

Подходы к применению искусственного интеллекта в целях повышения экономической эффективности деятельности организаций Госкорпорации «Роскосмос», включая эффективность разработки НИОКР

Approaches to the use of artificial intelligence in order to increase the economic efficiency of organizations of State Space Corporation "Roscosmos", including the effectiveness of R&D development

В условиях глобальных вызовов и стремительного развития цифровизации вопрос внедрения искусственного интеллекта в производственный и управленческий процесс имеет все большую значимость. Настоящая научная статья разрабатывает новый метод достижения высокой экономической эффективности разработки научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) и производства изделий, товаров и услуг в области космической деятельности с применением ИИ. В статье представлен математический подход интегрированного жизненного цикла разработки НИОКР и производства к расчету объема работ в стоимостном выражении любого промышленного товара в соответствии с этапами разработки НИОКР и технологиями переделов производственного цикла. В работе делается акцент на ключевом показателе «завершаемые работы» и переходе на новую сетцентрическую систему управления. Предполагается, что представленные в статье методы станут драйверами в улучшении производственного процесса ракетно-космической отрасли и ее управлении.

In the context of global challenges and rapid development of digitalization, the issue of introducing artificial intelligence into the production and management process of industries is becoming increasingly important. This scientific article develops a new method for achieving high economic efficiency of R&D and production of items, goods and services in the field of space activities using artificial intelligence. The article presents a mathematical approach of the integrated life cycle of R&D and production to calculating the volume of work in value terms of any industrial product in accordance with the stages of R&D and technological conversions of the production cycle. The work focuses on the key indicator "completed work" and the transition to a new network-centric management system. It is assumed that the methods presented in the article will become drivers in improving the production process of the rocket and space industry and its management.

Ключевые слова: искусственный интеллект, сетцентрическая модель управления, жизненный цикл продукции, трудоемкость производства, интегрированный производственный цикл, НИОКР

Keywords: artificial intelligence, network-centric management model, product life cycle, labor intensity of production, integrated production cycle, R&D



**ЧЕБАНЕНКО
ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ**

Д.т.н., профессор, академик РАЕН, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, советник первого заместителя генерально-го директора, АО «Организация «Агат»
E-mail: ChebanenkoVM@agat-roscosmos.ru

**CHEBANENKO
VLADIMIR**

Grand Ph.D. in Engineering, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR, Adviser to First Deputy CEO, JSC "Organization "Agat"



ЖАМКОВА ВАЛЕРИЯ СЕРГЕЕВНА

Начальник Управления экономики РКП, АО «Организация «Агат»
E-mail: ZhamkovaVS@agat-roscosmos.ru

ZHAMKOVA VALERIA

Head of Rocket and Space Industry Economics Directorate, JSC "Organization "Agat"



ЗАГРЕБНЕВА ЯНА ОЛЕГОВНА

Ведущий специалист отдела анализа и мониторинга кадрового потенциала РКП Управления экономики РКП, АО «Организация «Агат»
E-mail: ZagrebnevaYO@agat-roscosmos.ru

ZAGREBNEVA YANA

Leading specialist of Department of Analysis and Monitoring of the Personnel Potential of the Rocket and Space Industry of Rocket and Space Industry Economics Directorate, JSC "Organization "Agat"

Для цитирования: Чебаненко В. М. Подходы к применению искусственного интеллекта в целях повышения экономической эффективности деятельности организаций Госкорпорации «Роскосмос», включая эффективность разработки НИОКР / В. М. Чебаненко, В. С. Жамкова, Я. О. Загребнева. // Экономика космоса. – 2025. – № 11. – С. 3–17. – DOI 10.48612/agat/space_economics/2025.04.11.01

Введение

В последнее десятилетие мир наблюдает стремительное развитие технологий, которые кардинально меняют облик различных отраслей экономики. Это же касается и ракетно-космической отрасли, которая продолжает набирать обороты и, согласно прогнозу, до 2035 года рынок космических услуг будет динамично расти под 7-8% в год. Одной из значительных трансформаций стала интеграция искусственного интеллекта в производственные процессы. Это, в свою очередь, открыло новые горизонты для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий, которые в условиях глобальной экономики, где скорость изменений и инноваций играет решающую роль, часто сталкиваются с необходимостью их быстрой адаптации [1]. В этой связи внедрение ИИ становится важным шагом для достижения устойчивого развития и оптимизации производственных процессов, также применение технологий ИИ способствует повышению экономической эффективности, достижению максимальных результатов при минимальных затратах.

Настоящее исследование опирается на определение искусственного интеллекта как интеллектуальной системы, будь то техническая или программная система, спо-

собной решать задачи, которые традиционно относятся к творческим и принадлежат конкретной предметной области, знания о которой хранятся в памяти такой системы [2]. Структура интеллектуальной системы включает три основных блока: базу знаний, механизм вывода решений и интеллектуальный интерфейс, позволяющий вести общение с ЭВМ без специальных программ для ввода данных [3].

Сегодня ИИ широко применяется в самых разных областях и продолжает активно развиваться [4]. Что касается производственных процессов, то примеров успешного внедрения в них ИИ достаточно много и ниже представлены некоторые из них:

- IBM Watson – суперкомпьютер компании IBM, который оснащен ИИ и позволяет решать любые прикладные математические задачи;
- Azure AI Microsoft – платформа для мониторинга и анализа операций, связанных с подозрительными действиями в банковской деятельности, а также для контроля качества на производстве, оптимизации товаров на складах и в других деловых интересах;
- BERT Google – модель обработки языка в самом широком смысле, осуществляет перевод и анализ смысло-

вого содержания текста.

Когда дело касается космической техники, то в первую очередь речь идет о ее создании на самых высоких научно-технических достижениях человечества в этой области, т.е. о выполнении требований Индустрии 4.0 и ее IV и V технологических укладов и приближающейся Индустрии 5.0 с ее человекоцентричным подходом на базе цифровых и когнитивных технологий. Для решения этой задачи необходимо сосредоточить все интеллектуальные, организационно-управленческие, материально-технические и финансовые ресурсы на достижении максимально возможной экономической эффективности космической деятельности организаций Госкорпорации «Роскосмос» и отрасли в целом как единой системы, включая также предприятия иных ведомств и госкорпораций, участвующих по кооперации в этой деятельности [1].

Все это необходимо для достижения максимально возможной экономической эффективности организаций и предприятий космической отрасли и Госкорпорации «Роскосмос», чему посвящена настоящая работа. В работе также предлагается комплексное цифровизированное управление жизненным циклом разработки НИОКР и интегрированным производственным циклом производственно-технологического комплекса изготовления изделий ракетно-космической техники (далее – РКТ) и товаров за счет применения математического подхода с использованием ИИ, позволяющего снизить затраты на наземную отработку РКТ, при этом обеспечивая самые высокие показатели ее надежности в процессе эксплуатации и выполнения поставленных задач. Ключевым аспектом настоящего исследования является представление нового математического подхода к оценке трудоемкости по всем этапам и подэтапам жизненного цикла разработки НИОКР с учетом применения ИИ и алгоритма блок-схем программного комплекса расчета эффективности разработки НИОКР и производственного цикла изделий [5].

Жизненный цикл продукции и сетевая система управления

Для решения поставленной научно-методической задачи и практического исполнения создания ракетно-космической техники необходимо определить самую сложную и ответственную ее часть – «жизненный цикл производства», прямо связанный с этапами НИОКР и экономической эффективностью организаций Госкорпорации «Роскосмос» и отрасли в целом, как стратегически важнейшего сектора экономики Российской Федерации.

Как известно, в промышленности управление «жиз-

ненным циклом продукта» (Product Lifecycle Management, далее – PLM) – это процесс управления всеми стадиями и этапами работ от НИОКР, испытаний и промышленного производства партий и серий товара до гарантийного обслуживания и утилизации произведенной продукции [5].

