УДК 621.002.56

А. П. АЛПАТОВ, В. Т. МАРЧЕНКО, Н. П. САЗИНА, П. П. ХОРОЛЬСКИЙ

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТОВ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ОБРАЗЦОВ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Цель работы заключается в формировании теоретической базы для разработки методики оценки эффективности проектов создания космических систем двойного назначения. Приведен методологический подход к проведению технико-экономического обоснования научно-технических проектов по созданию новых образцов космических систем двойного применения: сформирован комплексный критерий оценки эффективности, описан концептуальный подход к оценке уровня риска реализации проекта, приведен укрупненный алгоритм расчета ожидаемых показателей эффективности. Описанный в данной работе методологический подход был использован при финансово-экономическом обосновании Концепции реализации государственной политики Украины в сфере космической деятельности на период до 2032 года и Общегосударственной целевой научно-технической космической программы Украины на 2013 – 2017 годы.

Мета роботи полягає у формуванні теоретичної бази для створення методики оцінки ефективності проектів створення космічних систем подвійного призначення. Наведено методологічний підхід до проведення техніко-економічного обґрунтування науково-технічних проектів зі створення нових зразків космічних систем подвійного застосування: сформовано комплексний критерій оцінки ефективності, описано концептуальний підхід до оцінки рівня ризику реалізації проекту, наведено укрупнений алгоритм розрахунку очікуваних показників ефективності. Описаний в даній роботі методологічний підхід був використаний при фінансово-економічному обґрунтуванні Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року і Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013 – 2017 роки.

The work aim is to provide a theoretical foundation for developing a procedure of the estimation of efficiency for space dual-use systems projects. The methodological approach to the feasibility study of scientific and technical projects for new space dual-use space systems is presented: a comprehensive criterion of the estimation of efficiency is formed, a conceptual approach to assessing the risk level for implementing the project is described, an enlarged algorithm for calculating the expected efficiency factors is presented. The considered methodological approach has been used for the financial and economic feasibility of the Concept of the Ukraine's State Space Policy for the period to 2032 and the Ukraine's State Target-Oriented Scientific and Technology Space Program for 2013-2017.

Ключевые слова: *критерии эффективности проектов, технико-экономическое обоснование, космические системы.*

Задача повышения уровня качества расчетов ожидаемых технико-экономических показателей проектов по созданию новых образцов космической техники на сегодня по-прежнему остается актуальной, особенно в условиях коммерциализации космической деятельности.

Важность решения этой задачи заключается в том, что на основе результатов расчета ожидаемых технико-экономических показателей (ТЭП) принимается решение о выделении финансирования на реализацию предложенного научно-технического проекта. Допущенные в процессе проведения технико-экономического обоснования ошибки или недостаточная полнота учета различного рода возможных негативных факторов могут привести в будущем к значительным экономическим потерям.

Задача расчета ожидаемых ТЭП, адекватных будущей действительности, является очень сложной по следующим причинам.

1) В качестве исходных данных при проведении расчетов ТЭП используются прогнозные значения параметров, характеризующих состояние внешней (по отношению к будущей технической системе) среды, описание которых невозможно провести даже вероятностными методами, т. е. имеет место высокий уровень неопределенности исходных данных.

2) Ожидаемые экономические показатели проекта являются нелинейными функциями технических и надежностных характеристик будущей системы или изделия. Кроме того, в структуре этих функций содержатся параметры, которые могут быть определены на основе статистической информации. Для новых изделий необходимая статистическая информация практически отсутствует. Она имеется лишь в случае модернизации уже существующих систем или изделий.

3) Современные космические системы и изделия являются объектами двойного применения (используются как для решения задач хозяйственной деятельности, так и для решения задач национальной безопасности и обороны).

4) Относительно большая длительность жизненного цикла космической техники (КТ):

– для космических систем (КС) – 12 – 15 лет, из них опытно-конструкторская работа (ОКР) составляет, как правило, 3 – 5 лет;

– для космических ракетных комплексов (КРК) – 25 – 30 лет, из них ОКР составляет – 5 – 8 лет.

5) На сегодня для космических систем двойного применения еще не сформирована не только методическая, но даже общепринятая критериальная база проведения расчетов эффективности использования таких систем.

1. Критериальная база оценки эффективности применения космической техники

Критериальная база для оценки эффективности технических проектов должна представлять собой комплексный критерий и систему показателей эффективности.

Суть комплексности заключается прежде всего в том, что в критерии эффективности должны содержаться как результативно-целевые, так и доходно-затратные показатели эффективности.

Для технических проектов гражданского применения на сегодня сформировалась общепринятая система показателей эффективности:

– чистый дисконтированный доход $ЧДД = \sum_{t=1}^{T} \frac{Д(t) - З(t)}{(1+\delta)^t}$,

– индекс доходности $I_Д = \frac{ЧДД}{ДЗ}$,

– период окупаемости $T_{ок}$ определяется из соотношения $З(T_{ок}) = \sum_{t=1}^{T_{ок}} Д(t)$,

– внутренняя норма доходности $ВНД$ определяется из уравнения

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{ДДС}{(1+ВНД)^t} = 0,$$

где: t – год реализации проекта; T – продолжительность реализации проекта; $Д(t)$ – доходы от реализации проекта за год; $З(t)$ – затраты на реализацию проекта за год; δ – норма дисконта; $ДЗ$ – дисконтированные затраты; $З(T_{ок})$ – суммарные дисконтированные затраты по проекту; n – период дисконтирования; $ДДС$ – дисконтированный поток денежных средств.

В качестве критерия эффективности для проектов гражданского применения используют, как правило, индекс доходности либо срок окупаемости при переводе остальных показателей в ограничения.

