

УДК 519.688

Автоматизация процесса технико-экономического обоснования перспективных проектов двигателей летательных аппаратов

Баранов Антон Сергеевич

Кузьмина Инна Анатольевна (научный руководитель)

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Разработка новых авиационных двигателей для различных летательных аппаратов — сложный и многоэтапный процесс, включающий в том числе анализ технических характеристик, экономических показателей и эксплуатационных факторов. На этапе технико-экономического обоснования необходимо быстро оценить жизнеспособность проекта, выявить ключевые технические и экономические риски, а также спрогнозировать коммерческую эффективность будущих наукоемких изделий. Внедрение автоматизаций позволяет ускорить процесс, повысить точность оценок и минимизировать влияние человеческого фактора. Исходя из этого, были созданы две программы, автоматизирующие некоторые процессы, входящие в технико-экономического обоснование.

Ключевые слова: автоматизация, технико-экономический анализ, двигатель, разработка

Введение. Разработка авиационных двигателей (АД) является одним из важнейших этапов производства всего летательного аппарата. При проектировании двигателя необходимо проанализировать большое количество данных, рассчитать множество параметров для того, чтобы решить — является ли создание такого двигателя целесообразным.

Ключевую роль в оценке рентабельности создания играет экономический анализ, с помощью которого можно оценить жизнеспособность проекта, выявить ключевые технические и экономические риски, а также спрогнозировать коммерческую эффективность будущих наукоемких изделий.

Актуальность. Техничко-экономический анализ включает в себя множество задач, которые необходимо решать в рамках оценки необходимости дальнейшей разработки рассматриваемого перспективного проекта. В зависимости от требований, предъявляемых стороной заказчика, спектр этих задач может увеличиваться либо уменьшаться. К наиболее общим и необходимым могут относиться: оценка стоимости разработки, производства и эксплуатации, оптимизация параметров для улучшения экономической составляющей перспективного проекта (соотношение цена/качество, к примеру), анализ конкурентоспособности, перспектив на рынке, рисков разработки [1, 2].

Данные задачи требуют не только больших временных затрат, но и сильно зависимы от человеческого фактора. В следствие этого могут возникать серьезные ошибки оценок результатов технико-экономического анализа и, как следствие, непредвиденные трудности в создании конечного наукоемкого

изделия. Для минимизации трудозатрат и времени, которое будет потрачено на все этапы выполнения расчетов, их анализа и сравнения, а, в идеале, полностью исключения ошибок, необходима автоматизация всех процессов, неразрывно связанных с человеческим ресурсом.

Постановка задачи. Для того, чтобы реализовать проект по автоматизации технико-экономического обоснования (ТЭО) необходимо:

- провести анализ тематической литературы, выбрать необходимые методы;
- вывести ключевые показатели и определить входные параметры;
- реализовать принятые решения в виде программных комплексов: программа оценки экономических потерь от рисков событий при разработке двигателя сверхзвукового пассажирского самолета (СПС); программа для анализа зависимостей удельных показателей стоимости авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) от их размерности.

Данные автоматизации должны быть универсальными либо легко модифицируемыми, а также предполагать использование на разных этапах жизненного цикла АД. Исходя из того, что авиационная сфера решает задачи повышенной сложности, где малейшие неточности могут приводить к непредвиденным последствиям, внедрение в ТЭО данных программ поможет снизить количество ошибок.

Программа оценки экономических потерь от рисков событий при разработке двигателя СПС. Данная программа предназначена для оценки экономических потерь при разработке двигателя СПС. Она позволяет учесть, как обособленное влияние различных рисков на стоимость разработки двигателя, так и совокупное воздействие. Программа решает следующие задачи:

- сбор и систематизация информации о рисках разработки двигателя СПС;
- ранжирование рисков по степени негативного влияния на разработку изделия и определение пула наиболее опасных из них;
- стоимостная оценка последствий от реализации наиболее опасных рисков.

Основными источником данных являются оценки экспертов, которые определяют степень «опасности» каждого риска. На рис. 1 представлена первая вкладка программы «Идентификация и качественная оценка», позволяющая идентифицировать и проранжировать риски по степени их влияния на разные факторы, влияющие на разработку двигателя. На рис. 2 показана карта рисков, которая позволяет визуально оценить уровень «опасности» каждого риска.

Для того чтобы процесс был более точным и меньше зависел от субъективного мнения каждого из экспертов, необходимо добавить алгоритм принятия решений. В рамках этой работы было проведено исследование методов принятия решений и был выбран наиболее подходящий под данную задачу — метод аналитических сетей (МАС), структурная схема которого представлена

на рис. 3. Он наиболее точно отражает влияние факторов и последствий на совокупный риск за счет добавления обратных связей [3–5]. С помощью алгоритма, в основе которого лежит МАС, может быть получена денежная оценка тяжести совокупного и каждого вида потерь (минимальных, низких, средних, высоких, максимальных). Интерфейс вывода результатов представлен на рис. 4, 5. На основании этих данных можно будет оценить перспективы создания АД [6–8].