Многолетний опыт создания РКТ и имеющаяся статистика подтверждают, что процесс НИОКР и производственный цикл имеют высокий уровень цифровой энтропии, как меры хаотичности. Энтропия характеризует разнообразие в виде количества состояний, которые может принимать система и вероятность, с которой система принимает то или иное состояние¹. Это отражает один из основных законов обеспечения надежности ракетно-космической техники – наземной отработки всех систем, подсистем и комплекса в целом. Законы, связанные с обеспечением надежности функционирования производственно-технологического комплекса, требуют максимально достижимой вероятности функционирования (не менее 0,95–0,98).

Создание наукоемкой и высокотехнологичной техники, которая представляет собой РКТ, отличающейся значительной цифровой энтропией при разработке НИОКР, а особенно на начальных стадиях разработки, потребовало от научно-исследовательского института (далее – НИИ) и КБ отрасли формализовать процесс создания этой инновационной техники в виде стандартизированных этапов работ, постепенно переходящих от одного к другому. В статье рассматриваются этапы PLM от НИОКР до гарантийного обслуживания продукции:

1. Аванпроект (далее – АП).
2. Эскизный проект (далее – ЭП).
3. Техно-рабочий проект (далее – ТРП).
4. Наземная отработка подсистем и систем (далее – НО).
5. Производство изделий для летно-космических испытаний (далее – ЛКИ) и проведение ЛКИ.

Все этапы вместе требуют значительного времени, материальных, финансовых ресурсов, научно-исследовательских, проектно-конструкторских и производственных мощностей, как единого творческого процесса создания космических комплексов и систем различного назначения.

Рассматривая PLM как систему управления всеми стадиями и этапами работ, стоит отметить, что координация и управление космической деятельностью в целом и целом также нуждается в совершенствовании. Так, в целях повышения эффективности управления элементами системы в промышленно развитых странах мира наблюдается переход от иерархических моделей (решения принимаются одним человеком) к сетевым [6]. Сетевая модель управления использует сетевые

¹ Источник: профессор У.Р. Эшби – «Закон необходимого разнообразия».

и информационные технологии для интеграции графически рассредоточенных органов управления в адаптивную единую систему, повышающую эффективность принятия решений и качество исполнения. Она построена на следующих трех принципах:

1. Объединение всех элементов системы в единое информационное пространство.
2. Обеспечение полной интероперабельности² элементов.
3. Представление всем элементам системы возможностей беспрепятственного взаимного обмена информацией независимо от выполняемых функций.

Учитывая завершающие процессы взаимодействия с потенциальными заказчиками и потребителями продукции, такая система управления является оптимальной, особенно в космической деятельности. Подобная конфигурация позволяет принимать интегральное самосогласованное решение, которое обладает высоким синергическим потенциалом в силу своей близости к оптимуму.

Сетевая структура характеризуется наличием минимум 3-х слоев управления: во-первых, стратегический уровень (главный координационный уровень, принимающий решения для следующего слоя), во-вторых, тактический уровень и, в-третьих, слой оперативного управления (на основе прошлых директив он направляет в исполнительные органы непосредственные задачи). Ключевыми объектами выступают органы, классифицируемые от управляемой системы до главного органа управления, такие как:

S_y – орган управления на соответствующей ветви (ступени) иерархии, посылающий информацию вида K (координационная) и U (управленческая или, проще говоря, команды), при этом получающая в ответ информацию вида H (наблюдения); здесь важно отметить, что локальные органы управления на низких ступенях иерархии решают свои локальные задачи для достижения общей глобальной цели вышестоящего органа управления;

S_H – подсистема наблюдения, посылающая и получающая одну и ту же информацию (с обработкой и передачей ее далее) вида H ;

S_{Oy} – управляемая подсистема, работающая с информацией вида U .

Эта схема представлена на рис. 1, где четко обозначены границы каждого уровня (слоя) управления. Главным отличием такой системы от «классической» иерархической является объединение всех слоев в единое цифровое пространство, где каждый элемент системы взаимодействует с другими элементами системы, а не непосредственно по вертикальной цепочке. Такая система увеличивает эффективность информационного взаимодействия.

Переход на сетевую систему управления является частью одной из глобальных задач ракетно-космической отрасли, которая заключается в соответствии последним достижениям научно-технических революций и технологических укладов, а также инновационным технологиям в высокотехнологичном производстве и управлении [8]. Что касается PLM как системы управления, то, как мы определили,

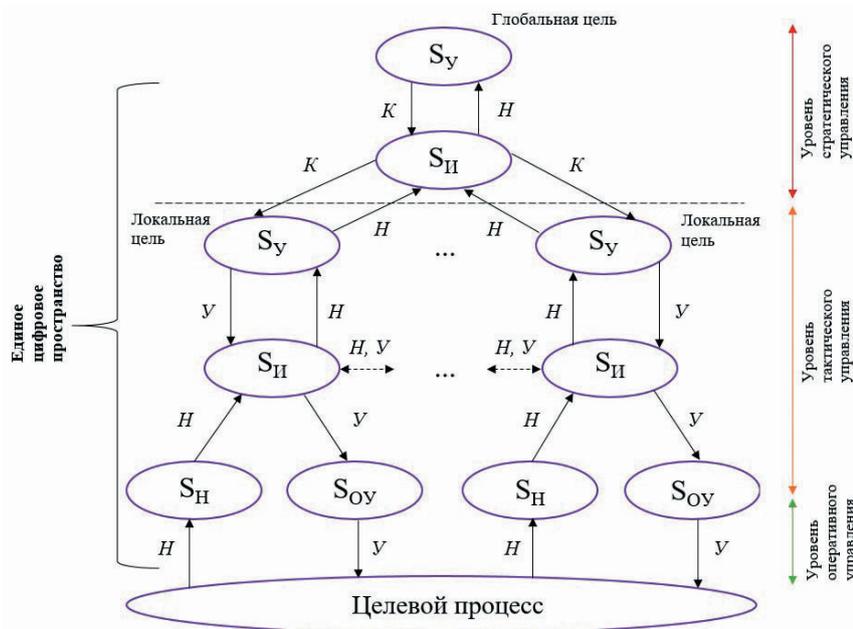


Рис. 1. Архитектура сетевидной системы управления. Источник: составлено авторами на основе публикации [7]

² Способность продукта или системы, интерфейсы которых полностью открыты, взаимодействовать и функционировать с другими продуктами или системами без каких-либо ограничений доступа и реализации.

данная система нуждается в совершенствовании в целях достижения экономической эффективности деятельности ракетно-космической промышленности (далее – РКП). Все вместе это вызывает необходимость создания комплексной системы управления производственным циклом разработки НИОКР предприятиями ракетно-космической отрасли.

Ключевые показатели для оценки ракетно-космической деятельности

Для начала проведем анализ показателя трудоемкости. В экономической науке под трудоемкостью понимается величина нормированных затрат совокупного труда работника на изготовление единицы или определенного объема продукции в соответствующих рыночных, технических,

организационных и плановых условиях развития производства.

В состав трудоемкости производства продукции включаются все нормируемые затраты труда (рабочего времени) на ее производство в конкретных условиях действующего предприятия. Нормируемые затраты труда измеряются в нормо-часах, человеко-часах или других единицах трудовых затрат в расчете на одно изделие или годовой объем производства в стоимостном выражении. В табл. 1 представлены виды трудоемкости.