Для технических проектов чисто оборонного применения в качестве критерия эффективности используется, как правило, величина затрат на выполнение целевой задачи (Z_{CZ}) при уровне надежности выполнения целевой задачи (μ_{CZ}) не ниже заданного

$$Z_{CZ} = f(T_p, E_p, \mu_{CZ}) \to \min, \ \ \mu_{CZ} \geq b, \ \ k_{TU} \geq c.$$

В качестве критерия эффективности реже используется максимальный уровень надежности выполнения целевой задачи при затратах не выше заданной величины

$$\mu_{CZ} = f(T_p, E_p) \to \max, \quad Z_{CZ} \leq Z_o, \quad k_{TU} \geq c,$$

где Z_{CZ} – величина затрат на выполнение целевой задачи; T_p, E_p – соответственно система тактико-технических и эксплуатационных параметров технической системы военного назначения; μ_{CZ} – вероятность (надежность) выполнения целевой задачи; b – нижняя граница допустимого уровня надежности выполнения целевой задачи; Z_o – верхняя граница допустимых затрат на выполнение целевой задачи; k_{TU} – технический уровень создаваемой технической системы; c – нижняя граница значения показателя технического уровня.

Приведенная ниже критериальная база для оценки эффективности ОКР космической техники сформирована на основе анализа существующих критериев и показателей эффективности с учетом особенностей космической техники и ее двойного применения.

В основу критериальной базы положены следующие показатели эффективности:

– коэффициент выгод-затрат (аналог индекса доходности для гражданских технических проектов);
– величина полученного полезного эффекта (сумма коммерческого эффекта и других полезных эффектов);
– коэффициент технической эффективности;
– индекс доходности (коммерческой);
– коэффициент целевой эффективности;
– степень риска реализации научно-технического проекта.

Комплексный критерий эффективности проектов создания КТ имеет вид:

$$KPE = \langle W, Z, T, R \rangle, \tag{1}$$

$$W = \langle W_1, W_2 \rangle, \ \ R = \langle R_1, R_2 \rangle, \ W_1 = \frac{ПЕ}{Z}, \ \ W_2 = k_{TE},$$

где W – эффективность; Z – затраты на реализацию проекта; T – продолжительность выполнения ОКР; R – степень риска при реализации проекта; R_1 – степень риска увеличения затрат на реализацию проекта; R_2 – степень риска снижения полезного эффекта; W_1 – соотношение величины ожидаемого полезного эффекта к величине затрат (аналог экономической эффективно-

сти в инвестиционных проектах гражданского назначения); $W_2 = k_{TE}$ – показатель технической эффективности, который определяет уровень конкурентоспособности и уровень совершенства новейшего образца или технологии; $ПЕ$ – полезный эффект.

С методической точки зрения проблемным является построение структуры и аналитических выражений для количественной оценки показателей W и R.

Приведенный ниже методологический подход к определению величин W и R сформирован на основе теоретических положений, приведенных в [6, 7].

Для крупномасштабных проектов государственного значения, таких как космические системы, космические ракетные комплексы и т. д., в зависимости от области применения полученных результатов, могут быть следующие виды полезных эффектов:

– прямой экономический или коммерческий эффект (E_E);

– непрямой (косвенный) экономический эффект ($E_{НЕ}$);

– технологический эффект (E_T);

– эффект в сфере национальной безопасности и обороны ($E_{НБО}$);

– социальный эффект (E_C);

– экологический эффект ($E_{ЕК}$);

– внешнеполитический эффект ($E_{ВП}$).

Полезный эффект удобно представить в виде кортежа:

$$ПЕ = \left\langle E_E, E_{НЕ}, E_{НБО}, E_T, E_C, E_{ЕК}, E_{ВП} \right\rangle .$$

Следует отметить, что методами прямого измерения может быть определен только коммерческий эффект.

Величина полезного эффекта от применения космических систем и космических ракетных комплексов в значительной степени определяется их основными техническими и эксплуатационными характеристиками $\{\tau_i\}$, условиями применения (UP), продолжительностью ОКР (T), продолжительностью жизненного цикла ($T_{ЖЦ}$) и техническим уровнем нового образца космической техники ($k_{ТУ}$)

$$ПЕ = F(\{\tau_i\}, UP, T, T_{ЖЦ}, k_{ТУ}) .$$

Прямой экономический эффект (E_E) является разницей между суммой полученного валового дохода (выручки) и суммой понесенных расходов в процессе создания и эксплуатации (использования) нового образца КТ. Прямой экономический эффект эквивалентен чистой прибыли, которая образуется в результате производства и реализации КТ на рынке космической продукции и услуг. Экономическое измерение этого эффекта обеспечивается методами бухгалтерского учета.

Непрямой экономический эффект ($E_{НЕ}$) является частью чистой прибыли, которая образуется за счет использования космических технологий в сферах хозяйственной деятельности, например: сельское и лесное хозяйство, геологоразведка, картография и т. д. Прямое экономическое измерение этого эффекта невозможно, но он может быть рассчитан с использованием имеющейся бухгалтерской и статистической информации. Таким образом обеспечивается экономическое измерение этого эффекта.

Эффект в сфере национальной безопасности и обороны ($E_{НБО}$) определяется:

– экономией государственных средств, необходимых для обеспечения современного уровня национальной безопасности и обороны, за счет использования космических технологий;

– величиной возможных дополнительных экономических выгод государства, которые могут быть получены за счет принятия государственных управленческих решений на основе достоверной космической информации;

– величиной снижения убытков государства от возможных техногенных и природных катаклизмов за счет широкого использования космической и навигационной информации.

Эффект $E_{НБО}$ не подлежит прямому измерению в денежных единицах, но может быть оценен в денежном выражении путем использования математических моделей, построенных на основе нечетких множеств и нечеткой логики. По состоянию на сегодня ни один проект в области космической техники, кроме систем спутниковой связи, не является выгодным с коммерческой точки зрения. Несмотря на это, многие страны активно развивают или пытаются создать собственный национальный ракетно-космический потенциал. Следует отметить, что для проектов КТ коммерческая составляющая является лишь попыткой удешевить разработку, производство и эксплуатацию новых образцов космической техники в интересах национальной безопасности и обороны.

Технологический эффект (E_T) определяется составом и характеристиками новых конструкций и технологий, которые будут созданы в процессе выполнения ОКР и могут быть использованы при изготовлении новых образцов КТ, а также за счет использования этих конструкций и технологий в других отраслях для производства продукции широкого потребления (трансфер новейших технологий). Этот эффект поддается измерению в денежных единицах, но значительно сложнее, чем измерение косвенного экономического эффекта.

