

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

**Правидло М.Н., Прокудин С.В.\***

*ГосМКБ «Вымпел» им. И.И. Торопова,  
Волоколамское шоссе, 90, Москва, 125424, Россия*

*\* e-mail: Prokudin810@mail.ru*

Приводится методика расчета экономического эффекта при использовании нового компьютерного оборудования (компактной супер-ЭВМ) для расчета аэродинамических характеристик беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Наглядно проиллюстрировано, что проведение компьютерных (расчетных) экспериментов резко уменьшает объем реальных испытаний в аэродинамической трубе (АДТ). По экспертной оценке зарубежных разработчиков, в зависимости от режимов полета и конфигураций, на которых определяются аэродинамические характеристики изделия, сокращение затрат на АДТ составляет пять раз и более. При этом сокращение объема испытаний в АДТ не приводит к потере потребного для качественного проектирования изделий объема информации. В статье рассматриваются результаты осуществленной и обоснованной авторами оценки экономической эффективности, которые убедительно свидетельствуют в пользу компьютерного моделирования.

*Ключевые слова:* затраты, экономическая эффективность, компьютерное моделирование, аэродинамическая труба.

### Введение

До настоящего времени проведение испытаний в аэродинамических трубах беспилотных летательных аппаратов остается одним из основных методов определения их аэродинамических характеристик. Существенным недостатком этого метода является его высокая затратность. В качестве иллюстрации этого утверждения в табл. 1 показаны относительные денежные затраты на трубные испытания изделий под условными номерами №1...№7, проведенные на протяжении нескольких лет.

В табл. 1 они представлены в хронологическом порядке. Количество испытаний и затраты на испытания приводятся в относительных величинах, т.е. приведенных к изделию №1 как к самому раннему из разработанных.

Резкое уменьшение объема трубных испытаний последних лет, начиная с изделия №3, объясняется усложнением экономической ситуации в авиационной отрасли. Как следствие, изделия разрабатываются в условиях отсутствия в достаточном объеме априорной информации об их аэродинамических характеристиках. Это обстоятельство неоднократно являлось причиной нештатной работы изделий в процессе проведения летных испытаний. Для нахождения технических решений, устраняющих выявленные недостатки при летной отработке изделий, требовалось проведение дополнительных испытаний в АДТ и изготовление дополнительных образцов изделий для подтверждения эффективности этих решений в летных экспериментах. В результате экономия на объеме трубных испытаний практически сводилась на нет затратами на дополнительные летные эксперименты.

С целью существенного сокращения затрат на проведение испытаний моделей БПЛА в аэродинамической трубе признано целесообразным внедрение на предприятиях-разработчиках перспективных

*Таблица 1*

**Затраты на проведение испытаний в АДТ**

Изделие	Количество испытаний	Затраты
№1	1	1
№2	0,73	0,64
№3	0,03	0,36
№4	0,003	0,035
№5	0,002	0,035
№6	0,006	0,07
	0,011	0,142
№7	0,016	0,214

образцов новой вычислительной техники: компьютерного оборудования на основе отечественных базовых программных обеспечений и компактной супер-ЭВМ типа КС-ЭВМ. Ожидаемым результатом апробации и внедрения данной системы должно являться:

- повышение качества проектно-конструкторских работ;
- сокращение сроков разработки изделий;
- сокращение затрат на проведение испытаний моделей изделий;
- уменьшение технического риска при рассмотрении новых конструкторских решений;
- реализация процесса поиска оптимальной конструкции путем сравнения различных вариантов ее исполнения;
- снижение затрат на создание новых конкурентных образцов авиационной техники;
- рассмотрение отклонений серийного производства на единой модели;
- повышение уровня подготовки и заинтересованности молодых специалистов.

Применение расчетных методов определения аэродинамических характеристик изделий на основе суперкомпьютерной технологии (без потери потребного для качественного проектирования изделий объема информации) существенно сокращает

затраты (на создание образцов носителя), на которых определяются аэродинамические характеристики изделия, приводит к сокращению затрат на АДТ-испытания в пять раз и более. Нижеприведенные экономические расчеты по представленной методике также свидетельствуют в пользу компьютерного моделирования.