Все перечисленные выше виды трудоемкости широко используются в процессе планирования, проектирования, производства, реализации и эксплуатации выпускаемой продукции производства. Понимание и правильная оцен-

Признак	Трудоемкость	Описание показателя
Содержание затрат труда на производство продукции	Технологическая	Содержит затраты труда основных рабочих, осуществляющих непосредственное технологическое воздействие на предмет труда в процессе изготовления продукции
	Обслуживания	Характеризует затраты труда вспомогательных рабочих, обеспечивающих техническое и организационное обслуживание основных средств производства и предметов труда
	Управления	Определяет затраты труда руководителей и специалистов, создающих соответствующие требованиям рынка организационно-управленческие и социально-экономические условия для производства и продажи выпускаемой продукции
	Производственная	Включает затраты труда основных и вспомогательных рабочих на изготовление единицы продукции или соответствующего объема выпуска
	Полная	Содержит совокупные затраты труда всего промышленно-производственного персонала предприятия на производство продукции, выполнение работ и оказание услуг
Метод определения	Нормативная	Величина необходимых затрат труда на единицу продукции, рассчитанная на основе прогрессивных трудовых нормативов и норм на выполнение отдельных приемов и операций, выпуск готовых изделий и машин
	Сравнительная	Величина затрат труда, установленная путем сравнения сложности и трудоемкости выполняемой работы с существующим эталоном (аналогом) продукции
	Экспертная	Величина затрат труда, полученная на основе экспертной оценки специалистами производства
	Статистическая	Величина затрат труда, определяемая на основе отчетных технико-экономических показателей за прошедший период работы предприятия
Способ расчета	Укрупненная	Величина затрат труда, установленная с помощью существующих типовых нормативов и норм, а также приближенных методов расчета на стадии проектирования и подготовки производства новой продукции
	Уточненная	Величина необходимых затрат труда, рассчитанная на основе использования прогрессивных трудовых нормативов на выполнение работы по всему производственному циклу изготовления продукции на предприятии
Степень агрегирования	Операционная	Затраты труда на выполнение отдельных технологических операций
	Детальная	Затраты труда на изготовление отдельных деталей
	Комплектная	Затраты труда на изготовление соответствующего комплекта деталей
	Узловая	Затраты труда на изготовление и сборку узлов
	Машинная	Затраты труда на изготовление и сборку изделия в целом

Целевое назначение	Проектная	Характеризует предельно допустимую расчетную величину затрат труда на производство новой продукции или выполнение проектных работ
	Лимитная	Устанавливает верхний предел затрат труда, превышение которого приводит к убыточности проекта производства продукции
	Плановая	Определяет величину планируемых затрат труда на производство соответствующей продукции в предстоящий (плановый) период работы
	Фактическая	Отражает величину затрат труда, соответствующую реальным текущим или отчетным показателям производства продукции
	Прогрессивная	Отражает затраты труда в будущий (плановый) период работы с учетом предполагаемых прогрессивных изменений в технологии и организации производства
Сроки производства	Часовая, суточная, месячная и пр.	Характеризуют величину затрат труда на соответствующий данному периоду времени объем выпуска продукции

Табл. 1. Виды трудоемкости по признакам.
Источник: составлено авторами

ка этих показателей играют ключевую роль в управлении трудовыми ресурсами, однако система расчета трудоемостей стохастична³ с высокой цифровой энтропией, в т.ч. в связи с наличием «человеческих» факторов при измерениях, необходимых для расчетов трудоемкости параметров и иных причин. Переход к цифровым методам и автоматизированным системам высокоточных измерений характеристик и функциональных зависимостей в реальном масштабе времени, определяющих объемы работ этапов НИОКР в стоимостном выражении во времени и трудоемкости технологических операций, а также переделов по всему производственному циклу с использованием возможностей ИИ качественным и количественным образом меняют (в разы) всю систему оценки трудоемкости производственного цикла изделий и разработки НИОКР.

В качестве важнейшей функции достижения экономической устойчивости предприятий в любой ситуации традиционно рассматривается эффективное нормирование труда. Оно основано на точных данных о трудоемкости и представляет собой постоянный и непрерывный процесс оптимизации рабочей деятельности. Учитывая важность нормирования труда для повышения производительности и снижения издержек, наступает необходимость перехода к более глубокому анализу методов и стратегий, способствующих повышению экономической эффективности разработки НИОКР и производства изделий. Таким образом, из разбора показателя трудоемкости и всех ее видов приходим к выводу, что возникает потребность в выборе оптимального показателя для оценки производственной деятельности предприятий ракетно-космической отрасли, который мы рассмотрим далее.

Ключевым выбранным показателем настоящего исследования и базовым показателем производительности труда, наряду с трудоемкостью, выступает выработка P (англ.

Productivity). Показатель зависит от среднего числа работающих лиц и от затраченного времени и представляет собой количество/объем произведенного продукта в стоимостном выражении в единицу рабочего времени одним работником, то есть:

$$P = Q/t, \tag{1}$$

где:

Q – выпуск продукции в стоимостном виде (тыс. руб.);

t – единица времени (час, день, месяц, квартал, год).

Выработка может быть также представлена через показатель среднего числа работающих лиц:

$$P = Q/W, \tag{2}$$

где:

W – средняя численность персонала (от англ. Workforce).

Производительность труда LP (от англ. Labor Productivity) представляет собой отношение объема продукции в единицу времени (q) к количеству задействованных работающих лиц в единицу времени (l):

$$LP = q/l, \tag{3}$$

Трудозатраты LC (англ. Labor Costs) ведутся на основе данных учета рабочего времени в человеко-часах и человеко-месяцах, что отражается в отчетности предприятия следующим образом:

$$LC = M/T_m, \tag{4}$$

где:

LC – трудозатраты в стоимостном выражении (тыс. руб.,

³ Стохастический – случайный, вероятностный, беспорядочный, непредсказуемый.

млн руб.) для НИОКР в единицу времени (секунды, минуты, часы) и в нормо-часах для производства в единицу времени (секунды, минуты, часы);

M – трудозатраты в стоимостном выражении (тыс. руб., млн руб.);

T_m – время выполнения этапа, подэтапа, «завершаемых работ» (мин., часы, дни).

Также трудозатраты можно выразить следующим образом:

$$LC=L \times T_L, \quad (5)$$

где:

LC – трудозатраты в человеко-часах;

L – количество сотрудников предприятия;

T_L – время работы в часах или днях (менее точно).

Необходимо помнить разницу между производительностью и трудоемкостью: производительность труда – это количество продукции, которое работник произвел за час, а трудоемкость, наоборот, – это количество труда, затраченное на изготовление единицы продукции, которое можно рассчитать следующим образом:

$$LI= t/Q, \quad (6)$$

где:

LI (англ. Labor Intensity) – трудоемкость;

t – количество отработанного персоналом времени в человеко-часах (человеко-днях);

Q – выпуск продукции в стоимостном виде (тыс. руб.).

Трудоемкость LI показывает сколько труда требуется для создания единицы товара одним рабочим и является обратной характеристикой к выработке P :

$$LI = t/Q, \quad (7)$$

или

$$LI = W/Q, \quad (8)$$

или (с учетом времени простоев):

$$LP = (Q \times (1-D)) / l_{c_i} \times W, \quad (9)$$

где:

D – коэффициент простоев (от англ. Downtime coefficient);

l_{c_i} – трудозатраты на одного работающего.

Объем произведенной продукции оценивается по трем методикам: трудовой, где оцениваются затраты времени по нормам и фактические, натуральной по физическим единицам (штуки) и стоимостной в денежных единицах и ценовом сопоставлении. Анализ показателей выработки,

трудоемкости, производительности и в конечном счете экономической эффективности производственно-технологического комплекса и предприятия в целом показывает их стохастичность.