Социальный эффект (E_C) определяется масштабом и продолжительностью производства, технической и технологической сложностью производства новых образцов КТ, ростом числа рабочих мест и реальной заработной платы. Оценка величины ожидаемого социального эффекта в денежном измерении в большинстве случаев возможна [4], но является очень сложной задачей. На основе приведенных экспертных оценок величина социального эффекта для проектов КТ имеет величину близкую к погрешности оценки полезного эффекта в сфере национальной безопасности и обороны и технологического эффекта. Исходя из этого, в процессе финансово-экономического обоснования проектов космической техники нецелесообразно проводить расчеты по оценке социального эффекта в денежном измерении.

Экологический эффект (E_{EK}) определяется технологическими и эксплуатационными характеристиками новых образцов, составом и величиной возможных выбросов в окружающую среду, потенциальным целевым доходом, обусловленным снижением величины экологического ущерба за счет оперативного выявления негативных изменений экологического состояния окружающей среды. Этот эффект поддается оценке в денежных единицах путем косвенных измерений.

Внешнеполитический эффект ($E_{ВП}$) определяется экономией государственных средств, необходимых для создания и поддержания геополитического имиджа страны, и возможными выгодами Украины в сфере международного сотрудничества в области будущего промышленного использования космоса. Эффект $E_{ВП}$, как и эффект $E_{НБО}$, не поддается прямому измерению в денежных единицах, но может быть оценен с использованием математических моделей на основе нечетких множеств и нечеткой логики.

Подтверждением возможности оценки в денежном измерении полезных эффектов, которые не могут быть определены с помощью прямых измерений, может служить оценка полезного эффекта от использования образцов КТ Европейским космическим агентством [1].

Для проектов по созданию КТ полезный эффект целесообразно разложить на три составные части: прямой экономический доход (в форме чистого дисконтированного дохода), непрямой доход (как оценка полученных страной и обществом косвенных экономических выгод), и другие дополнительные выгоды (трансфер новейших технологий, рост безопасности и обороны страны, рост политического веса на международном уровне и т. д.).

Исходя из общего комплексного критерия (1), для систем двойного назначения в качестве показателей эффективности целесообразно выбрать минимально допустимое и наиболее информативное множество технико-экономических параметров:

– коэффициент выгод-затрат $k_{ВЗ} = \dfrac{ЧДД + НД + ДВ}{ДСИ}$;

– приведенный индекс доходности $I_{ДП} = \dfrac{ЧДД}{ДСИ \cdot (1 - \eta_{НБО})}$;

– интегральный показатель технической эффективности $k_{TE} = \alpha_T \cdot k_{ТУ}$,

где $ЧДД$ – чистый дисконтированный доход; $НД$ – совокупность непрямых доходов, которые ожидаются от использования КРК и КС; $ДВ$ – дополнительные выгоды от использования космических технологий в сфере национальной безопасности и обороны, трансфера новейших технологий, повышения политического веса страны на международном уровне и т. д.; $ДСИ$ – дисконтированная стоимость инвестиций; $\eta_{НБО}$ – удельный вес использования технического ресурса КРК и КС в интересах национальной безопасности и обороны; α_T – статистический коэффициент пропорциональности; $k_{ТУ}$ – показатель технического уровня для ракеты-носителя или космического аппарата по отношению к лучшим мировым образцам (характеризует совершенство образца и его потенциальную конкурентоспособность на мировом рынке).

В случае, когда параметр $\eta_{НБО} \approx 0$, комплексный критерий эффективности (1) трансформируется в критерий определения экономической эффективности ОКР гражданского назначения [2, 5, 8]. В случае когда $\eta_{НБО} \approx 1$, критерий эффективности (1) трансформируется в критерий целевой эффективности (вероятность выполнения целевой задачи).

2. Обобщенный подход к определению затрат на выполнение ОКР

Космические ракетные комплексы и космические системы являются уникальными сложными техническими системами и, как правило, для них не существует близких аналогов. По этой причине в основу модели расчета затрат на создание КТ положен метод покомпонентной (дифференциальной)

аналогии, потому что образцы КТ могут содержать в своем составе элементы (подсистемы, приборы, агрегаты, узлы), для которых есть аналоги. Известно, что любая сложная техническая система может быть представлена функционально-иерархической структурой (направленные древовидные графы), т. е. может быть дезагрегирована на составные части до любого уровня входящих в нее компонент. Дезагрегация (декомпозиция) позволяет всегда найти не менее одного изделия-аналога для соответствующих компонентов. Затраты на разработку и изготовление дезагрегированного изделия могут быть представлены суммой затрат на компоненты и системные расходы (на разработку проектной и конструкторской документации, сборку и испытания изделия), удельный вес которых в стоимости проекта известен. Метод покомпонентной аналогии позволяет провести наиболее полный и объективный учет факторов, которые влияют на величину затрат, при этом достигается наибольшая точность прогнозирования затрат на проект, который в дальнейшем представляется как опытно-конструкторская работа.

Данные по изделиям-аналогам подвергаются экспертной оценке на уровень достоверности. Кроме того, на экспертов возлагается задача формирования отсутствующих исходных данных, которые напрямую не влияют на значение показателей эффективности, а именно:

– определение диапазонов возможного изменения технических характеристик перспективных образцов КТ, при этом в качестве исходных данных используются результаты экстраполяции тенденций развития КТ;

– формирование данных для определения показателей технического уровня, новизны, технической и технологической сложности новых образцов;

– определение ожидаемой продолжительности выполнения ОКР и рациональной продолжительности эксплуатации новых изделий;

– приведение данных по зарубежным и отечественным изделиям-аналогам к экономическим и производственно-технологическим условиям Украины на момент проведения расчетов;

– формирование долгосрочного прогноза потребностей в космических средствах и услугах;

– формирование данных для проведения расчетов в случае, когда в основу разработки образцов КТ положены новые физические принципы;

– формирование данных для расчета потенциального полезного эффекта, который может быть получен в процессе применения (эксплуатации) образцов КТ;

– определение состава и основных технических характеристик критически важных технологий, разработка которых необходима для обеспечения развития космической техники и повышения ее конкурентоспособности на мировом рынке космических услуг и технологий.

