

А.И. Буравлев, доктор технических наук,
профессор

Модели управления ресурсным обеспечением проектов создания высокотехнологичной продукции

В статье рассматривается модель управления ресурсным обеспечением проектов создания высокотехнологичной продукции. В качестве модели эволюции продукции используется логистическая функция, темп изменения которой зависит от скорости используемого потока ресурсов. Проведен анализ типовых зависимостей скорости ресурсного обеспечения и для них получены аналитические выражения для функции эволюция проекта во времени и прогнозных оценок его готовности к использованию. Найдены оптимальные параметры динамики ресурсного обеспечения проекта, обеспечивающие для заданного уровня готовности проекта одинаковый объем затрат ресурсов.

Будущее России несомненно связано с технологическом развитием ее экономики и переходу к инновационным методам управления [1-3]. Одним из направлений эффективного развития отечественной экономики является проектное управление, которое позволяет сосредоточить усилия и необходимые ресурсы на ключевых направлениях развития экономики и создавать эффективные «точки роста» в различных ее секторах [1, 4].

Теория и практика проектного управления хорошо разработана и успешно используется в зарубежных корпорациях [5, 6]. Есть положительные примеры реализации проектного управления в нашей стране [7-9]. Для реализации проектов различного масштаба требуются соответствующие финансовые, материальные, трудовые и информационные ресурсы. Успешность реализации проекта во многом зависит от организации использования этих ресурсов. Задача управления ресурсным обеспечением является одной из проблемных задач проектного управления [8-10]. В предлагаемой статье рассматривается модель управления ресурсным обеспечением проекта.

Анализ статистики разработки проектов по различным промышленным изделиям показывает, что существует определенная закономерность в выполнении проекта. В таблице 1 приведены средние значения по относительной длительности этапов НИОКР и объема их выполнения относительно стоимости проекта [11-13].

Таблица 1 – средние значения по относительной длительности этапов НИОКР и объема их выполнения относительно стоимости проекта

Этапы НИОКР	НИЭР	Эскизный проект	Технический проект	Изготовление опытных образцов и их испытания	Корректировка РКД после испытаний
Относительная длительность этапа	0,05...0,07	0,1...0,12	0,6...0,7	0,16...0,17	0,03...0,05
Объем выполнения проекта	0,12...0,15	0,15...0,22	0,3...0,35	0,3...0,35	0,05...0,07

На рисунке 1 приведены диаграммы распределения объемов работ по этапам проекта. Из диаграммы видно, что статистическое распределение относительных объемов работ напоминает логистическое распределение. Это распределение часто наблюдается в экономике, производстве, технике [14]. Пропорционально объему работ изменяются и показатели качества продукта.

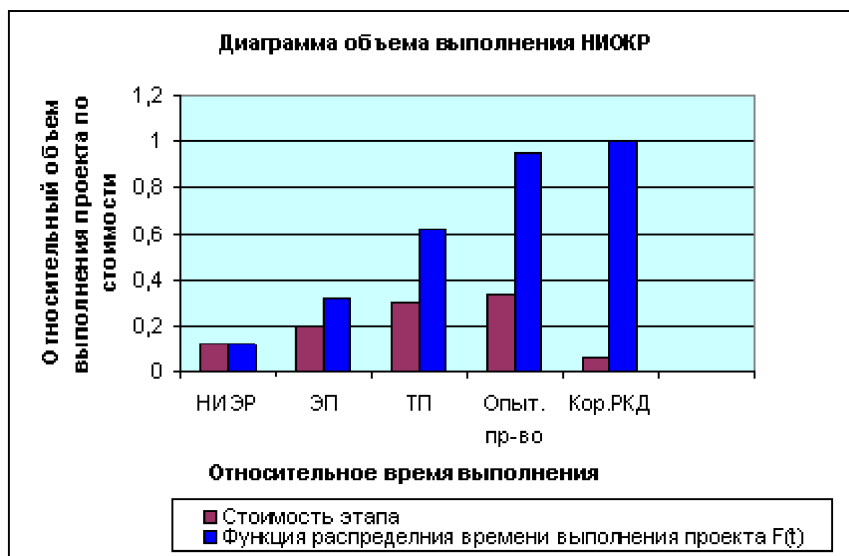


Рисунок 1 – Диаграммы объема работ по этапам НИОКР

Пусть K представляет собой обобщенный показатель качества продукта, который рассчитывается по частным характеристикам (параметрам) x_i технического изделия, относительно заданного эталонного образца [15]:

$$K = \prod_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{x_i^3} \right)^{\alpha_i},$$

где x_i^3 – частные характеристики эталонного продукта;

$$0 < \alpha_i < 1;$$

$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ – коэффициенты значимости частных показателей качества продукта, устанавливаемые экспертами.