Наконец, отдельно стоит выделить основной контролирующий и фондообразующий для экономического стимулирования показатель выполнения годовых плановых заданий отрасли по завершающим работам тем НИР и ОКР – показатель «завершаемые работы». Данный показатель прямо связывает выполнение установленных заданий каждого этапа, подэтапа НИР и ОКР в плановом периоде времени с экономической эффективностью основной деятельности организаций и предприятий Госкорпорации «Роскосмос» по космической деятельности, так как позволяет принять необходимые организационно-технические и управленческие решения при всех возникающих вопросах при выполнении тематики НИОКР в установленные сроки и на высоком организационно-техническом уровне организаций и отрасли. Показатель «завершаемые работы» позволяет осуществить создание программного комплекса планирования и управления НИОКР с использованием ИИ по снижению цифровой энтропии по всем стадиям разработки НИОКР от АП до ЛКИ.

Математический подход к оценке стоимостного объема работ всех этапов процесса разработки НИОКР с применением искусственного интеллекта

Как уже упоминалось ранее, когда речь идет об эффективности космической деятельности, охватывающей все стороны РЛМ, то главные проблемы, которые снижают эту эффективность, лежат в зоне НИОКР и промышленного производства товара и предоставляемых услуг ракетно-космической отрасли, как наиболее стохастичной, имеющей самую высокую цифровую энтропию. Именно в этом причина рассмотрения возможности использования ИИ на стадии НИОКР и промышленного производства РКТ различного назначения.

Напомним, что жизненный цикл производства НИОКР состоит из следующих этапов: АП, ЭП, ТРП, НО и ЛКИ. На рис. 2 по оси абсцисс отображается время t , необходимое для выполнения каждого этапа. По оси ординат представлены затраты в единицу времени $S'(t)$. Фиолетовая линия есть функция $S(t)$, обрамляющая сверху площадь между ней и осью абсцисс t . Эта площадь в данном случае представляет собой объем выполненных работ в стоимостном выражении по всем этапам производства НИОКР, для расчета которого используется раздел дифференциального и интегрального исчисления – расчет площадей на основе первообразной функции. Рассмотрим более подробно предлагаемый математический подход к расчету интересующего нас объема выполненных работ в стоимостном выражении.

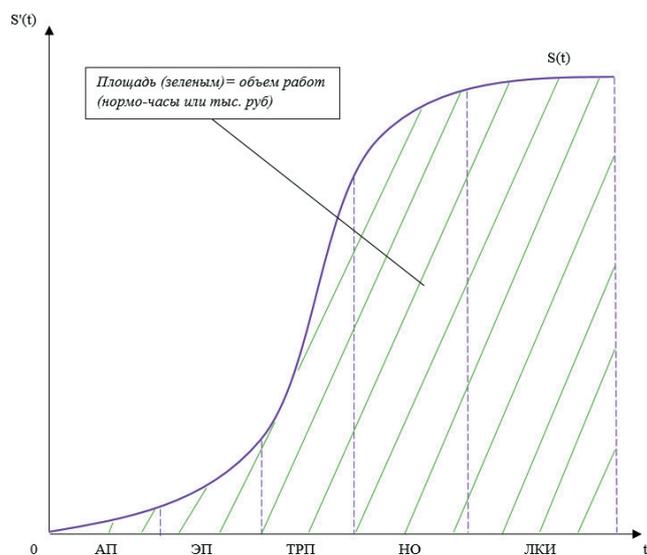


Рис. 2. Расчет трудоемкости по всем этапам разработки НИОКР.

Источник: составлено авторами

Площадь под функцией $S(t)$ на рис. 3 представляет собой две основные части – приращение функции (желтый штрих) и постоянное значение (зеленый штрих). Зеленые прямоугольники описывают участки, где функция имеет постоянное значение, то есть представляют собой стандартную геометрическую конструкцию, соответствующую постоянному вкладу функции $S(t)$. Говоря о приращении в виде «желтых треугольников», подразумевается изменения функции $S(t)$ в ходе ее роста, то есть разница между значениями функции в определенном интервале (приращение – это $S(b)-S(a)$). Здесь для расчета площади данной области применяется интегральное исчисление (формула Ньютона-Лейбница):

$$S=F(b)-F(a) \text{ и } S= \int_a^b f(t)dt, \quad (10)$$

Приращение функции представляет собой изменение площади кривой в ответ на изменение переменной времени. Выполняя поставленную задачу вычисления площади этапов всего производственного цикла продукции НИОКР, интерпретируем данный график.

Рассмотрим интервал $[a, b]$ на рис. 4. Зеленый прямоугольник возникает, когда функция $S'(t)$ остается постоянной на всем определенном интервале. Высота этого прямоугольника – это затраты (или скорость выполнения работ), которые остаются одинаковыми на протяжении этого времени $S'(t)=k$. Шириной выступает сам временной интервал. Тогда, в течение промежутка времени $[a, b]$ объем выполненных работ:

$S_1=k \times (b-a)$, что означает выполнение работы с постоянной скоростью.

Желтый «треугольник» представляет собой участок, где затраты варьируются. Поскольку функция $S'(t)$ растет на этом

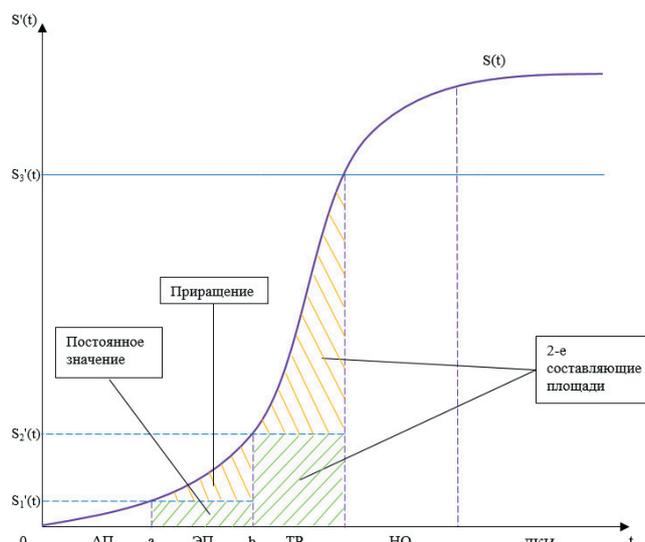


Рис. 3. Графическая интерпретация площади (объема работ).