По результатам работы экспертов формируется диапазон (нижняя и верхняя граница) возможного изменения входных данных, используемых в расчетах, и диапазон наиболее ожидаемых их значений.

Полученные экспертным путем данные и результаты аналитической обработки информации из Информационно-аналитической системы обеспечения маркетинговой деятельности на мировом рынке транспортно-космических услуг (разработана ИТМ НАНУ и ГКАУ по контракту с ГКАУ) используются для формирования математических моделей на основе нечетких множеств и нечеткой логики [3]. Эти модели используются для расчета показателей эффективности проектов, что дает возможность значительно снизить уровень неопределенности данных, используемых для расчета показателей эффективности проектов по созданию образцов КТ.

В основу расчета ожидаемых затрат положен принцип центрального элемента КРК и КС и метод покомпонентной аналогии. Суть принципа центрального элемента заключается в том, что из структуры КРК или КС выделяется одна или несколько составляющих компонент первого уровня, которые имеют наибольший удельный вес в величине общих затрат. Это позволяет проводить относительно детальный расчет только центральных элементов. Центральным элементом в КРК и КС является первый летный опытный образец: для КРК – ракета-носитель и базовые компоненты стартового комплекса, для КС – космический аппарат. Стоимость ОКР и распределение стоимости по этапам определяется на основе достаточно устойчивого для данного класса и типа КРК или КС процентного соотношения стоимости этапов ОКР к стоимости изготовления первого опытного образца. Опыт авторов по проведению финансово-экономических расчетов в сфере космической деятельности свидетельствует о том, что этот метод достаточно эффективен по соотношению: точность расчетов / затраты времени на их проведение.

Все показатели, используемые в расчетах ожидаемых затрат и выгод, приводятся к единой технико-экономической базе на момент проведения расчетов. Это позволяет обеспечить правомерное сопоставление прошлых и будущих затрат и экономических выгод без необходимости учета уровня инфляции и девальвации национальной валюты. Возможная будущая инфляция и девальвация национальной валюты учитываются при определении уровня риска проекта.

Общая упрощенная схема расчета ожидаемых затрат на выполнение ОКР нового образца и подготовку производства имеет вид:

$$Z_{ДЗн}(t_0) = Z_{ДЗа}(t_0) \cdot k_{ТС},$$

$$Z_н = Z_{ДЗн}(t_0) \cdot \left[f(k_н) \cdot (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 \cdot k_{ТС}) + 1 \right] + Z_{ПВн}(t_0),$$

$$Z_{ПВн}(t_0) = Z_{ПВа}(t_0) \cdot (q(k_{ТХС}) - 1),$$

$$k_{ТС} = \exp(\alpha \cdot f(k_н) \cdot k_{ТР}) \cdot \exp(\beta \cdot \frac{P_н - P_а}{1 - P_н}),$$

$$k_{ТР} = \prod_{i=1}^{I} (\frac{\tau_{нi}}{\tau_{аi}})^{\gamma_i}, \quad \sum_{i=1}^{I} \gamma_i = 1,$$

$$f(k_н) = q_1(\exp(q_2 \cdot k_н) - 1),$$

$$g(k_{ТХС}) = \exp \gamma \cdot (k_{ТХС} - 1),$$

где $Z_{ДЗн}(t_0)$ – ожидаемые затраты на изготовление нового опытного образца на момент времени выполнения расчетов t_0; $Z_{ДЗа}(t_0)$ – приведенные к экономическим условиям Украины на момент времени t_0 затраты на изготовление опытного образца изделия-аналога; $k_н$ – коэффициент новизны нового образца по отношению к изделию-аналогу, $k_н \in (0-1)$; $k_{ТР}$ – коэффициент относительного технического уровня нового образца по отношению к изделию-аналогу; $Z_н$ – ожидаемые расходы на выполнение ОКР нового образца; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты удельного веса стоимости этапов ОКР изделия-аналога; $k_{ТС}$ – коэффициент относительной технической сложности нового образца; $k_{ТХС}$ – коэффициент относительной технологической сложности нового образца; $Z_{ПВн}(t_0)$ – ожидаемые затраты на подготовку производства нового образца; $Z_{ПВа}(t_0)$ – расходы на подготовку производства аналога, приведенные к экономическим условиям

Украины на момент времени t_0; τ_{ni}, τ_{ai} – технические характеристики нового образца и аналога соответственно; γ_i – весовой коэффициент важности i-го показателя тактико-технических характеристик (ТТХ); $\alpha, \beta, q_1, q_2, \gamma$ – эмпирические коэффициенты, характерные для данного класса изделий КТ; $P_н$, P_a – уровни надежности нового образца и аналога соответственно.

Стоимость ОКР в основном определяется приведенной к экономическим условиям Украины стоимостью опытного образца изделия-аналога, техническими и технологическими параметрами, характеризующими отличие новой конструкции от изделия-аналога, такими как: уровень новизны ($k_н$), относительный технический уровень (k_{mp}), коэффициенты относительной технической и технологической сложности новой конструкции (k_{TC}, k_{TXC}).

Из практического опыта проектирования изделий космической техники установлено, что зависимость $Z_н = F(Z_a, k_н, k_{TP}, k_{TC}, k_{TXC})$ в общем случае имеет нелинейный характер, но при относительно небольших отличиях нового изделия от изделия-аналога прослеживается линейная зависимость.

Более детальное описание методического подхода к расчету ожидаемых затрат является предметом отдельной статьи.

3. Обобщенный подход к определению величины ожидаемого полезного эффекта

Как было показано выше, полезный эффект от применения изделий и систем космической техники имеет сложную структуру и включает прямой экономический (коммерческий) эффект, непрямой (косвенный) экономический эффект, эффект в сфере национальной безопасности и обороны, технический, социальный, экологический и внешнеполитический эффекты.