Скорость изменения показателя качества продукта $K(t)$ зависит как от уже достигнутого значения, так и от возможности получения предельного (максимального) значения K_{max} при определенном темпе ресурсного обеспечения проекта. Под ресурсным обеспечением здесь понимается обеспечение системы материальными, финансовыми, трудовыми и информационными ресурсами. Дифференциальное уравнение, описывающее данный процесс имеет вид:

$$\frac{dK}{dt} = \nu K (K_{max} - K), \tag{1}$$

с начальным условием $K(0) = K_0$, где параметр $\nu > 0$ характеризует динамику развития продукта.

Для технических изделий начальное условие $K(0) = K_0$ характеризует уровень научно-технического и технологического задела для создания будущего образца техники.

Далее для удобства будем рассматривать относительное значение показателя качества продукта $0 < p = \frac{K}{K_{max}} \leq 1$, эволюция которого будет описываться уравнением:

$$\frac{dp}{dt} = \vartheta p(1-p); \quad p(0) = p_0. \tag{1}$$

где $\vartheta = \nu K_{max}$ – темп создания продукта;

p_0 – начальный уровень готовности продукта, определяемый уровнем научно-технического и технологического задела.

Решение этого уравнения при переменном темпе $\vartheta(t)$ имеет вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp\left(-\int_0^t \vartheta(\tau) d\tau\right)}, \quad (2)$$

где $A = \frac{1-p_0}{p_0}$ – параметр логистического уравнения, зависящий от начального уровня готовности продукта.

При постоянном темпе развития продукта ($\vartheta = \text{const}$) уравнение (3) принимает более простой вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp(-\vartheta t)}. \quad (3)$$

На рисунке 2 показаны графики эволюции продукта с постоянным темпом $\vartheta = 0,5 \text{ год}^{-1}$, но с разным начальным уровнем готовности $p_0 = 0,2$; $p_0 = 0,1$.

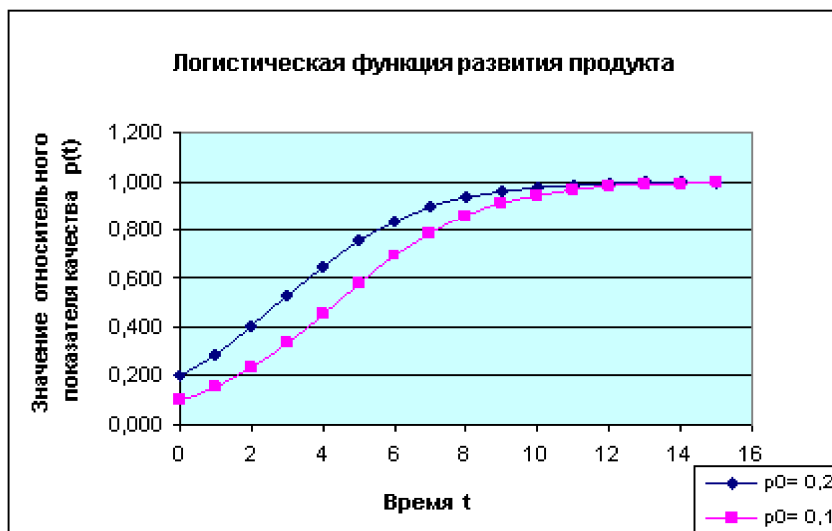


Рисунок 2 – Логистическая функция развития продукта

Если время создания продукта T от начала до достижения готовности к использованию по назначению полагать случайным, то при заданных параметрах его развития показатель $p(t)$ может быть интерпретирован как вероятность готовности продукта к использованию, а уравнение (3) – как уравнения ее динамики. Задавая гарантированный уровень вероятности готовности продукта γ , из уравнения (3) можно определить необходимое для этого время его создания. Из равенства:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp(-\vartheta t)} = \gamma,$$

получаем:

$$t_\gamma = -\frac{\ln\left(\frac{(1-\gamma)p_0}{\gamma(1-p_0)}\right)}{\vartheta}. \quad (4)$$

Так, для достижения уровня готовности продукта $\gamma = 0,95$ при начальном уровне его готовности $p_0 = 0,2$ и темпе создания $\vartheta = 0,5 \text{ год}^{-1}$ потребуется время $t_\gamma \geq 8,7$ года.