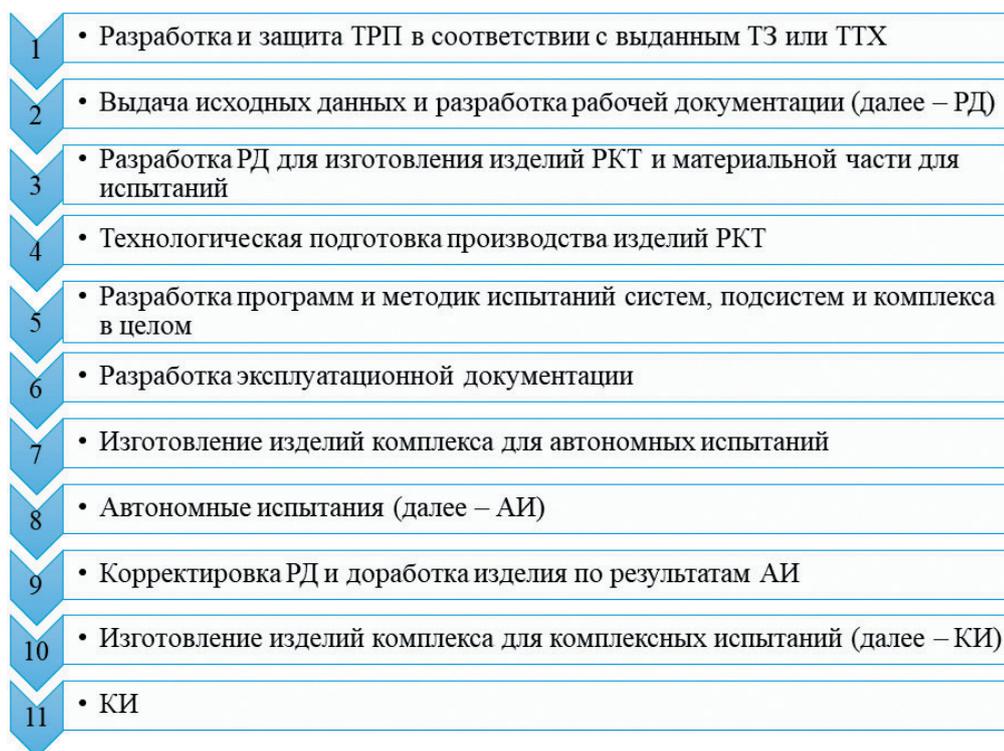
Источник: составлено авторами

интервале, это означает, что затраты изменяются в зависимости от времени (рост выполнения работы). В данном случае площадь выполненных работ $S_2=1/2 \times (b-a) \times (S'(b)-S'(a))$, где $S'(b)-S'(a)$ – максимальное изменение затрат на данном промежутке. Т.е. этот участок в данном случае демонстрирует ускорение времени выполнения работы и его объема.

Сумма площадей под кривой представляет собой общий объем выполненных работ. Поскольку значение производной $S'(t)$ в любой точке представляет собой производную функции $S(t)$, т.е. значение, показывающее скорость изменения (затраты) на единицу времени t , то, как уже говорилось ранее, площадь под графиком на заданном промежутке математически представляет собой определенный интеграл. Она же состоит из суммы маленьких прямоугольников, каждый из которых соответствует небольшому интервалу времени и высоте, равной значению производной в соответствующей на этом интервале точке. Интеграл фактически суммирует площади этих прямоугольников на протяжении всего интервала времени.

В этом случае нужно сказать о суммировании всех этапов работ жизненного цикла НИОКР от АП до ЛКИ для получения данных по всей отрасли, поскольку это также должно выполняться и для нее. Ключевой проблемой выполнения расчетов является неопределенность в начале выполнения того или иного этапа. Каждый этап должен последовательно идти друг за другом и выполняться в строгих рамках своих технологических и временных пределах.

После приведения методологии расчета объема работ в стоимостном выражении для общего случая всего жизненного цикла НИОКР предлагается рассмотреть расчет площади на примере этапа ТРП, который состоит из подэтапов, представленных на рис. 4.



Примечание:

ТЗ – техническое задание;

ТТХ – тактико-технические характеристики.

Рис. 4. Стадии этапа ТРП.
Источник: составлено авторами

На микро- и макроуровнях экономической науки часто приходится решать задачу поиска функции по ее предельным величинам. Так, например, пусть нам известна функция $S'(t)$. Тогда, зная, что функция $S(t)$ представляет собой первообразную от $S'(t)$, по определению:

$$\int S'(t)dt = S(t) + C, \quad (11)$$

где C – константа. Другими словами, чтобы найти функцию по ее предельным значениям необходимо ее проинтегрировать.

В случае расчета площади для этапа ТРП (рис. 5) для данной функции $S(t)_{\text{ТРП}}$, определенной в интервале $[0, t_{11}]$, площадь под этой функцией определяется следующим образом:

$$\int_0^{t_{11}} S'(t)dt, \quad (12)$$

Площадь под кривой вычисляется путем взятия абсолютного значения функции за интервал $[0, t_{11}]$, суммируемого по диапазону. Для расчета площади будем использовать подход сумм Римана⁴. Метод заключается в разбиении

области (составляющей искомую площадь) между графиком функции $S(t)_{\text{ТРП}}$ и осью абсцисс на интервале $[0, t_{11}]$ на конечное число прямоугольников меньшего размера за счет разбиения замкнутого интервала $[0, t_{11}]$.

Чем больше прямоугольников рассматривается при разбиении имеющегося интервала, тем точнее площадь, вычисляемая с помощью этого подхода. Свойство определенных интегралов, которое заключается в том, что если функция $F(t)$ интегрируется в одних промежутках непрерывной функции, то она интегрируется и в других, независимо от их расположения по отношению друг к другу, соответствует подходу для расчета трудоемкости любого промышленного товара, продукции, услуг, представленного в виде следующих друг за другом технологических переделов (со всеми их технологическими операциями) от самого начала производственного цикла до конца, т.е. поставки товара, продукции, услуг потребителю также обладают указанным выше свойством определенных интегралов.

Исходными данными для расчета объемов работ, начиная с этапов и подэтапов разработки НИОКР и до поставки РКТ и услуг заказчику и потребителю, а также для производства,

⁴ Б. Риман – немецкий математик (1826–1866 гг.).

начиная с технологической операции, а далее по технологическим переделам и производственному циклу, является только один экономический показатель – объем работ в стоимостном выражении в единицу времени (часы). Указанная исходная информация поступает по информационным линиям связи в автоматизированную цифровую систему анализа, обработки и расчета объемов работ в стоимостном выражении разработки НИОКР по этапам и подэтапам стадий НИОКР. Она хранится в специальном программном блоке для использования в необходимых расчетах и проведения сравнительного анализа полученных расчетов. Там же хранятся накопленные в виде статистики данные по имеющимся расчетам аналогичных изделий.

Все данные по времени от t_0 до t_{11} (рис. 5) необходимого этапа фиксируются датчиками совершенно точно (вероятность 0,99) и передаются в Центр анализа и обработки данных для последующего вычисления объема работ по этапу в стоимостном виде. Внутренняя площадь, ограниченная осью абсцисс от t_0 до t_{11} и восходящей от 0 зависимостью $S'(t)=f(t)$, представляет собой площадь равную приращению первообразной функции $S(f)=f(t)$ на участке оси абсцисс от t_0 до t_{11} равную объему выполненной работы данного этапа в стоимостном выражении, если известна удельная стоимость затрат на единицу времени.

Напомним, что в случае, если рассматривается этап, находящийся по счету от начала вторым и далее, то используется формула Ньютона-Лейбница:

$$S=F(b)-F(a) \text{ и } S= \int_a^b f(t)dt, \tag{13}$$

А при нескольких этапах работ или всего времени разработки НИОКР по этапам от начала до конца применяется формула:

$$S_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^n S_i, \tag{14}$$

Тогда на рис. 6 рассмотрим в большем масштабе расчет искомого выполненного стоимостного объема работ. На основании теоремы Ньютона и Лейбница производная $S'(t)$ от первообразной функции $S(t)$ представляет собой вертикальный отрезок на оси ординат от 0 до $S'(b)$. В процессе получения времени начала, длительности и завершения подэтапа, этапа с помощью измерения высокоточных датчиков рассчитывается площадь между функцией $S'(t)$ от 0 до m , вертикальной линией (параллельной оси ординат) от n до m , а также горизонтальной линией на оси абсцисс от 0 до n . Указанная площадь есть объем работ, выполненный на данном подэтапе, этапе в стоимостном выражении (в единицах