#### Расчеты по оценке экономической эффективности компьютерного моделирования

Для оценки суммы необходимых затрат и расчета экономического эффекта от научно-исследовательских работ (НИР) по разработке вычислительного кластера для численного исследования аэродинамических характеристик БПЛА ниже приведена методика расчета экономической составляющей производственного процесса. Как показала практика, эта методика может быть успешно применена и для экономической оценки указанной НИР, проводимой с 2013 по 2015 г.

Для оценки денежных затрат на проведение компьютерного моделирования на супер-ЭВМ предлагается графическое распределение затрат, которое наглядно показывает долевое участие необходимых выплат по соответствующим статьям расходов на проведение НИР по численному исследованию аэродинамических характеристик БПЛА (рис. 1).

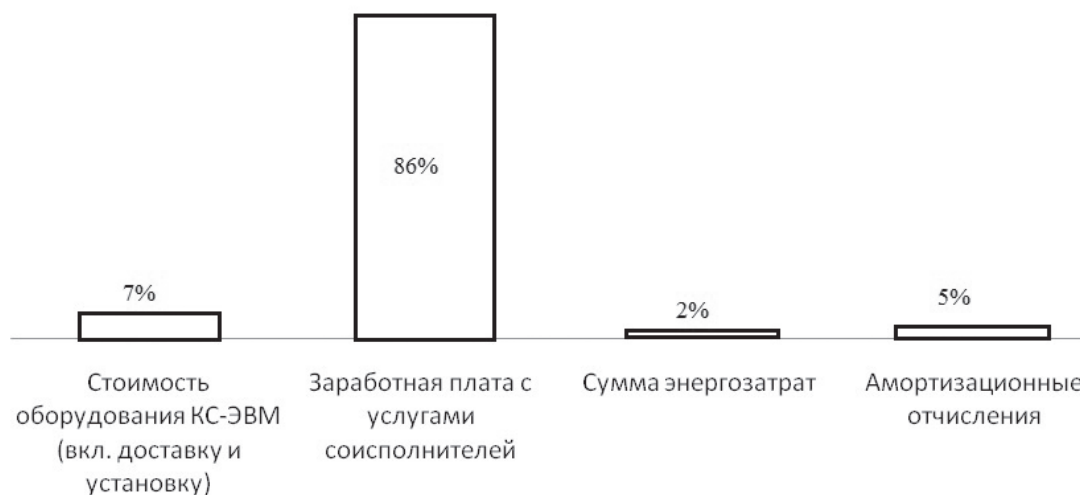


Рис. 1. Графическое распределение денежных затрат на проведение НИР

объем трубных испытаний, поскольку при этом необходимо экспериментально подтверждать только ограниченное число контрольных точек.

По экспертной оценке и на основании опыта зарубежных разработчиков (США, Англия, Франция, Германия, Израиль) применение расчетных методов в зависимости от режимов полета и конфигураций (изолированное изделие или в присут-

ствии носителя), на которых определяются аэродинамические характеристики изделия, приводит к сокращению затрат на АДТ-испытания в пять раз и более. Нижеприведенные экономические расчеты по представленной методике также свидетельствуют в пользу компьютерного моделирования.

Приведенные ниже расчеты позволяют оценить в денежном выражении долю энергозатрат.

Расчет энергозатрат производился по [1]:

$$Z_{эi} = \sum_1^n Q_{эi} \cdot C_э, \quad (1)$$

где  $Q_{эi}$  — количество электроэнергии, потребляемой  $i$ -м оборудованием в год, кВт;  $C_э$  — стоимость 1 кВт.

Количество электроэнергии потребляемой оборудованием  $Q_{эi}$ , рассчитывается по формуле [2]

$$Q_{эi} = N_i T_i n_i K_{эКВ}, \quad (2)$$

где  $N_i$  — мощность используемого  $i$ -го оборудования, кВт;  $T_i$  — длительность расчетного периода, ч;  $n_i$  — количество оборудования, шт (единиц);  $K_{эКВ}$  — коэффициент использования по мощности оборудования, кВт (в среднем  $K_{эКВ} = 0,85$ ).