С помощью формулы (3) можно также рассчитать среднее время создания продукта для достижения его готовности к использованию:

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} [1 - p(t)] dt = \int_0^{\infty} \frac{A \exp(-\vartheta t) dt}{1 + A \exp(-\vartheta t)} = \frac{-\ln p_0}{\vartheta}. \quad (5)$$

Для рассмотренного выше примера это время составляет $\bar{t} = 3,2$ года. При этом вероятность готовности продукта к этому времени составит всего лишь $p_0(\bar{t}) = 0,56$. Этот пример свидетельствует о том, что среднее время создания продукта не может выступать определяющим критерием его готовности.

Темп создания продукта ϑ зависит от уровня ресурсного обеспечения этапов его разработки и производства. Все виды ресурсов, используемых при создании продукта, в конечном итоге могут быть выражены в единой стоимостной шкале и представлены в денежном эквиваленте.

Результаты многих исследований свидетельствуют о зависимости темпа создания различной продукции от скорости потока поставляемых ресурсов. Обозначим $C(t)$ величину поставленных ресурсов к моменту времени t , тогда величина $c(t) = \frac{dC(t)}{dt}$ определяет скорость потока поставляемых ресурсов.

Естественно предположить, что темп создания продукта пропорционален скорости потока поставляемых ресурсов:

$$\vartheta(t) = kc(t), \quad (6)$$

где $k > 0$ – коэффициент пропорциональности.

Тогда интеграл, стоящий в показателе экспоненты выражения (3), примет следующий вид:

$$I = \int_0^t \vartheta(\tau) d\tau = kC(t), \quad (7)$$

а функция эволюции продукта примет вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp(-kC(t))}. \quad (8)$$

Выражение (8) связывает уровень готовности продукта с объемом использованных ресурсов для его создания. Рассмотрим возможные варианты зависимости скорости потока ресурсов от времени, представляющие практический интерес.

1. Скорость потока ресурсов постоянна $c = \text{const}$.

В этом случае величина поставляемых ресурсов зависит линейно от времени $C(t) = ct$, а вероятность готовности системы будет рассчитываться по формуле:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp(-kct)}. \quad (9)$$

2. Скорость потока ресурсов линейно возрастает с течением времени: $c = \lambda t$.

В этом случае объем использованных ресурсов изменяется по квадратичному закону:

$$C(t) = \int_0^t \lambda \tau d\tau = \frac{\lambda t^2}{2}.$$

Выражение для функции эволюции продукта в этом случае принимает вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp\left(\frac{-k\lambda t^2}{2}\right)}. \quad (10)$$

Первые два случая характеризуют эволюцию продукта в условиях неограниченных ресурсов. В практических задачах ресурсы, используемые для создания любой продукции, ограничены.

Обозначим C_{np} предельное значение ресурсов, которые могут быть использованы для создания системы. В этом случае скорость потока ресурсов будет убывать по мере их использования. Рассмотрим стратегии использования ограниченных ресурсов.

3. Скорость потока ресурсов пропорциональна остатку ресурсов:

$$\frac{dC}{dt} = v(C_{np} - C). \quad (11)$$

В этом случае объем потребляемых ресурсов экспоненциально возрастает до предельного значения C_{np} :

$$C(t) = C_{np} [1 - \exp(-vt)].$$

Выражение для вероятности готовности продукта в этом случае имеет вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp[-kC_{np}(1 - \exp(-vt))]} \quad (12)$$

4. Скорость изменения ресурсного потока описывается логистической функцией:

$$\frac{dC}{dt} = vC(C_{np} - C); C(0) = C_0; v = \text{const}. \quad (13)$$

В этом случае потребный объем используемых ресурсов рассчитывается по формуле:

$$C(t) = \frac{C_{np}}{1 + B \exp(-vC_{np}t)}, \quad (14)$$

где $B = \frac{C_{np} - C_0}{C_0}$.