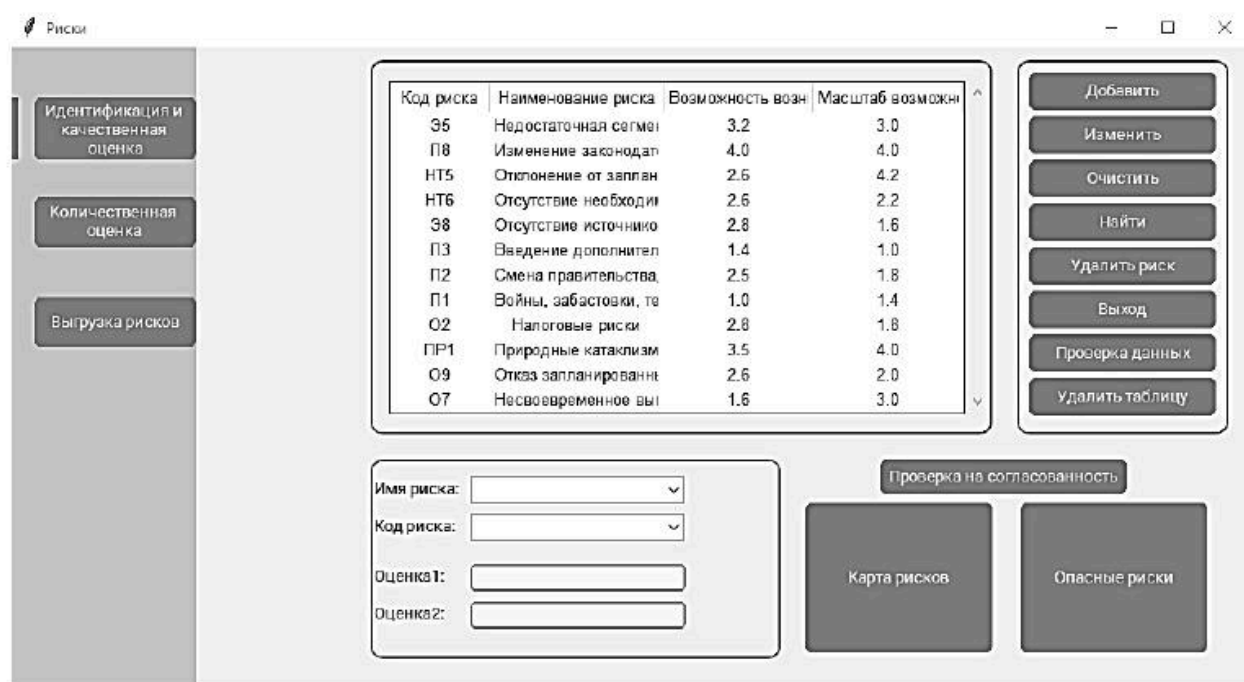


Рис. 1. Интерфейс начального окна программы

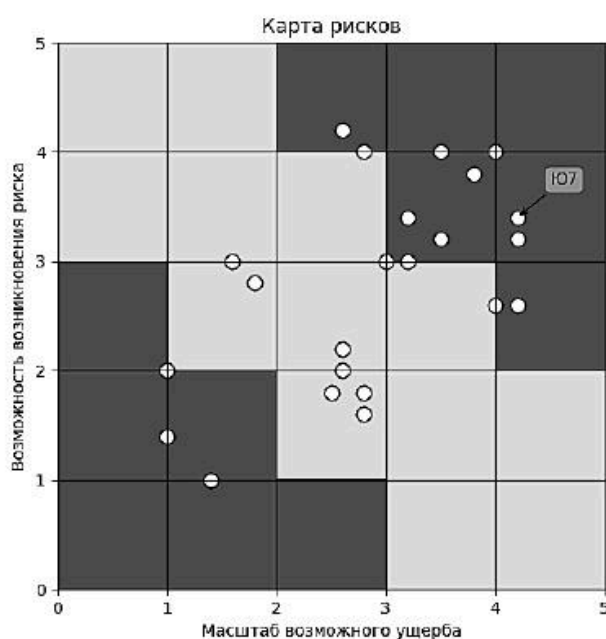


Рис. 2. Карта рисков

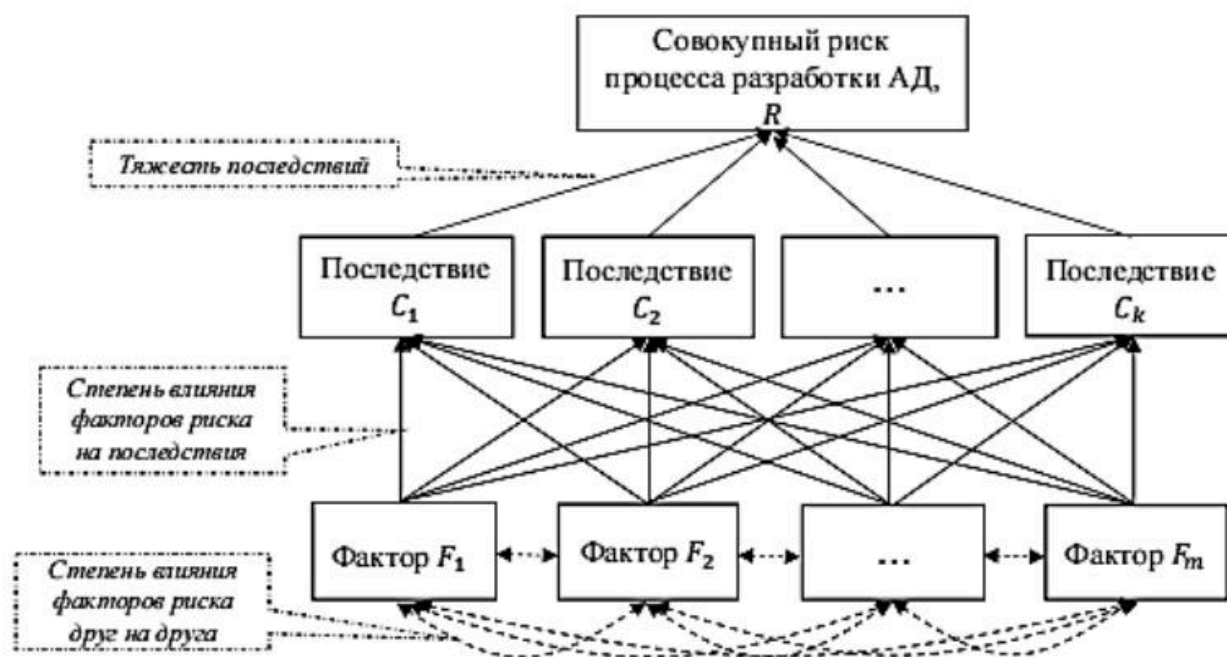


Рис. 3. Схема MAC

Риски

Идентификация и качественная оценка

Количественная оценка

Выгрузка рисков

Стоимость разработки авиационного двигателя, тыс:

Оценка тяжести 'минимальных' потерь:

Оценка тяжести 'низких' потерь:

Оценка тяжести 'средних' потерь:

Оценка тяжести 'высоких' потерь:

Оценка тяжести 'максимальных' потерь:

Вычислить

Оценка совокупного уровня ожидаемых потерь процесса разработки авиационного двигателя:

Вычислить

Выгрузка оценок

Рис. 4. Вкладка «Количественная оценка»

Рис. 5. Необходимые данные для расчета

Программа для анализа зависимостей удельных показателей стоимости авиационных ГТД от их размерности. Программа предназначена для моделирования и приближенной количественной оценки уровня технико-экономического совершенства АД на базе удельной стоимости его часа работы (УСТЧ). На основе пользовательских данных, предъявляемых к авиадвигателям, программа позволяет отразить:

- затраты на приобретение двигателей, зависящие от их цены и назначенного ресурса;
- затраты на ремонт двигателей, зависящие от цены ремонта и средней наработки на сьем двигателя для ремонта из-за отказов или исчерпания межремонтных ресурсов;