Длительность работы оборудования определяется по формуле [2]

$$T_i = T_{см} d D_p, \quad (3)$$

где  $T_{см}$  — длительность смены (рабочего дня), ч;  $d$  — количество смен;  $D_p$  — количество дней работы  $i$ -го оборудования.

Годовой экономический эффект определяется по нижеследующей формуле [2]:

$$\Delta Z = Z_1 - Z_2, \quad (4)$$

где  $Z_1$  — затраты до внедрения нового оборудования;  $Z_2$  — затраты после внедрения нового оборудования.

По результатам проводимой в период с 2012 г. по 2017 г. НИР значения затрат на электроэнергию рассчитывались исходя из годового потребления электроэнергии компьютерным оборудованием (КС-ЭВМ), которое согласно (2) составляет

$$Q_{эi} = 3 \cdot 988 \cdot 1 \cdot 0,85 = 2\,519,4 \text{ кВт/год.}$$

Здесь  $N_i = 3$  кВт;  $T_i = 988$  ч;  $K_{эКВ} = 0,85$ .

При расчете величины  $T_i$  принимались следующие значения входящих в (3) величин:  $T_{см} = 4$  ч;  $d = 1$ ;  $D_p = 247$ .

При этом согласно (1) и с учетом:

— затрат на электроэнергию исходя из стоимости 6 руб./кВт в 2015 году;

— 247 рабочих дней в году,

величина  $Z_{эi}$  составляет

$$Z_{эi} = 2\,519,4 \cdot 6 = 15\,116,40 \text{ руб.}$$

Из приведенного расчета следует, что годовые затраты на электроэнергию в 2015 году составят 15 116,40 руб.

За 2012—2014 годах сумма затрат на электроэнергию составила 24 949,61 руб. Расчет производился исходя из средних стоимостей тарифов за электроэнергию. За 2012 год средний тариф 1 кВт — 3 руб.; за 2013 год — 4,003 руб.; за 2014 год — 4,4 руб.

Соответственно, подставив значения в (1) по годам, получим:

2012 год —  $1\,259,7 \cdot 3,0 = 3\,779,10$  руб (компактная супер-ЭВМ была введена в эксплуатацию с сентября 2012 года);

2013 год —  $2\,519,4 \cdot 4,003 = 10\,085,15$  руб;

2014 год —  $2\,519,4 \cdot 4,4 = 11\,085,36$  руб.

Сумма энергозатрат с 2012 по 2015 год составит 40 066,01 руб.

На перспективные годы при пересчете стоимости 1 кВт учитывается дефлирующий множитель (дефлятор), который будет составлять в 2016 году 6,5%; в 2017 году — 4,5%.

С учетом дефлятора, стоимость 1 кВт в перспективные годы составит:

в 2016 году  $6 \cdot 1,065 = 6,39$  руб;

в 2017 году  $6,39 \cdot 1,045 = 6,68$  руб.

Сумма энергозатрат на перспективные годы:

2016 год —  $2\,519,4 \cdot 6,39 = 16\,098,97$  руб.

2017 год —  $2\,519,4 \cdot 6,68 = 16\,829,59$  руб.

Общая сумма энергозатрат с 2012 по 2017 год составит 72 994,57 руб.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по [2]:

$$A_{гi} = \Phi_{перв} \frac{N_a}{100}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{перв}$  — балансовая стоимость  $i$ -го оборудования, руб;  $N_a$  — годовая норма амортизации.

Срок полезного использования компьютерного оборудования принимается равным трем годам (в октябре 2012 года оборудование было поставлено на учет). Результаты вычислений по формуле (4) приведены в табл. 2.

Сумма затрат на выполнение проекта, связанного с приобретением супер-ЭВМ, включая энергозатраты и амортизационные отчисления с 2012 по 2017 год, составит 29 505 000 руб.

