозных барабанов	Q _{бараб}	руб.
Ср. цена 1 литра тормозной жидкости	Q _{тж}	руб.
Ср. цена 1 литра масла в агрегатах трансмиссии	Q _{матр}	руб.
Ср. цена ремня вспомогательных агрегатов	Q _{рвсп}	руб.
Ср. цена роликов ремня вспомогательных агрегатов	Q _{ролвсп}	руб.
Ср. цена ремня ГРМ	Q _{грм}	руб.
Ср. цена роликов ремня ГРМ	Q _{ролцгрм}	руб.
Ср. цена цепи ГРМ	Q _{цгрм}	руб.
Ср. цена комплектующих для замены цепи ГРМ	Q _{кцгрм}	руб.

Модель основана на декомпозиции и анализе регламентов современных ЛА различных производителей, а также на опыте автора, приобретенном во время работы на сервисных предприятиях и в сфере продаж запасных частей и смазочных материалов. $Q_{то}(n, L)$, руб – итоговая функция суммарных затрат на ТО ЛА в зависимости от: n – срока эксплуатации в годах и L – суммарного пробега за этот же период в км.

В предложенной модели используются следующие обозначения: описание и единицы измерения переменных приведены в таблице 1, постоянных – в таблице 2.

Ограничения и особенности разработанной модели:

1. Модель применима для современных ЛА с бензиновыми и дизельными двигателями, ДВС с цепным или ременным приводом ГРМ, МКПП и АКПП (ЛА с вариатором могут показывать большее расхождение фактическим и смоделированными значениями из-за сложности прогнозирования расходов на ТО вариаторной трансмиссии), с различными типами приводов.

2. В модели не используется дисконтирование величин затрат и не учитываются стоимости работ по ТО. Последнее допущение принято сознательно, так как с точки зрения выбора ЛА этот параметр, при имеющемся разбросе как вариантов проведения ТО (своими силами или в сервисных организациях), так и стоимостей нормо-часа, не играет практической роли. С точки зрения прогнозной оценки величин затрат на ТО можно включить стоимость обслуживания на каждом этапе или экспертно, опираясь на усредненное процентное соотношение стоимости работ к стоимости расходных материалов [3].

3. Итоговая точность результатов моделирования зависит от точности задания значений в блоках переменных и постоянных.

4. Блок постоянных включает значения средних стоимостей расходных материалов и эксплуатационных материалов, которые рекомендуется найти на как можно более широкой выборке значений розничных или закупочных цен.

5. Блок переменных содержит значения из технической документации анализируемого ЛА (объемы заправок и сроки замены) и данные опытной эксплуатации подобных ЛА (средние пробеги до замены) [4].

6. Блок ограничений учитывает некоторые особенности построения регламентов ТО и учитывает принципы проведения ТО по пробегу или/и календарному времени в некоторых случаях (например, замена ремня ГРМ).

Для автоматизации работы с данной моделью разработан Калькулятор прогнозной стоимости ТО ЛА в среде MS Excel, который с помощью разработанного макроса автоматически находит расчетные величины и строит графические зависимости суммарной накопленной стоимости ТО ЛА от продолжительности эксплуатации и пробега $Q_{то}(n,L)$, руб, а также удельной стоимости ТО, приведенной к пробегу ЛА с построением линий тренда и отображением их уравнений и величин аппроксимации.

Для проверки адекватности и точности полученной модели была проведена ее проверка на имеющихся данных опытной эксплуатации ЛА марок Peugeot 308 (9 лет и 156 т. км) и Renault Sandero (4 года в эксплуатации и 87 т. км пробега). Сравнение полученных результатов моделирования и опытных данных показаны на рисунках 1–2. Отклонения значений не превышают 5–12 %, что говорит о достаточной точности полученной модели и возможности ее использования для прогнозного определения величин суммарных затрат на ТО ЛА на стадии их оценки.