- анализ влияния показателей надежности для расчета величин прямых эксплуатационных расходов;
- топливную экономичность.

Для работы программы нужно ввести исходные данные для анализа. Таковыми являются, к примеру: цена двигателя, цена топлива, число АД на летательном аппарате, тяга АД. Окна ввода представлены на рис. 6–7.

В результате расчетов можно получить как итоговые количественные значения, так и представленные в виде графиков и таблиц результаты (рис. 8, 9). На основании этих результатов экспертами делается прогноз и дается рекомендация о продолжении или прекращении проектирования.

Анализ зависимостей

I. Влияние надежности

Доллары

Цена двигателя, тыс. долл. Цена топлива, тыс. долл. Цена горюч. части, тыс. долл. Ресурс планера, час $t_{об}$ Среднегодовой налет, час

Паре ЛА, шт. Число АД на ЛА, шт. Среднечас. затраты, долл/час Среднечас. расход, кг/час Тяга АД на крейсерском, тс Удельная масса, т/тс Тип самолета

Начальные значения

Анализ влияния ресурса и надежности Анализ влияния цены и топливной экономичности

Общие таблицы Процентные таблицы

Рис. 6. Основное окно программы

Окно заполнения начальными данными

Влияние ресурса и надежности АД. Необходимо заполнить данными только первую строку и столбец.