Перспективный объем продувок моделей изделий в АДТ на 2016 и 2017 годы определяется исходя из 100 штук в год каждого изделия на общую сумму 35 млн руб. Причем стоимость такой одной продувки составляет 300—350 тыс. руб. в зависимости от диаметра АДТ. Перспективный план продувок изделий № 8 и №9 приведен в табл. 3 (из расчета средней цены в 2015 году — 325 тыс. руб за одну продувку в АДТ).

Таблица 2

Расчет амортизационных отчислений

Первоначальная стоимость КС-ЭВМ, руб.	$H_a$ за год, %	Годы			
		2012	2013	2014	2015
1 243 785,40	33,3	103 496,61	413 986,44	413 986,44	310 489,13
За три года амортизация составит: 1 243 785,50 руб.					

Таблица 3

Перспективный план продувок изделий №8 и №9 в АДТ

№ п/п	Изделие, №	Количество расчетов, проводимых на супер-ЭВМ, шт.		Стоимость продувок в АДТ ЦАГИ	
		Год		За одну продувку, тыс. руб	За весь объем, тыс. руб
		2016	2017		
1	8	100		325	32 500
2	9		100	325	32 500
ВСЕГО		200		650	65 000

Как видно из табл. 3, в ближайшей перспективе будет затрачено еще 65 млн руб на проведение продувок в АДТ.

Принимая во внимание:

- стоимость продувок в АДТ 65 000 000 руб за два года из расчета 200 штук;
- снижение затрат на испытания в АДТ на 90% за счет введения компьютерного моделирования. Следует отметить, что оставшиеся 10% испытаний в АДТ необходимы для верификации методики и математической модели расчета аэродинамических процессов.

Подставив значения из табл. 3 в (4), получим

$$\Delta Z = 65\,000\,000 - 36\,005\,078,46 = 28\,994\,921,54 \text{ руб.}$$

Таким образом экономия на затратах составит 28 994 921 руб., что весьма существенно. Поэтому целесообразней сократить объем проведения экспериментов в АДТ, перейдя на компьютерное моделирование.

Срок окупаемости будет рассчитываться исходя из запланированного объема испытаний в АДТ, который составляет 100 штук в год, и стоимости 325 тыс. руб за одну продувку.

Срок окупаемости проекта рассчитывается по формуле [2]

$$PP = l_0 / P, \tag{6}$$

где  $l_0$  — размер затрат на реализацию проекта;  
P — стоимость продувок.

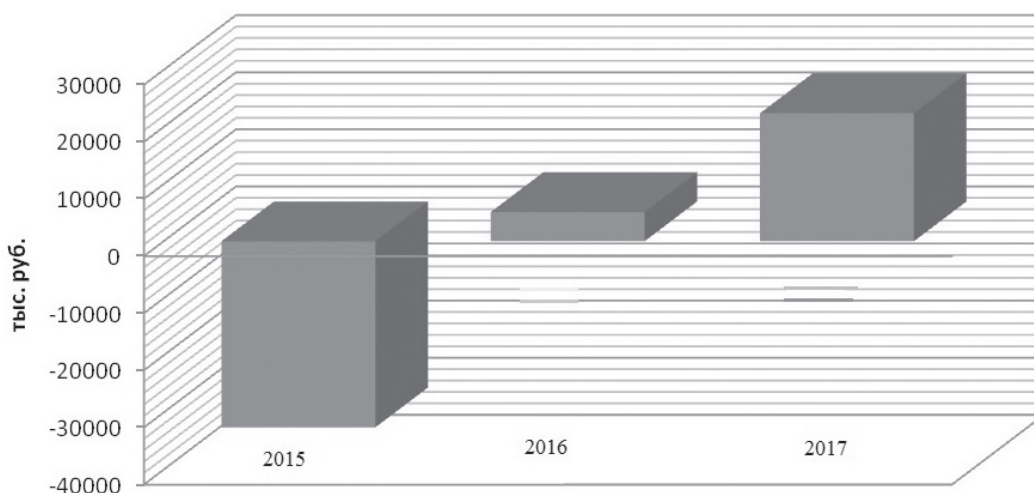


Рис. 2. Окупаемость компьютерного комплекса

Подставив числовые значения, получим

$$PP = 36005079,46/32500000.$$

Из расчета следует, что такой проект полностью себя оправдывает за 1,1 года, при условии сохраняющегося объема проведения испытаний.