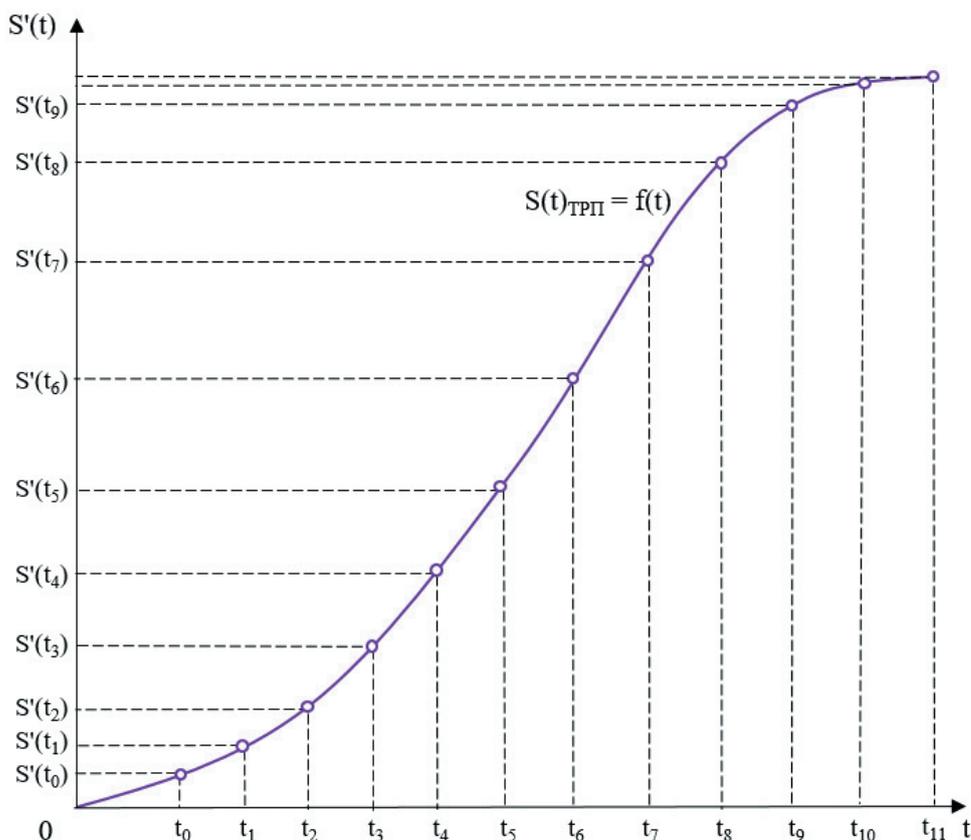


Рис. 5. Объем выполненных работ в стоимостном выражении на этапе 11 стадии ТРП. Источник: составлено авторами

стоимости, которые указаны в исходных данных – тыс. руб. или млн руб.). Проведя такие расчеты по всем подэтапам ТРП, получаем искомую стоимость объема работ по этой стадии.

Этот же методический подход используется для «цифровизации» производственного цикла, особенно интегрированного по всем технологическим переделам и операциям, где также абсолютно точно фиксируются начало, динамика и конец каждой технологической операции, технологического передела и производственного цикла в целом. В данном случае исключаются вопросы проектно-технических и производственно-технологических решений, а констатируется факт роста стоимостного объема работ по технологическим переделам, отражающих динамику стоимости затрат в виде угла « α », как это приведено на рис. 7.

Площадь, заключенная между осью абсцисс T и функциями, идущими под углом « α », есть обобщенное и выраженное в объемах работ в стоимостном выражении, как производственного цикла по технологическим переделам, отражающего технический уровень предприятия (т.е. технологию, производственное технологическое оборудование, технологическую подготовку, систему управления производством, кадровый состав и иное). Тогда, несколько видоизменив, не нарушая сущности содержания, превратим кривую в линейную функцию, показанную зеленым

цветом, идущую от «0» под углом « α ».

Допустим, что площади прямоугольных треугольников с углами α_1 , α_2 , α_3 имеют одинаковый размер, т.е. имеют одну и ту же величину объемов работ в стоимостном выражении. Тогда это означает для всех одну и ту же технологию и технологическое оборудование, как и весь производственный процесс.

Площади S_1 , S_2 , S_3 , представляющие собой объемы работ в стоимостном выражении, соответственно отнесенные к периодам времени $(0 - t_1)$, $(0 - t_2)$, $(0 - t_3)$, – производственная мощность производственно-технологического комплекса в единицу времени (мощность производства):

$$N=S/T, \quad (15)$$

Следовательно, если при сравнении директивной технологии и реализованной в реальном производственном цикле отношение:

$N_{\text{факт}}/N_{\text{дирек}} \leq 1$, то с технологией все нормально;

$N_{\text{факт}}/N_{\text{дирек}} > 1$, то технология или используемое технологическое оборудование не соответствует директивному, требуется разбираться и принимать оперативные решения вплоть до замены.

При этом отношение $\Delta N/N_{\text{дирек}} = N_{\text{факт}} - N_{\text{дирек}}/N_{\text{дирек}}$ –

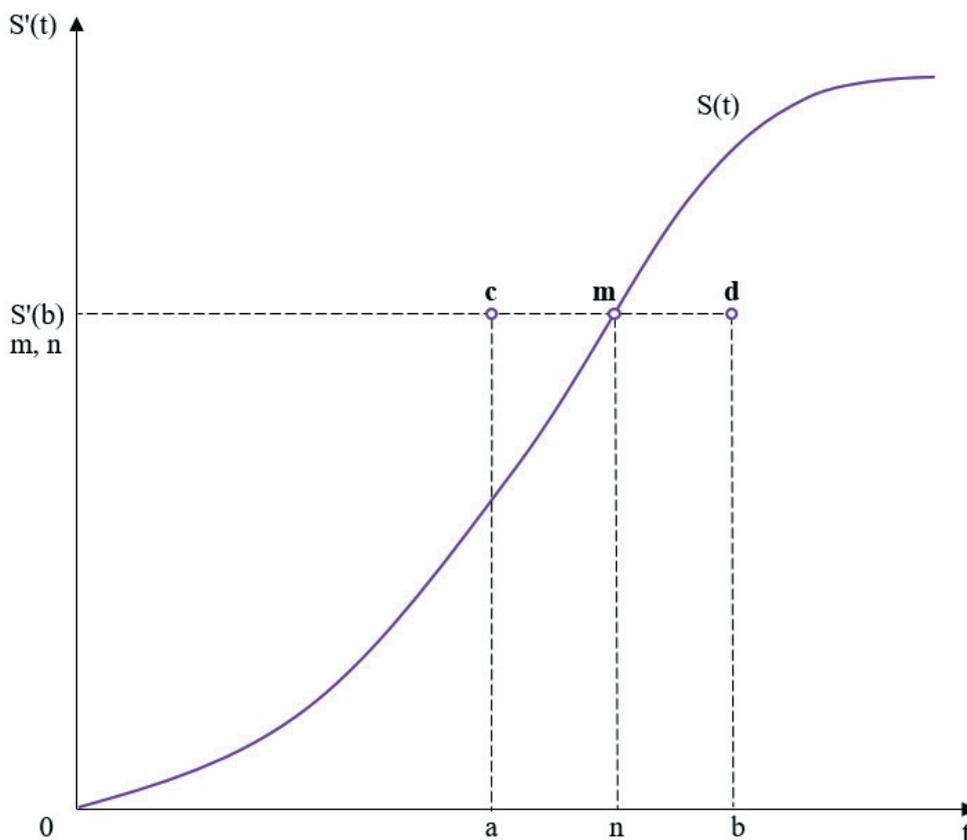


Рис. 6. Графическая интерпретация математического подхода к расчету трудоемкости промышленных товаров.
Источник: составлено авторами