Методический подход к расчету ожидаемого коммерческого эффекта изложен во многих литературных источниках, например [2, 8]. Расчет ожидаемого непрямого экономического эффекта проводится по методической схеме, которая используется при расчете коммерческого эффекта с относительно небольшими изменениями в части определения удельного веса в общей прибыли предприятия (организации), полученной за счет применения космической техники.

Привести даже краткое описание методического подхода по определению величины ожидаемого полезного эффекта в сфере национальной безопасности и обороны, внешнеполитической и экологической сферах не представляется возможным в объеме данной статьи. Описание методического подхода к определению полезного эффекта в указанных сферах является предметом отдельных статей. Суть перечисленных выше полезных эффектов раскрыта в разделе 1.

4. Обобщенный подход к оценке рисков проектов по созданию новых образцов космической техники

Как показывает мировой опыт, ОКР по созданию образцов новейшей космической техники относятся к классу проектов с высоким риском. Нередки случаи, когда фактическая стоимость реализации этого класса проектов может превышать в 2 – 3 раза первоначальную стоимость, а полезный эффект может быть ниже в несколько раз от ожидаемой величины, которая была определена на предпроектной стадии и стадии эскизного проектирования.

Исходя из этого, для ОКР по созданию новейших образцов космической техники целесообразно определить два основных риска:

– риск увеличения затрат на реализацию проекта;

– риск уменьшения величины полезного эффекта вследствие возможного снижения фактического показателя технического уровня, увеличения срока выполнения ОКР, высокого уровня неопределенности статистических и прогнозных данных, которые используются при проведении расчетов величины полезного эффекта.

В качестве показателя уровня риска целесообразно использовать отрицательную разницу между возможным и фактическим значением полезного эффекта и его номинальным (наиболее ожидаемым) значением, а также меру возможности возникновения подобных отклонений от номинальных значений.

В соответствии с комплексным критерием эффективности (1) для проектов двойного назначения наиболее существенными являются следующие виды рисков:

– экономический;

– технический;

– временной.

Экономический риск включает:

– риск увеличения расходов на выполнение ОКР;

– риск снижения прямого (коммерческого) дохода (чистый дисконтированный доход) от использования результатов ОКР;

– риск снижения непрямых доходов и величины дополнительных выгод.

Технический риск – это возможное ухудшение фактических тактико-технических характеристик новых образцов космической техники по сравнению с необходимыми (снижение технического уровня).

Временной риск – это возможное невыполнение запланированной длительности ОКР.

Перечисленные виды риска интегрируются в составе рисков увеличения расходов и уменьшения полезного эффекта, поэтому для оценки эффективности проекта в состав критерия эффективности достаточно включить только обобщенные риски.

В формализованном представлении уровень риска можно записать:

$$R_1 = \langle Z_Ф - Z_H,\ P_Z \rangle, \quad R_2 = \langle ПЕ_Ф - ПЕ_H,\ P_{ПЕ} \rangle,$$

где R_1 – уровень риска увеличения затрат; $Z_Ф$ – возможные фактические затраты на реализацию проекта; Z_H – номинальные (наиболее ожидаемые) затраты на реализацию проекта; P_Z – оценка степени возможности того, что фактические расходы составят величину $Z_Ф$; R_2 – уровень риска уменьшения величины полезного эффекта; $ПЕ_Ф$ – возможная величина фактического полезного эффекта; $ПЕ_H$ – ожидаемая номинальная величина полезного эффекта; $P_{ПЕ}$ – оценка степени возможности снижения полезного эффекта до величины $ПЕ_Ф$.

Исходя из того, что определение ожидаемых затрат на реализацию проекта проводится на основе имеющихся статистических данных, за меру уровня риска увеличения расходов удобно использовать стандартное отклонение σ

$$Z_Ф - Z_H = q \cdot \sigma, \quad P_Z = F(q, \sigma).$$

Так как при проведении расчетов ожидаемых затрат на выполнение ОКР используются данные по образцам-аналогам (которые, по разным причинам, не могут быть достоверными, а лишь в той или иной степени близки к достоверным значениям), то стандартное отклонение может быть оценено в первом приближении следующим образом:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{j=1}(q_j \cdot \frac{1-\delta_j}{3})^2} \cdot \sqrt{\alpha_T \cdot \frac{\Delta T}{T} + 1}, \quad q_j = \frac{\partial Z_H}{\partial p_j},$$

где q_j – чувствительность ожидаемых расходов на возможную вариацию значений данных, используемых при расчетах расходов на ОКР; p_j – значение j-й компоненты входных данных, которая имеет свойства неопределенности; δ_j – средний уровень достоверности j-й компоненты входных данных; α_T – эмпирический коэффициент, учитывающий особенность космической техники (КРК, КС ДЗЗ, КСС и т. д.); ΔT – срок задержки выполнения проекта, год; T – ожидаемая продолжительность ОКР, год; q – коэффициент, определяющий ширину доверительного интервала.

Более точные значения уровня риска роста затрат на выполнение ОКР могут быть получены методом имитационного моделирования процесса ОКР с использованием математических моделей на основе нечетких множеств.

На начальной стадии определяется номинальная величина полезного эффекта, которая может быть получена путем проведения прямого расчета для номинальных входных данных (базовый вариант). Определение уровня риска уменьшения полезного эффекта R_2 целесообразно проводить методом компьютерного моделирования.

Таким образом, определяются необходимые для расчетов величины уровня риска $R_{ПЕ}$, $P_{ПЕ}$:

$$R_{ПЕ} = ПЕ(M) - ПЕ(M^*), \quad P_{ПЕ} \approx \frac{N_1(M, M^*)}{N},$$

где $R_{ПЕ}$ – возможная величина снижения полезного эффекта из-за наличия факторов риска (в том числе возможных аварийных ситуаций); $ПЕ(M^*)$ – величина ожидаемого полезного эффекта для множества номинальных (наиболее ожидаемых) значений входных данных (M^*) – базовый вариант; $ПЕ(M)$ – величина возможного полезного эффекта с учетом факторов риска; $N_1(M, M^*)$ – количество случаев, которые могут возникнуть в процессе проведения компьютерных экспериментов, при которых $|R_{ПЕ}| \le Q_3$; N – общее количество компьютерных экспериментов; Q_3 – значение допустимой величины снижения полезного эффекта.