Для наглядности на рис. 2 представлена диаграмма окупаемости компьютерного комплекса.

Как видно из приведенной диаграммы, затраты на компьютерный комплекс КС-ЭВМ весьма значительны. Но если учесть то обстоятельство, что существенно дешевле эксперименты проводить расчетным способом с применением компьютерного моделирования, то затраты не так велики (по сравнению с затратами на проведение испытаний в АДТ).

### Выводы

1. Как показали результаты расчета экономического эффекта по выбранной методике, затраты на приобретение нового суперкомпьютера КС-ЭВМ,

а также затраты на проведение компьютерного моделирования довольно значительны, но становятся оправданными, если сравнить их с объемами продувок в АДТ и связанными с этим денежными затратами.

2. Компьютерный комплекс полностью себя оправдывает за 1,1 года при условии сохранения перспективного объема расчетных продувок (сто изделий в год).

### Библиографический список

1. Еленева Ю.А., Зуева Т.С., Корниенко А.А. и др. Экономика и управление предприятием / Под ред. Ю.М. Соломенцева. — М.: ИЦ МГТУ «СТАНКИН», «ЯНУС-К», 2003. — 518 с.
2. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: «МарТ», 2004. — 608 с.
3. Даненко А.И., Ковтун С.А., Обносков Б.В., Прavidло М.Н. и др. Техничко-экономические методы проектирования пусковых установок ракетного вооружения самолетов. — М.: Изд-во МАИ, 2012. — 184 с.

## ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFECT AT MATHEMATICAL MODELING OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS

Pravidlo M.N., Prokudin S.V.\*

State Machine Building Design Bureau «Vympel» by name I.I. Toropov,  
90, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125424, Russia

\* e-mail: Prokudin810@mail.ru

### Abstract

The paper presents the method for economic effect estimation when using new computer hardware (compact super computer) to calculate aerodynamic performance of unmanned aerial vehicles (UAV). It vividly illustrates that computer-aided experiments (calculations) reduce drastically the amount of testing carried out in wind tunnel. By expert estimation of foreign specialists (USA, Great Britain, France, Germany, Israel), depending on flight mode and UAV configurations for which the aerodynamic performance is determined, the wind tunnel tests cost reduction is five times less and even more. In this case, the reduction of tube testing herewith does not lead to loss of volume of information, necessary for high-quality design.

The paper presents the method for calculation of manufacturing process economic component to estimate

the aggregate of required expenses and economic effect analysis of a research work on computation cluster design for numerical study of aerodynamic performance. As practice revealed, this method can be successfully applied for economic appraisal of the abovementioned research work conducted in 2013-2015.

As the results of the selected method for economic effect calculation revealed, the expenditures connected with acquisition of a new compact super computer as well as carrying out mathematical modeling are rather significant. But they become justified compared to the number of blowing-downs in a wind tunnel and related explicit costs.

For example, with six testing blow-downs in wind tunnel the expenses are equivalent to the cost of new equipment. Moreover, when the number of estimated

six blow-downs is exceeded, the results of comparison show that compact super computer zone of effectiveness comes.

**Keywords:** expenses, economic effect, computer modeling, wind tunnel.

### References

1. Eleneva Yu.A., Zyeva T.S., Kornienko A.A. *Economika i upravlenie predpriyatiem* (Economics and business management), Moscow, Janus-K, 2003, 518 p.
2. Shepelenko G.I. *Economika, organizatsiya i planirovanie proizvodstva na predpriyatii* (Economics, organization and planning of production at the enterprise), Rostov-on-Don, MarT, 2004, 608 p.
3. Danenco A.I., Kovtun S.A., Obnosov B.V., Pravidlo M.N. *Tekhniko-economicheknie metody proektirovaniya puskovykh ustanovoc racetnogo vooruzheniya samoletov* (Technical and economic methods of launchers for aircraft missile armament design), Moscow, MAI, 2012, 184 p.