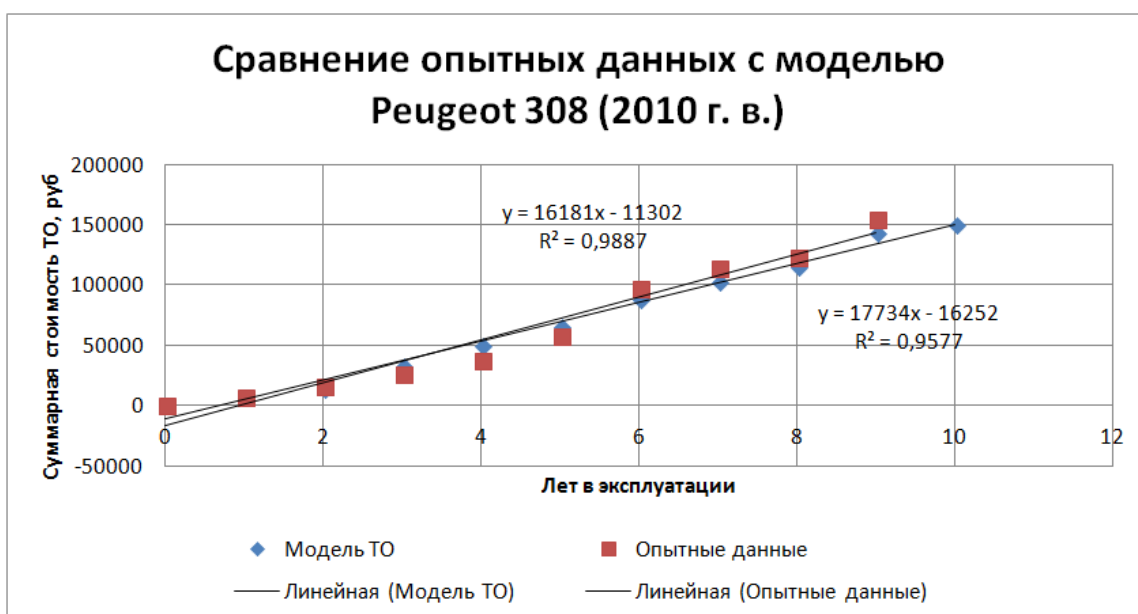


Рис. 1. Сравнение полученных результатов моделирования суммарной стоимости ТО и опытных данных по ЛА Peugeot 308 (годовой пробег 15 т. км)

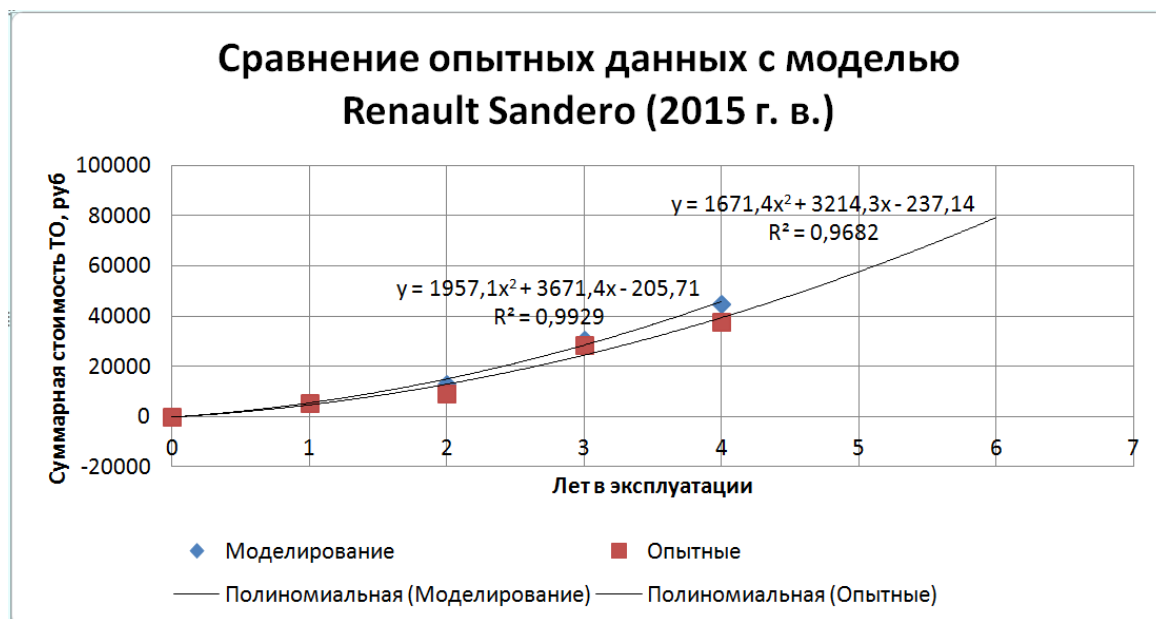


Рис. 2. Сравнение полученных результатов моделирования суммарной стоимости ТО и опытных данных по ЛА Renault Sandero (годовой пробег 15 т. км)

Предложенная частная методика оценки и математическая модель расчета критериев СФС представляется удобно применимой на практике и обеспечивает получение информативных и достоверных данных для последующего итогового сравнения ЛА. Эти сведения позволяют объективно оценить приспособленность сравниваемых ЛА к поддержанию исправного технического состояния в конкретном регионе применения и возможные затраты на его восстановление даже для максимально близких по технико-экономическим характеристикам моделей.

Литература

1. Khayyam H, Bab-Hadiashar A. Adaptive intelligent energy management system of plug-in hybrid electric vehicle / Khayyam H, Bab-Hadiashar A. – Energy, 2014.
2. Highly-resolved modeling of personal transportation energy consumption in the United States / Muratori M, Moran MJ, Serra E, Rizzoni G. – Energy, 2013.
3. Whyte, K. O Gallach oir BP. Modelling HGV freight transport energy demand in Ireland and the impacts of the property construction bubble / Whyte K, Daly HE. – Energy, 2013.
4. Zhao, H. Analysis of Class 8 truck technologies for their fuel savings and economics / Zhao H, Burke A, Miller M. // Transp Res. – Part D. – Transp Environ, 2013.

P.I. Smirnov, O.N. Pikalev
Vologda State University

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTIVE CALCULATION OF CAR MAINTENANCE COSTS AND ITS IMPLEMENTATION IN MS EXCEL

The article describes the background to the need for assessment of the forecast values of the cost of maintenance support of equipment, including the development of methods of cars competitiveness estimation or the efficiency of their work. A mathematical model that takes into account the main technical characteristics and allows to obtain a predictive assessment of the quantities and nature of cash flows while in operation is presented. An example of implementing the received model and calculation algorithm in MS Excel are shown.

Satellite telematics control systems, road transport enterprises, databases, mathematical model, cost calculator, MS Excel.