5. Укрупненный алгоритм проведения расчета ожидаемой эффективности проекта по созданию космической техники

Для иллюстрации изложенного методологического подхода к проведению расчетов технико-экономических параметров ОКР космических систем и космических ракетных комплексов на рис. 1 приведена блок-схема укрупненного алгоритма расчета показателей эффективности научно-технического проекта.

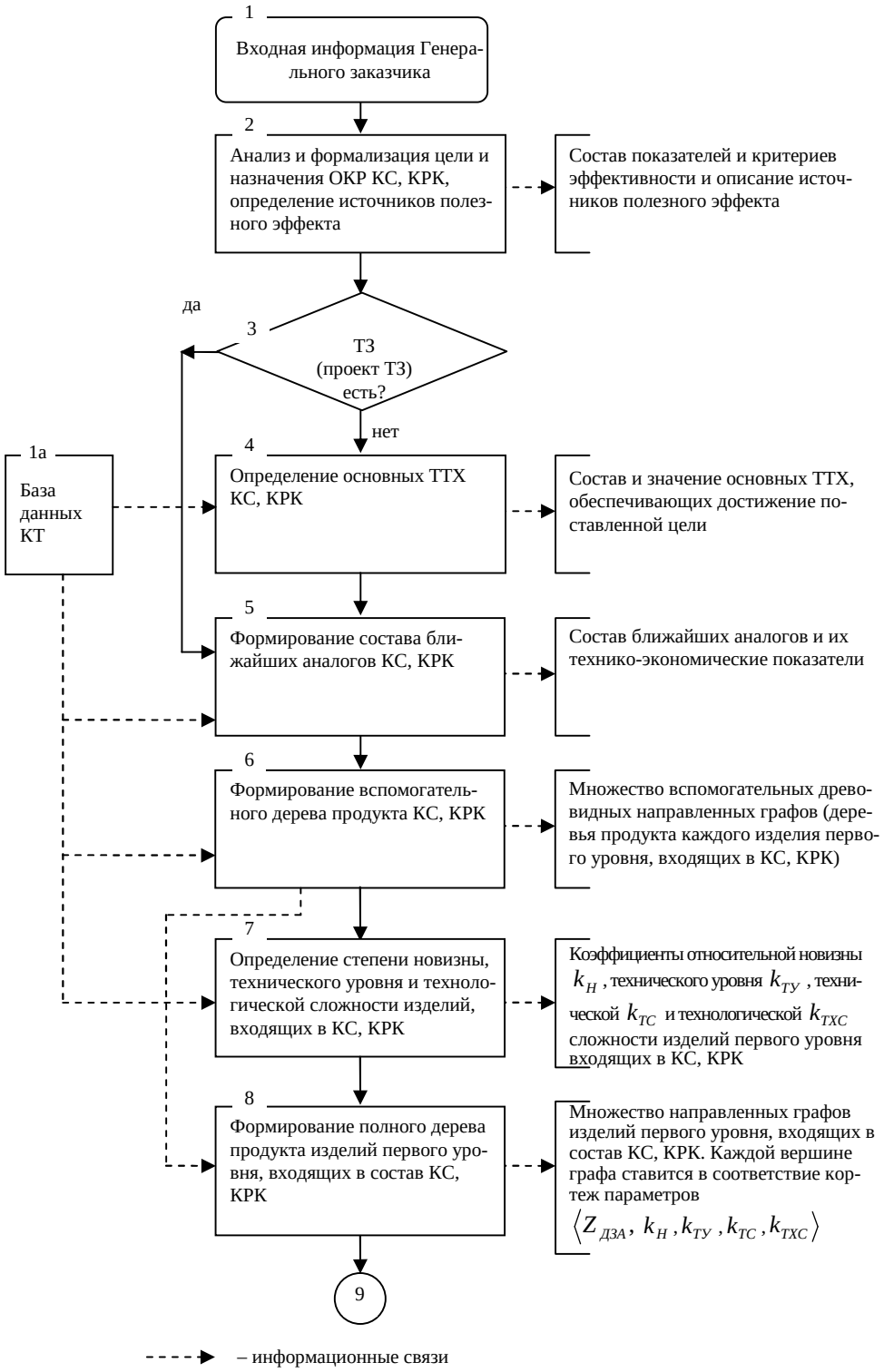
1
Входная информация Генерального заказчика
2
Анализ и формализация цели и назначения ОКР КС, КРК, определение источников полезного эффекта
Состав показателей и критериев эффективности и описание источников полезного эффекта
да
3
ТЗ (проект ТЗ) есть?
нет
1а
База данных КТ
4
Определение основных ТТХ КС, КРК
Состав и значение основных ТТХ, обеспечивающих достижение поставленной цели
5
Формирование состава ближайших аналогов КС, КРК
Состав ближайших аналогов и их технико-экономические показатели
6
Формирование вспомогательного дерева продукта КС, КРК
Множество вспомогательных древовидных направленных графов (деревья продукта каждого изделия первого уровня, входящих в КС, КРК)
7
Определение степени новизны, технического уровня и технологической сложности изделий, входящих в КС, КРК
Коэффициенты относительной новизны k_H, технического уровня $k_{TУ}$, технической k_{TC} и технологической k_{TXC} сложности изделий первого уровня входящих в КС, КРК
8
Формирование полного дерева продукта изделий первого уровня, входящих в состав КС, КРК
Множество направленных графов изделий первого уровня, входящих в состав КС, КРК. Каждой вершине графа ставится в соответствие кортеж параметров $\langle Z_{ДЗА}, k_H, k_{TУ}, k_{TC}, k_{TXC} \rangle$
9
– информационные связи