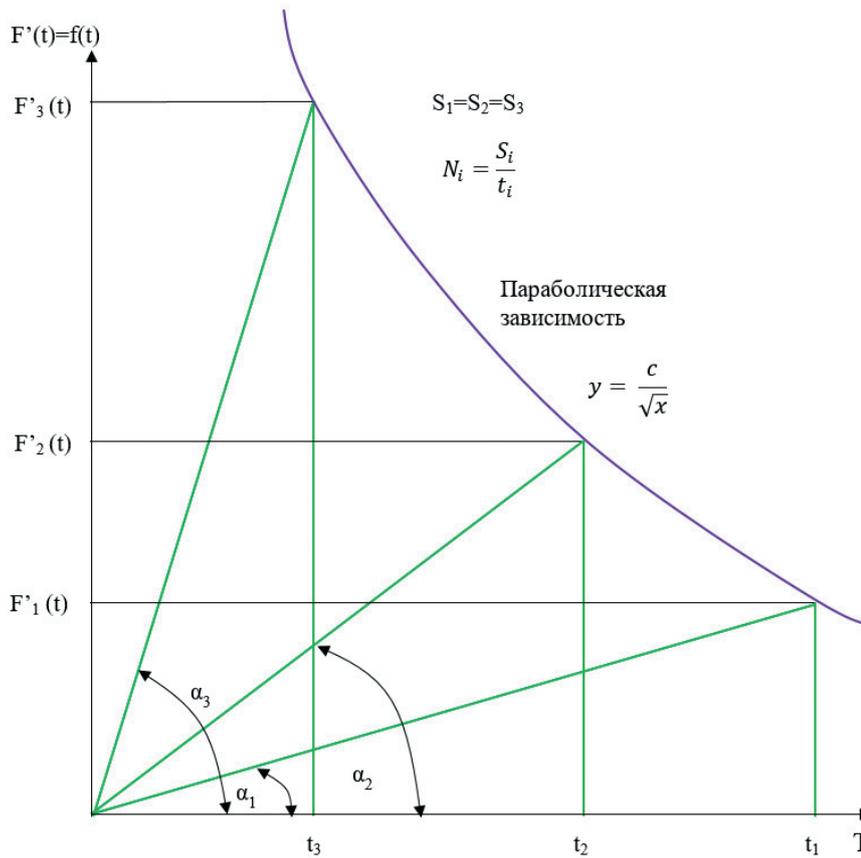


Рис. 7. Графическое представление расчета трудоемкости в человеко-часах.
Источник: составлено авторами

относительная характеристика энтропии $S_a - S_b$, производственного цикла по всему, в нашем случае, интегрированному производству кластера. В частности, при сокращении времени производственного цикла на dN при его времени от начала до конца равным T :

$$\int_{t_0}^{t_5} dN/T \leq S_a - S_b, \quad (16)$$

Эта же зависимость, выраженная через объем работ в стоимостном выражении:

$$\int_a^b dV/V_{\text{дир.произв.цикл}} \leq S_a - S_b, \quad (17)$$

где dV – изменение (к директивному производственному циклу), которое характеризует на сколько растет или уменьшается энтропия. Следовательно, размер производственной мощности N , зависящий от угла α_1 , имеет зону оптимума, к чему необходимо стремиться, а трудоемкость есть обобщенная характеристика технического уровня предприятия.

Огибающая кривая, проходящая по вершинам треугольников, есть параболическая функция вида:

$$y = c/\sqrt{x}, \quad (18)$$

Далее используем метод огибающих кривых Эйроса. Согласно определению, кривая называется огибающей семейства кривых y_a , зависящих от параметра « α », если она в каждой своей точке касается хотя бы одной кривой семейства и каждым своим отрезком касается бесконечного множества этих кривых. Метод огибающих кривых применим и к прогнозированию будущих технологий, как это приведено на рис. 8.

Для любого машиностроительного предприятия его технический уровень зависит от двух взаимосвязанных составляющих. Первое – это инновации, реализованные в виде технологического оборудования и автоматизированных линий (а теперь еще робототехника), и второе – компьютеризированная «цифровая» система управления производственным циклом по всем технологическим переделам от входного контроля поступающих материалов и комплектующих до поставки товарной продукции как единым производственно-технологическим комплексом.

Таким образом, переход на инновационные технологии, реализованные на высокопроизводительном оборудовании, в долгосрочной перспективе снизит затраты на изготовление продукции, что, в свою очередь, обеспечит рост производительности труда, снизит себестоимость продукции, а также увеличит объем производства и выпуска.

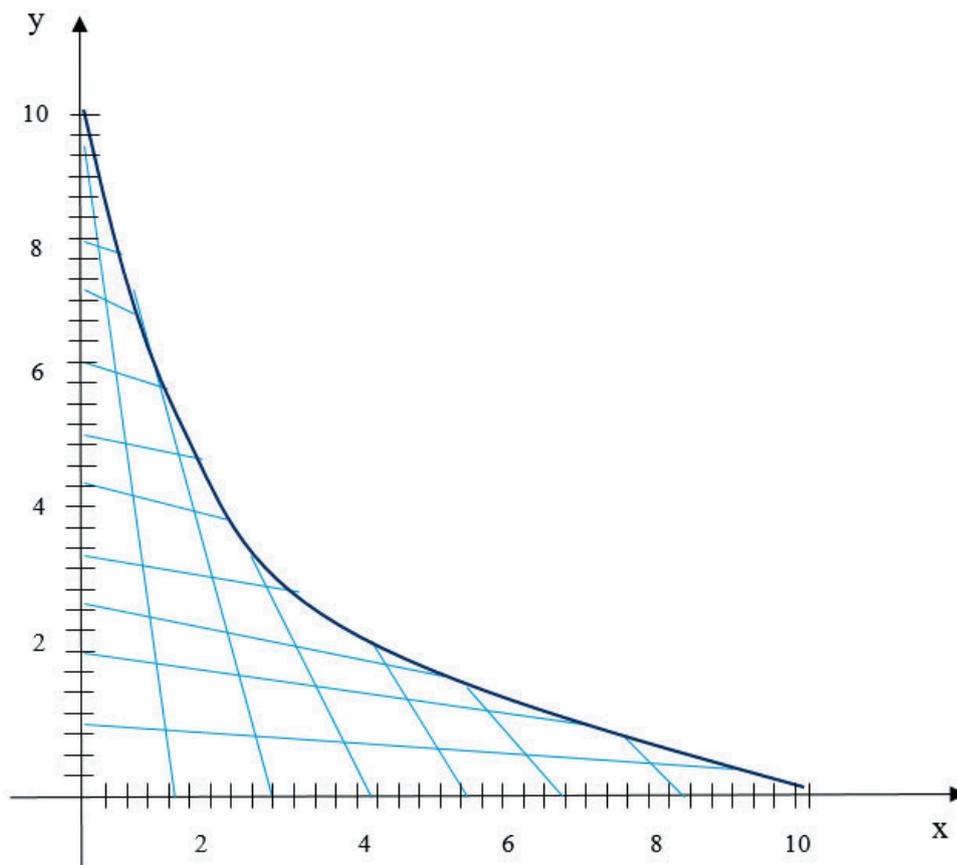


Рис. 8. Метод огибающих кривых.
Источник: составлено авторами

Применение представленного математического подхода к оценке объема работ в стоимостном выражении в совокупности по всему производственному циклу разработки НИОКР в планово-отчетном периоде (год) даст ответ на вопрос об экономической эффективности основной деятельности предприятий, а также осуществит в будущем необходимую оптимизацию распределения финансирования, имеющегося производственного и материально-технического обеспечения в рамках планируемого годового периода времени.

Заключение

По результатам проведенного исследования было определено, что объем работ в стоимостном выражении разработки НИОКР и производственного цикла любого товара, продукции, услуг, по сути, соответствует энергии, затраченной на этот товар, продукции и услуги. Его относительное изменение к первоначальному значению и есть приращение или уменьшение затрат энергии, характеризующее понятие энтропии. Если общий объем работ в стоимостном выражении производственного цикла уменьшается при переходе на новые, более прогрессивные и инновационные технологии, то энтропия, так же как и энтропия термодинамических процессов, уменьшается, а в случае роста —

энтропия увеличивается. Подобная закономерность в производственно-технологических процессах и управлении ими является аналогом второго начала термодинамики.

