УДК 653.511.012.005

МЕТОД ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ САПРТЭП ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО СТОИМОСТНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

© 2012 О.А. Верушкин[1], В.И. Кочергин[2], О.Э. Чоракаев[2]

[1] Федеральный научно-производственный центр ОАО “НПО “Марс”, г. Ульяновск
[2] Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 02.11.2012

В статье авторы предлагают метод описания и формирования технико-экономического уровня системы организации производства технико-экономической системы производства изделий на основе технико-экономической методологии – функционально – стоимостной инженерии. Авторы исследуют методику описания процедур использования САПР технико-экономического планирования разработок производственных систем организации производства; приводят расчеты с позиции “вложение, затраты-доход” с использованием экстремальной задачи, описывающей сложность системы и ее потенциальные возможности.
Ключевые слова: характеристика информационная, возможность потенциальная, значение максимальное, функционально-оптимальный, единица денежная, мощность ограничения и уравнение дифференциальное.

Предположим, что имеется C единиц-затрат и V единиц дохода при анализе, проектировании и реализации некоторой автоматизированной системы (на примере САПРТЭП). Оценке и измерению подлежат потенциальные возможности этой системы: насколько велико число таких реализаций? Вероятнее всего, система окажется в таком состоянии, в котором она имеет максимальное количество возможных реализаций при заданных величинах C и V. И наоборот, исходя из ранее заданных величин максимального значения, получим множества (линии уровня), состоящих из параметров C и V, соответствующих этим значениям. Один из вариантов оптимального развития систем можно представить как изменение параметров C и V в таком направлении, когда система наиболее быстро увеличивает максимальные количества своих возможных реализаций. Если просуммировать все максимальные возможности, имеющиеся у системы до текущих значений параметров C и V, то при некоторых условиях сохранения пропорций максимально выраженному росту указанной суммы соответствует степенная зависимость между доходом V и затратами C. При интерпретации результатов важно учитывать предпосылки, которые привели к той или иной информационной характеристике.

Пусть система [(*X* – затраты) – (*Д* – оператор) – (*Y* – доход)] состоит из двух звеньев. (Третье звено Д – оператор, то есть *действие* – глагол, условно опустим). *Первое звено* – (Х – затраты) – это деньги и работы, на которые они будут израсходованы. *Второе звено* – (*Y* – доход), – это некоторая сумма денег и продукт, приобретённый на эти деньги (например, системный продукт). Работы (сборочные работы, вычисления) могут быть разными. Это можно учесть, например, с помощью некоторого признака S, заданного для определённости некоторым числом из интервала [0,1].

Обозначим через $B(s)$ и $C(s)$ соответственно количество работ и количество вложенных в них денежных единиц, приходящихся на единицу признака S. Разобьём отрезок [0,1] точками $S_i(i=1,...,n)$ на малые интервалы длины ΔS. Представим, что каждую денежную единицу из $C(S_i)\Delta S$, имеющихся на интервале (S_i, $S_i+\Delta S$), можно вложить в выполнение одной из $B(s_i)\Delta S$ работ. Число возможных способов будет равно $[B(s_i)\Delta S]^{C(S_i)\Delta S}$. При этом денежные единицы считаем различными, несмотря на их количественное совпадение, что помогает запомнить в какую работу, и какая именно единица была вложена.

Пусть далее $U(s)$ и $V(s)$ – соответственно число услуг и число вложенных в них денежных единиц дохода, приходящиеся на единицу признака S. Представим, что каждую полученную от дохода денежных единиц из $V(S_i)\Delta S$ на интервале (S_i, $S_i+\Delta S$), можно вложить в одну из $U(S_i)\Delta S$, имеющихся на этом интервале услуг. Число всевозможных способов будет равно: $[U(S_i)\Delta S]^{V(S_i)\Delta S}$.