Рис. 1, лист 1

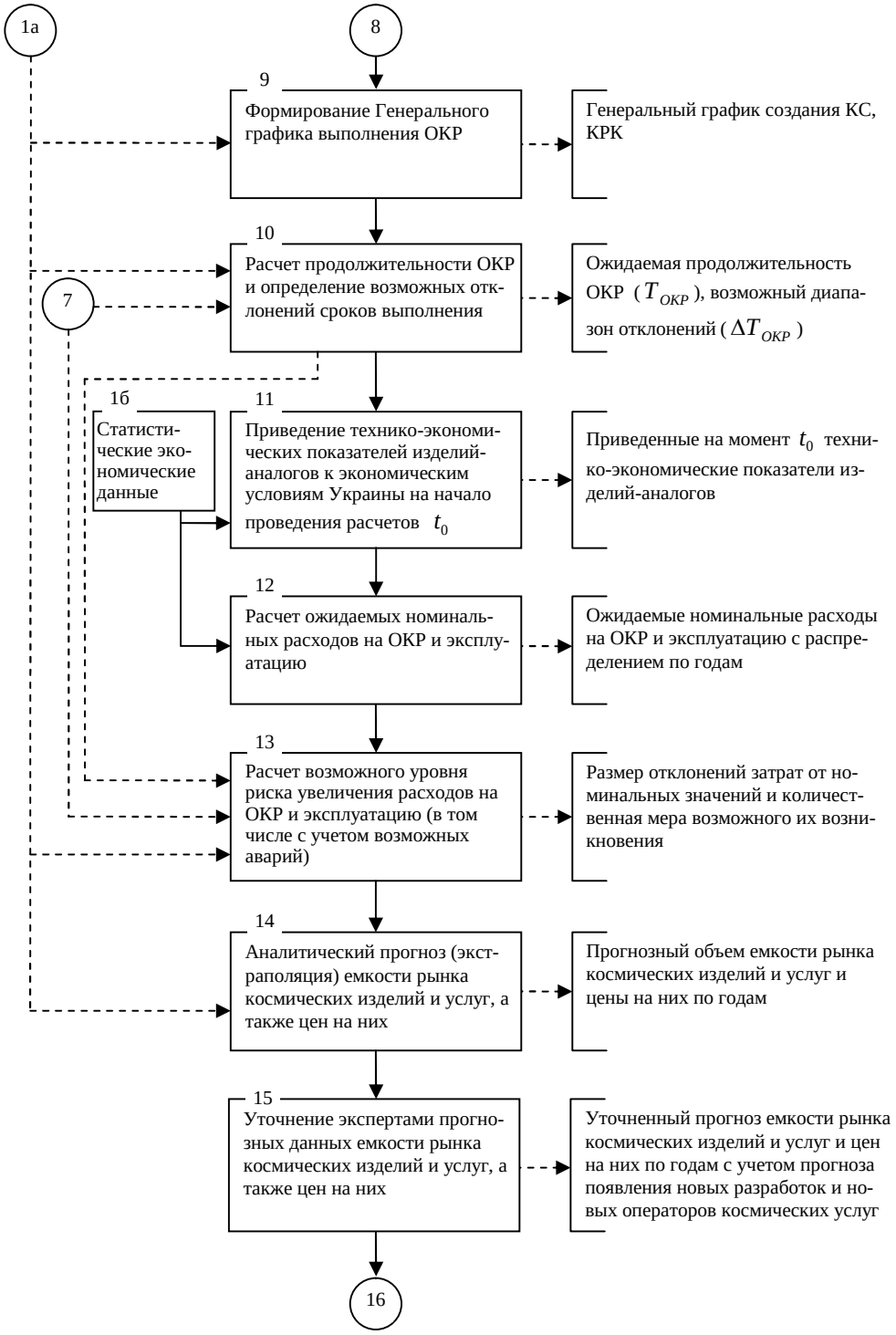
1а
8
9
Формирование Генерального графика выполнения ОКР
Генеральный график создания КС, КРК
10
Расчет продолжительности ОКР и определение возможных отклонений сроков выполнения
7
Ожидаемая продолжительность ОКР (T_{OKP}), возможный диапазон отклонений (ΔT_{OKP})
1б
Статистические экономические данные
11
Приведение технико-экономических показателей изделий-аналогов к экономическим условиям Украины на начало проведения расчетов t_0
Приведенные на момент t_0 технико-экономические показатели изделий-аналогов
12
Расчет ожидаемых номинальных расходов на ОКР и эксплуатацию
Ожидаемые номинальные расходы на ОКР и эксплуатацию с распределением по годам
13
Расчет возможного уровня риска увеличения расходов на ОКР и эксплуатацию (в том числе с учетом возможных аварий)
Размер отклонений затрат от номинальных значений и количественная мера возможного их возникновения
14
Аналитический прогноз (экстраполяция) емкости рынка космических изделий и услуг, а также цен на них
Прогнозный объем емкости рынка космических изделий и услуг и цены на них по годам
15
Уточнение экспертами прогнозных данных емкости рынка космических изделий и услуг, а также цен на них
Уточненный прогноз емкости рынка космических изделий и услуг и цен на них по годам с учетом прогноза появления новых разработок и новых операторов космических услуг
16