Выражение для вероятности готовности продукта принимает вид:

$$p(t) = \frac{1}{1 + A \exp\left[-\frac{kC_{np}}{1 + B \exp(-vt)}\right]} \quad (15)$$

На рисунках 3, 4 приведены рассмотренные выше логистические функции эволюции продукции и потребные для их создания ресурсы.

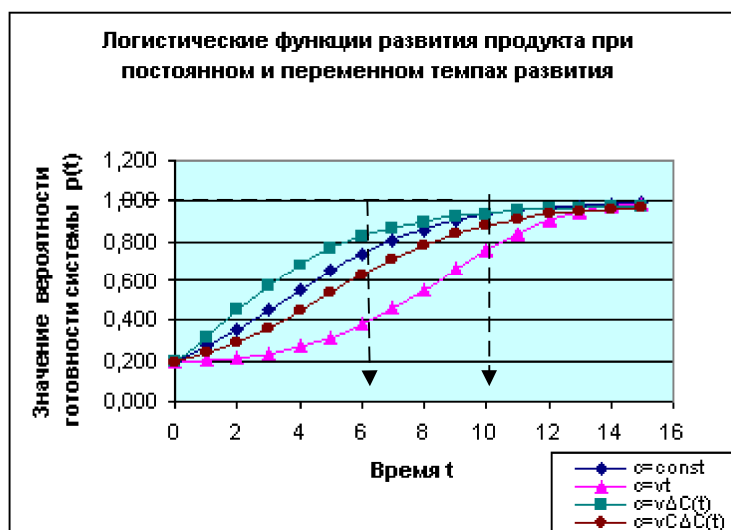


Рисунок 3 – Логистические функции эволюции продукции

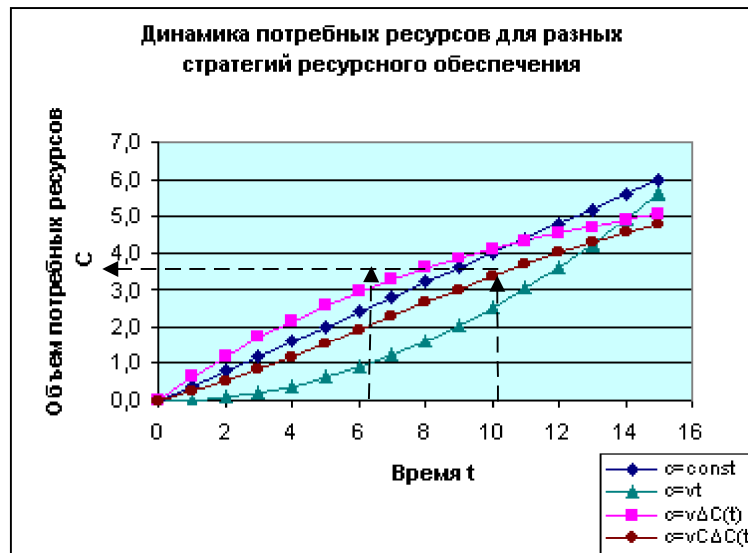


Рисунок 4 – Динамика ресурсного обеспечения создания продукции

Из приведенных графиков видно, что разные стратегии ресурсного обеспечения приводят к различной динамике развития продукции. Так, для достижения уровня готовности продукта $p=0,9$ потребуется порядка $t_y=8...9$ лет при постоянной скорости ресурсного потока (вариант 1) и скорости потока пропорциональной остатку ресурсов (вариант 3). При скорости ресурсного потока, линейно зависящей от времени (вариант 2) и подчиняющейся логистической зависимости (вариант 4), время выхода продукции на заданный уровень готовности составляет $t_y=11...12$ лет. При этом суммарные затраты ресурсов (без учета затрат на создание научно-технического задела) для всех вариантов примерно одинаковы и составляют $C(t_y)=3,6...3,7$ у.е.

Таким образом, выбор той или иной стратегии ресурсного обеспечения определяется целевым критерием управления процессом создания продукции.

При создании технических изделий в качестве целевых требований выступают:

- достижение уровня готовности изделия $p(t_y) \geq \gamma$ за заданное время t_y ;
- минимизация стоимости затрат ресурсов $C(t_y, c, p_0)$ по скорости ресурсного потока c при заданном уровне научно-технического задела p_0 .