	1	2	3	4	5
1	Назрес\ТДСД				
2					
3					
4					
5					

Добавить строку

Удалить строку

Добавить столбец

Удалить столбец

Предыдущая таблица Следующая таблица

Проверить Сохранить и выйти

Рис. 7. Окно для заполнения исходных данных

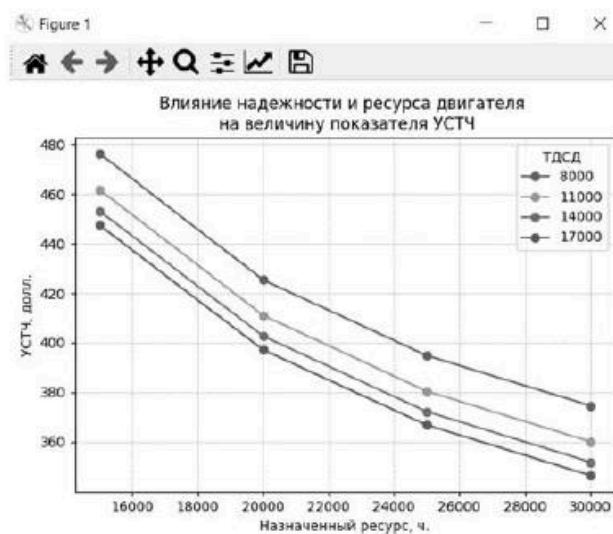


Рис. 8. Пример графически представленных данных (ТДСД — стоимость на сьем двигателя)

Таблицы

Таблица влияния ресурса и надежности АД, таблица влияния цены и топливной экономичности АД

Tab 1 Tab 2

	8000	11000	14000	17000	Ремонт
15000	476.29267863468743	461.7483505774638	453.14182031829824	447.3910185527629	5000
20000	425.36029554992916	411.0397308736904	402.68696115729045	397.1365246830654	6666
25000	394.8459241378586	380.48357357680277	372.2441020052156	366.81626983563706	8333
30000	374.66563097069246	360.10484605907914	351.88135657191305	346.5173666190226	10000

Выгрузка в Excel

Рис. 9. Пример табличных выходных данных

Заключение. Автоматизация ТЭО откроет возможности для более комфортного и быстрого расчета и прогнозирования. Это поможет компаниям, участвующим в процессе разработки АД, точно и с меньшим количеством временных затрат оценивать перспективность новых проектов, позволит более гибко обрабатывать и применять данные. В ходе реализации проекта был проведен анализ научной литературы по заданной тематике, определены и обоснованы методы, положенные в основу программных решений, выполнены расчеты ключевых параметров, а также произведен отбор входных данных. На основании научной работы были разработаны и внедрены две автоматизации. Также получены свидетельства о регистрации данных программных решений. На этом работа не заканчивается, в перспективе планируется объединить все разработки в единый программный комплекс.

Литература

- [1] Валиханова М.К. Технологии и автоматизация в управлении. *Экономика и социум*, 2025, № 3–1 (130), с. 589–592.
- [2] Калаков А.Р., Чебенева О.Е. Цифровизация и автоматизация бизнес-процессов в проектной деятельности. *Экономика и бизнес: теория и практика*, 2025, № 1–1 (119), с. 138–142.
- [3] Картвелишвили В.М., Свиридова О.А. *Риск-менеджмент. Методы оценки риска*. Москва, РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2017, 121 с.

- [4] Оздоева Э.А. *Формирование механизма оценки рисков при управлении разработкой авиационных двигателей*. Дис. ... канд. экон. наук. Москва, 2022, 200 с.
- [5] Сидняев Н.И. Перспективы развития современных сверхзвуковых пассажирских самолетов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2023, № 1 (133), с. 1–31. <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2023-1-2243>
- [6] Костикова А.В., Кузнецов С.Ю., Терелянский П.В. Применение теории нечетких множеств в задаче оценки конкурентоспособности продукции. *E-Management*, 2023, № 2, с. 37–48.
- [7] Саати Т.Л. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети*. Москва, ЛКИ, 2008, 360 с.
- [8] Tkinter: *создание графического интерфейса на Python*. URL: <https://metanit.com/python/tkinter> (дата обращения 01.05.2025).

Automation of the process of feasibility study of promising aircraft engine projects

Baranov Anton Sergeevich

Kuzmina Inna Anatolievna (*scientific advisor*)

BMSTU, Moscow, Russia

The development of new aircraft engines for various aircraft is a complex and multi—step process, including the analysis of technical characteristics, economic indicators and operational factors. At the stage of the feasibility study, it is necessary to quickly assess the viability of the project, identify key technical and economic risks, and predict the commercial effectiveness of future high-tech products.

Keywords: automation, technical and economic analysis, aircraft engine, development