Рис. 1, лист 2

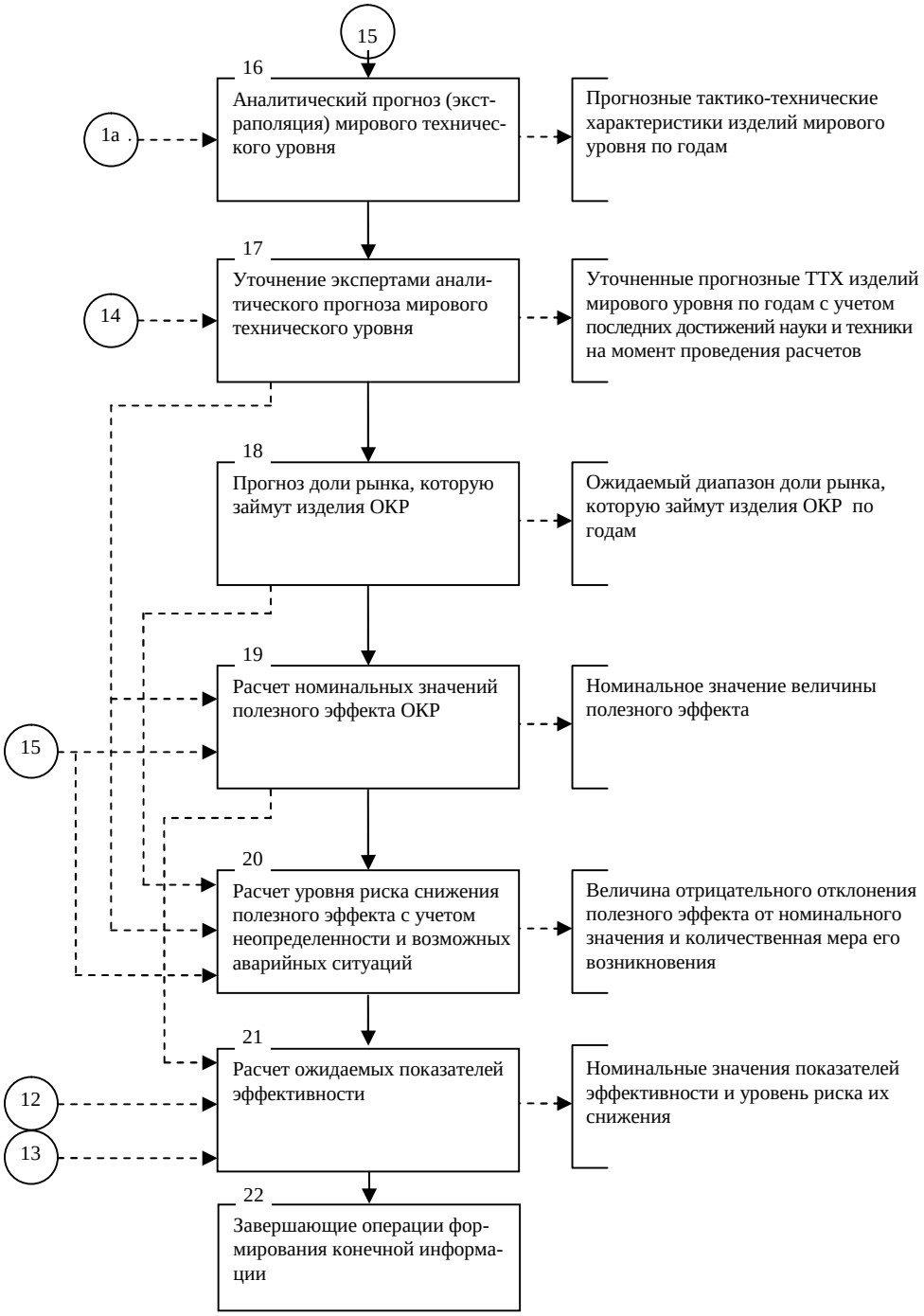
15
16
Аналитический прогноз (экстраполяция) мирового технического уровня
1а
Прогнозные тактико-технические характеристики изделий мирового уровня по годам
17
Уточнение экспертами аналитического прогноза мирового технического уровня
14
Уточненные прогнозные ТТХ изделий мирового уровня по годам с учетом последних достижений науки и техники на момент проведения расчетов
18
Прогноз доли рынка, которую займут изделия ОКР
Ожидаемый диапазон доли рынка, которую займут изделия ОКР по годам
19
Расчет номинальных значений полезного эффекта ОКР
15
Номинальное значение величины полезного эффекта
20
Расчет уровня риска снижения полезного эффекта с учетом неопределенности и возможных аварийных ситуаций
Величина отрицательного отклонения полезного эффекта от номинального значения и количественная мера его возникновения
21
Расчет ожидаемых показателей эффективности
12
13
Номинальные значения показателей эффективности и уровень риска их снижения
22
Завершающие операции формирования конечной информации

Рис. 1, лист 3

Выводы

1. Приведен методологический подход к технико-экономическому обоснованию проектов по созданию космической техники, на основе которого может быть разработана методическая база для проведения расчетов по обоснованию перспективных космических проектов и программ.

2. Сформирована система критериев эффективности для оценки проектов по созданию космической техники, которая учитывает: ожидаемые затраты, экономическую эффективность (коэффициент выгод-затрат, индекс доходности), техническую эффективность и степень риска.

3. Приведенный в статье методологический подход использован при финансово-экономическом обосновании Концепции реализации государственной политики Украины в сфере космической деятельности на период до 2032 года и Общегосударственной целевой научно-технической космической программы Украины на 2013 – 2017 годы.

1. *Robinson P.* Economic Benefits from ESA Programmes / *P. Robinson, E. Morel de Westgaver*. – Netherlands, Nordwijk : ESA Publicattions Division, 2000. – 38 p.
2. *Виленский П. Л.* Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / *П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк* / 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Дело, 2002. – 888 с.
3. *Дюбуа Д.* Теория возможностей: приложения к представлению знаний в информатике / *Д. Дюбуа, А. Прад*. – М. : Радио и связь, 1990. – 288 с.
4. *Иванов Г. И.* Инвестиционный менеджмент / *Г. И. Иванов.* – Ростов-на-Дону : Феникс, 2001. – 320 с.
5. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. Затверджена Міністерством економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерством фінансів України 26.09.2001 № 218/446 – Режим доступу http://www.uazakon.com/documents/date_2o/pg_igwzop.htm
6. Надежность и эффективность в технике : справочник: в 10 т. Т. 3. Эффективность технических систем / Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
7. *Пилипенко О. В.* Эффективность научно-технических проектов и программ / *О. В. Пилипенко, Е. С. Переверзев, А. П. Алпатов та ін.* – Днепропетровск : Пороги, 2008. – 509 с.
8. *Савчук В. П.* Анализ и разработка инвестиционных проектов / *В. П. Савчук, С. И. Прилипко, Е. Г. Величко*. – Киев : Абсолют–В, Эльга, 2000. – 304 с.

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и
Государственного космического агентства Украины,
Днепропетровск

Получено 26.03.2015,
в окончательном варианте 17.06.2015