Из равенства $p(t_y)=\gamma$ с использованием выражения (8) получаем требуемое значение функции затрат:

$$C(t_y) = -\frac{\ln\left(\frac{1-\gamma}{\gamma A}\right)}{k} \tag{16}$$

для достижения заданного уровня готовности изделия.

Далее, подставляя вместо $C(t_y)$ соответствующую функцию затрат, находим нужный параметр v , определяющий интенсивность потока ресурсов. Так, для варианта 3 получаем следующее значения темпа ресурсного обеспечения:

$$v = -\frac{1}{t_y} \ln\left(1 - \frac{\ln\left(\frac{1-\gamma}{\gamma A}\right)}{kC_{np}}\right) \tag{17}$$

Для любой функции затрат найденный темп ресурсного обеспечения обеспечивает достижение уровня готовности продукта и одинаковое значение конечных затрат $C(t_y)$. На рисунках 5,

6 показаны траектории развития продукта и динамика соответствующих затрат для достижения уровня его готовности $p=0,9$ за время $t_y=8$ лет.

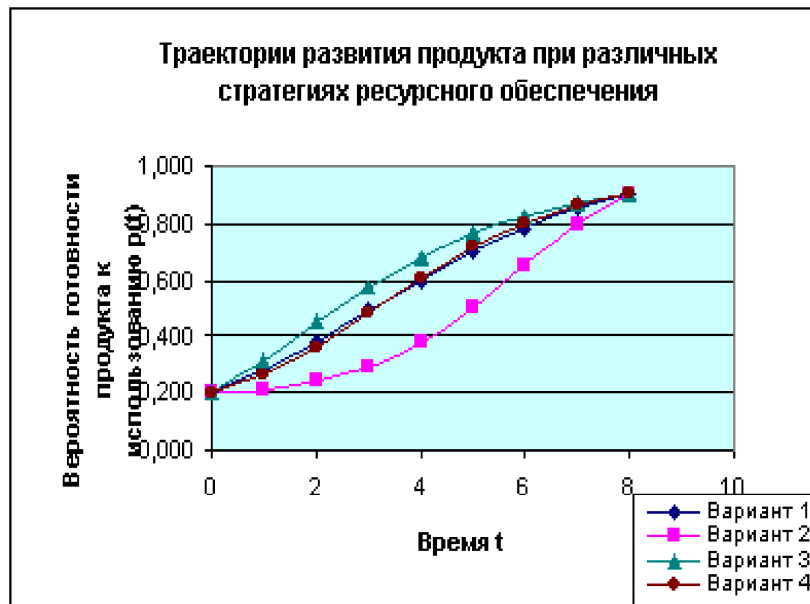


Рисунок 5 – Траектории развития продукции при различных стратегиях ресурсного обеспечения

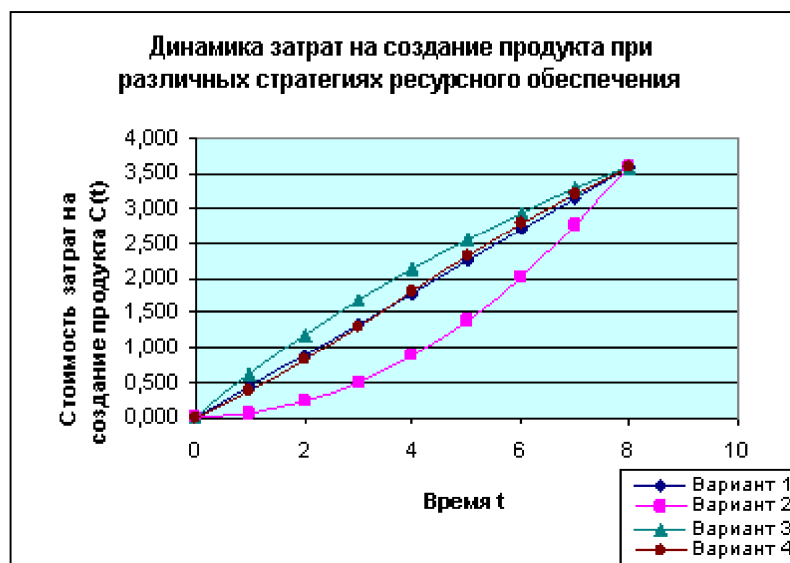


Рисунок 6 – Динамика затрат на создание продукции при различных стратегиях ресурсного обеспечения

Важным условием организации работ по проекту создания определенного продукта является характер его ресурсного обеспечения. Наиболее предпочтительным для разработчика продукта является равномерное или близкое к нему распределение ресурсов по годам проектного периода. В этом случае обеспечивается ритмичность проектных работ, возможность их планирования на будущие периоды, особенно в части использования трудовых и технологических ресурсов. На рисунке 7 приведены диаграммы годовых затрат ресурсов для различных вариантов ресурсного обеспечения.