Анализ методических подходов в определении показателей трудоемкости, выработки, производительности, а, в конечном виде, экономической эффективности НИОКР и производственно-технологического комплекса и предприятия в целом показывает, что все они, без исключения, стохастичны, что в конечном счете влияет на качество определения показателей эффективности производства. Наличие математического подхода, основанного на расчете ключевых показателей экономической эффективности, позволяет произвести оценку состояния дел на предприятии и своевременно принять необходимые управленческие решения по повышению эффективности работы предприятия, используя искусственный интеллект.

Также переход на «цифровизированный» процесс разработки НИОКР и производственный цикл по всем его технологическим переделам и операциям кардинальным образом повышает точность определения объема работ любого этапа разработки НИОКР и технологической операции и передела за счет получения точных данных от датчиков времени начала, длительности и окончания этапа или технологической операции и расчетов размера

площади между первообразной функцией и осью абсцисс, которая отражает трудоемкость технологической операции или этапа разработки. В результате стохастичность снижается и повышается точность расчета объема работ в стоимостном выражении каждого этапа разработки НИОКР и объема работ каждой технологической операции, передела и производственного цикла в целом, что прямо отражается в лучшую сторону на экономической эффективности деятельности предприятия.

Программное обеспечение и цифровизация расчета объемов работ в стоимостном выражении стадий, этапов, подэтапов и планово-отчетного показателя «завершаемые работы» НИОКР, а также трудоемкости интегрированного производственного цикла, его технологических переделов и операций, в т.ч. по контролю автоматизированными техническими средствами качества товара, продукта, услуг, на основе объема работ в стоимостном выражении позволяет минимизировать затраты, оптимизировать весь процесс разработки НИОКР и производственно-технологического комплекса, что существенно повышает производительность

предприятия и его экономическую эффективность.

Таким образом, появляется возможность создать программный продукт на основе искусственного интеллекта, в котором, за исключением расчета показателя трудозатрат на основе данных учета рабочего времени в человеко-часах, отражаемых в отчетности предприятия, остальные показатели, а именно объемы работ в стоимостном выражении и времени (начало и окончание) по каждому этапу, подэтапу и завершаемой работе НИОКР, а также каждой технологической операции, технологическому переделу и производственному циклу в целом, выполняются без участия человека и сохраняются в базе данных (БД) как статистический материал.

АО «Организация «Агат» приглашает ведущие организации космической отрасли Госкорпорации «Роскосмос» выполнить совместно, применительно к тематике организаций, проект по созданию Комплексной системы управления тематикой НИОКР организации на принципах и научно-методических положениях, изложенных в данной статье.

Список литературы

1. Чебаненко В. М. Экономический взгляд извне на эффективность деятельности государственных корпораций в условиях рынка: монография / В. М. Чебаненко, М. С. Демин. – М.: Русайнс, 2020. – 162 с.; ISBN 978-5-4365-5587-4. – Текст: непосредственный.
2. Чесалов А. Ю. Глоссариум по искусственному интеллекту и информационным технологиям / А. Ю. Чесалов. – Ridero, 2024. – 342 с.; ISBN 978-5-0055-8957-6. – Текст: электронный. – URL: <https://www.litres.ru/book/aleksandr-urevich-ch/glossarium-po-iskusstvennomu-intellektu-i-informacion-67029140/> (дата обращения: 31.01.2025).
3. Арзамасов Ю. Г. Комплексный подход к определению искусственного интеллекта / Ю. Г. Арзамасов. – Текст: непосредственный // Вестник ВГУ. Серия: Право. – 2022. – № 3 (50). – С. 242–262.
4. Кондратьева К. С. Искусственный интеллект / К. С. Кондратьева. – Текст: непосредственный // Человек. Знак. Техника: I междисциплинар. молодеж. форум с междунар. участием: [сб. ст.] / Самар. Федер. исслед. центр Рос. акад. наук, Самар. нац. исслед. ун-т им. С. П. Королева; гл. ред. Н. А. Развейкина. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2021. – С. 86–90.
5. Аникейчик Н. Д. Планирование и управление НИР и ОКР. Учебное пособие / Н. Д. Аникейчик, И. Ю. Кинжагулов, А. В. Федоров. – Текст: непосредственный // СПб: Университет ИТМО, 2016. – 192 с.
6. Чебаненко В. М. Новые горизонты космической деятельности России / В. М. Чебаненко. – Текст: непосредственный // Экономика космоса. – 2023. – № 4. – С. 3–11. – DOI: 10.48612/agat/space_economics/2023.02.04.01.
7. Башлыкова А. А. Подход к обеспечению интероперабельности в сетевых системах управления / А. А. Башлыкова, С. В. Козлов, С. И. Макаренко, А. Я. Олейников, И. А. Фомин. – Текст: электронный // Журнал радиоэлектроники. – 2020. – № 6. – DOI: 10.30898/1684-1719.2020.6.13. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun20/13/text.pdf> (дата обращения: 02.02.2025).
8. Альбертс Д. Сетевая война: развитие и использование информационного превосходства / Д. Альбертс, Дж. Гарстка, Ф. Штейн. – Вашингтон: совместная исследовательская программа C4ISR. – 1999. – 256 с. – Текст: непосредственный.

List of literature

1. Chebanenko V. M. An economic view from the outside on the effectiveness of state corporations in market conditions: a monograph / V. M. Chebanenko, M. S. Demin. – M.: Ruscience, 2020. – 162 p.; ISBN 978-5-4365-5587-4. – Text: direct.

2. Chesalov A. Y. Glossary on artificial intelligence and information technologies / A. Y. Chesalov. – Ridero, 2024. – 342 p.; ISBN 978-5-0055-8957-6. – Text: electronic. – URL: <https://www.litres.ru/book/aleksandr-urevich-ch/glossarium-po-iskusstvennomu-intellektu-i-informacion-67029140/> (accessed: 31.01.2025).
3. Arzamasov Y. G. An integrated approach to the definition of artificial intelligence / Y. G. Arzamasov. – Text: direct // Bulletin of the VSU. Series: Law. – 2022. – № 3 (50). – pp. 242–262.
4. Kondratieva K. S. Artificial intelligence / K. S. Kondratieva. – Text: direct // Person. Sign. Technique: I interdisciplinary youth forum with international participation: [collection of articles] / Samara Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev; chief editor N. A. Razveikin. – Samara: SamRC RAS Publishing House, 2021. – pp. 86–90.
5. Anikeichik N. D. Planning and management of research and development. Textbook / N. D. Anikeychik, I. Y. Kinzhagulov, A.V. Fedorov. – Text: direct // St. Petersburg: ITMO University, 2016. – 192 p.
6. Chebanenko V. M. New horizons of Russia's space industry / V. M. Chebanenko. – Text: direct // Space economics. – 2023. – № 4. – pp. 3–11. – DOI: 10.48612/agat/space_economics/2023.02.04.01.
7. Bashlykova A. A. An approach to ensuring interoperability in network-centric control systems / A. A. Bashlykova, S. V. Kozlov, S. I. Makarenko, A. Y. Oleinikov, I. A. Fomin. – Text: electronic // Journal of Radio Electronics. – 2020. – № 6. – DOI: 10.30898/1684-1719.2020.6.13. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun20/13/text.pdf> (accessed: 02.02.2025).
8. Alberts D. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority / D. Alberts, J. Garstka, F. Stein. – Washington, D.C.: C4ISR Cooperative Research Program. – 1999. – 256 p. – Text: direct.

Рукопись получена: 12.02.2025

Рукопись одобрена: 17.03.2025