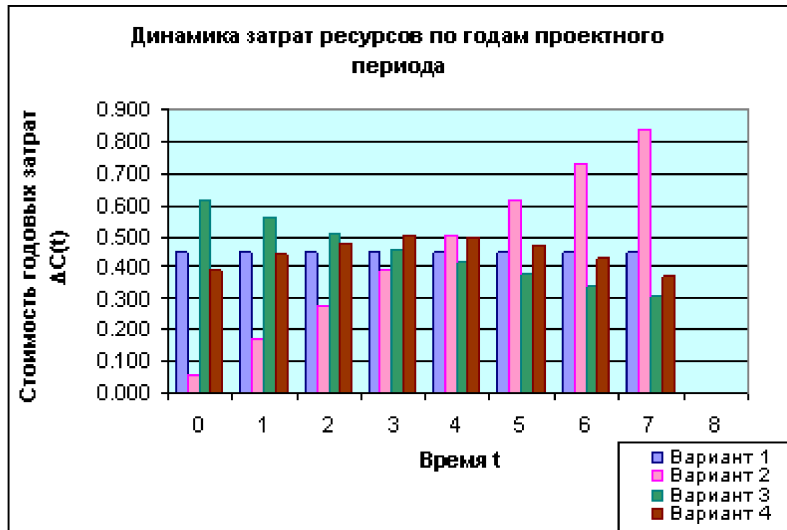


Рисунок 7 – Динамика затрат ресурсов по годам проектного периода

Из рисунка 7 видно, что наиболее подходящими для организации проектных работ являются варианты 1, 4. Вполне приемлемым также является вариант 3, в котором годовые затраты с течением времени постепенно уменьшаются, но сохраняют достаточно высокий уровень для завершения проектных работ. Менее привлекательным является вариант 2, когда основные объемы ресурсов падают на конечный период исполнения проекта.

В работах [10, 13] рассмотрена модель ресурсного обеспечения, в которой текущий объем ресурсов $C(t)$ зависит от заданного времени t_y исполнения проекта и выделенного объема C_{np} ресурсов:

$$C(t) = C_{np} \left(\frac{t}{t_y} \right)^v \exp \left[v \left(1 - \frac{t}{t_y} \right) \right], \quad (18)$$

где v – параметр интенсивности потока ресурсов.

Приведенная зависимость является также логистической функцией, заданной на ограниченном интервале времени. На рисунке 8 показаны графики этой функции и ее производной для значения параметра $v=1,5$.

Приведенная зависимость является также логистической функцией, заданной на ограниченном интервале времени. Введем относительное время $\tau = \frac{t}{t_y}$ и продифференцируем выражение (18) по времени τ , полагая $a = \text{const}$. В результате получаем следующее дифференциальное уравнение для скорости потока ресурсов:

$$\frac{dC}{d\tau} = -vC; \quad C(\tau=0)=0; \quad C(\tau=1)=C_{np},$$

где $v = a \left(1 - \frac{1}{\tau} \right)$ – убывающая функция интенсивности ресурсного потока. В результате получается модель ресурсного обеспечения по варианту 3.

При заданном ресурсном объеме $C_{np}=3,6$ у.е. и параметре интенсивности их использования $v=1,5$ год⁻¹ к сроку окончания проекта $t_y=8$ лет обеспечивается вероятность готовности проекта на уровне $p(t_y)=0,9$.

Таким образом, предложенные выше модели управления проектом создания высокотехнологичной продукции позволяет осуществлять рациональный выбор стратегии ресурсного обес-

печения, обеспечивающей достижение конечных целей выполнения проектов учетом внешней финансово-экономической ситуации.

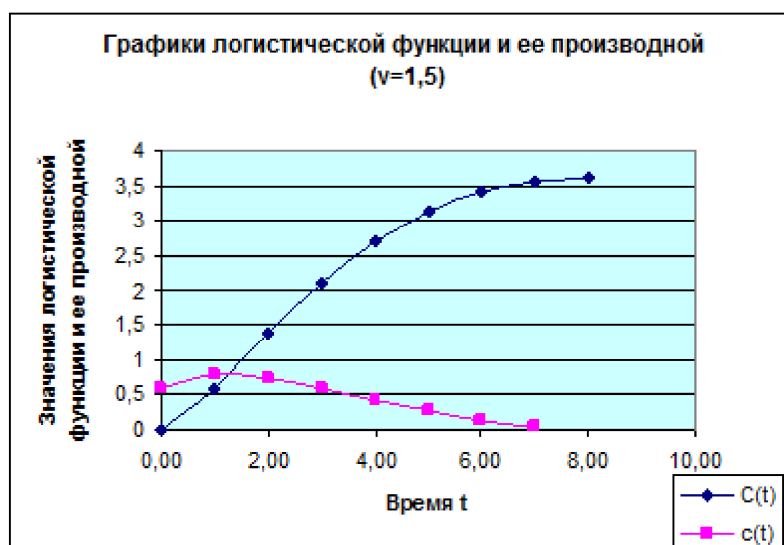


Рисунок 8 – Графики логистической функции и ее производной

Список использованных источников

1. Кузык Б.Н., Яковец Ю.В. Россия-2050: стратегия инновационного прорыва. – М.: Экономика, 2004. – 632 с.
2. Сценарий и перспектива развития России / Под ред. ак. В.А. Садовниченко, ак. А.А. Акаева, проф. А.В. Коротаева, проф. Г.Г. Малинецкого. – М.: ЛЕНАНД, 2011. – 317 с.
3. Сухарев О.С. Реиндустриализация экономики России как проблема управления крупномасштабной системой / Материалы седьмой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем MLSD, 2013» (30 сентября – 2 октября 2013, Москва, Россия). – М.: ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова, 2013.
4. Управление развитием крупномасштабных систем / Под ред. А.Д. Цвиркуна. – М.: Физматлит, 2012. – 496 с.
5. Казаковцев Д. Зарубежная практика структурно-технологического развития в промышленности // Проблемы теории и практики управления. – 2003. – № 3.
6. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. – М.: ПМСОФТ, 2005.
7. Буравлев А.И., Горчица Г.И., Трусов В.Н. Проектное управление как метод повышения эффективности научно-производственной деятельности авиапромышленных предприятий // Вооружение. Политика. Конверсия. – 2006. – № 2 (68).
8. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе. Ч. 1, 2 / Под ред. В.М. Буренка. – М.: Граница, 2013. – 532 с.
9. Буравлев А.И., Горчица Г.И., Саламатов В.Ю., Степановская И.А. Стратегическое управление промышленными корпорациями и предприятиями: методология и инструментальные средства. – М.: Физматлит, 2008. – 252 с.
10. Хрусталева Е.Ю., Хрусталева О.Е. Моделирование жизненного цикла программы создания наукоемкой продукции // Экономический анализ: теория и практика. – 2012. – № 16 (271).

11. Авдонин, Б.Н., Балычев С.Ю., Батьковский А.М., Божко В.П. Развитие теории и практики управления предприятиями высокотехнологического комплекса / Под общ. ред. Б.Н. Авдониной, А.М. Батьковского, В.П. Божко. – М.: МЭСИ, 2013. – 366 с.

12. Аносов Р.С., Строкова Т.М., Гаращук Е.А. Методика оценки прогнозируемых затрат на ОКР по разработке образцов радиоэлектронной техники военного назначения, не имеющих аналогов // Вооружение и экономика. – 2016. – № 1(34).

13. Буравлев А.И. Управление высокотехнологическими проектами на стадии НИОКР // Вооружение и экономика. – 2015. – № 3 (32).

14. Лебедев В.В., Лебедев К.В. Математическое и компьютерное моделирование экономики. – М.: НВТ-Дизайн, 2002. – 56 с.

15. Буравлев А.И., Брезгин В.С. Оценка качества объектов по неметризуемому вектору характеристик // Вооружение и экономика. – 2009. – № 1 (5).