Верушкин Олег Александрович, инженер.
Кочергин Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент.
Чоракаев Олег Эдуардович, аспирант.
E-mail: olegchorakaev@yandex.ru

Тогда число способов вложения денег в системе из двух звеньев [(X –затраты) – (Y – доход)] и {(Y – доход) – [$C(s)$ – вложения]} равно:

$$[B(S_i)\Delta S]^{C(S_i)\Delta S}[U(S_i)\Delta S]^{V(S_i)\Delta S}.$$

Учитывая *вложения* по всем признакам и их комбинации, найдём число всевозможных *способов вложений* уже по всем признакам:

$$\prod_{i=1}^{n}[B(S_i)\Delta S]^{C(S_i)\Delta S}[U(S_i)\Delta S]^{V(S_i)\Delta S}.$$

Полагая, что все эти возможности равновероятны, приходим к величине информации, которую в среднем несёт сообщение о реализации одного из указанных способов вложения:

$$I_i = \ln\{\prod_{i=1}^{n}[B(S_i)\Delta S]\}^{C(S_i)\Delta S}[U(S_i)\Delta S]^{V(S_i)\Delta S}$$

или:

$$I_i = \sum_{i=1}^{n}[C(S_i)\Delta S]\ln[B(S_i)] + \sum_{i=1}^{n}[C(S_i)\Delta S]\ln(\Delta S) +$$

$$+\sum_{i=1}^{n}[V(S_i)\Delta S]\ln[U(S_i)] + +\sum_{i=1}^{n}[V(S_i)\Delta S]\ln(\Delta S). \quad (1)$$

При заданных денежных средствах и при малых ΔS только первое и второе слагаемые зависят от вида $B(s)$, $C(s)$, $U(s)$, и $V(s)$. Второе и четвёртое слагаемые одинаковы для всех таких зависимостей с указанным условием на $C(s)$ и $V(s)$.

Далее рассмотрим такую *экстремальную задачу:*

$$\int_0^1 C(s)ds = C, \quad (2)$$

$$\int_0^1 V(s)ds = V, \quad (3)$$

$$B(s) \le B, \quad (4)$$

$$U(s) \le U, \quad (5)$$

$$\Phi[C(s), B(s), V(s), U(s)] =$$

$$= \int_0^1 \{C(s)\ln[B(s)] + V(s)\ln[ucs]\}ds \to \max, \quad (6)$$

где $B(s)$, $C(s)$, $U(s)$, и $V(s)$ – подлежащие определению суммарные почти всюду неотрицательные на отрезке [0,1] функции и такие, что функционал (Φ) имеет конечное значение.

B, C, U, и V – заданные положительные числа. Функционал (Φ) определён по аналогии с конечным пределом при $\Delta S \to 0$ первого и третьего слагаемых выражения (1), который существует, например, при условии непрерывности функций $B(s)$, $C(s)$, $U(s)$, и $V(s)$. Величина (Φ) имеет смысл некоторой информационной характеристики, описывающей сложность системы и её потенциальные возможности.

Условие (4) задаёт ограничение на величину работ равномерно по всем признакам, а (5) ограничивает суммарное количество вложений по всем признакам. Поэтому условие (2) можно интерпретировать, как возможность концентрировать, например, все денежные вложения в работах, отвечающих некоторому одному признаку S_0 (при этом $C(s) \to +\infty$ при $S \to S_0$), а условие (4) – как естественное ограничение мощности при производстве работ. Аналогичное замечание можно сделать об условиях (3) – (5).

Таким образом, решение задачи (2) – (6) определит такое состояние системы, в котором она обладает максимальными возможностями при данном уровне денежных средств и мощности реализации работ - вычислительных услуг.

В силу монотонности логарифма искомое решение задачи (2) –(6) существует и имеет вид: $B(s) = B$, $U(s) = U$, при почти всех $S \in [0,1]$, а $C(s)$ и $V(s)$ – любые неотрицательные функции, удовлетворяющие условиям (2) и (3). При этом максимальное значение функционала (Φ) равно:

$$I_i = C\ln B + V\ln \mathrm{U}. \quad (7)$$

Если рассмотреть задачу оптимизации (2) – (6) с заменой ограничений (2) – (3) на ограничения типа (4) – (5), то максимальное значение (6) будет равно по-прежнему величине (7) в силу монотонности логарифма. Если поменять местами тип ограничений (2) – (3) и (4) - (5), [то есть интегральные ограничения на $C(s)$ и $V(s)$ – на равномерное, а равномерные ограничения на $B(s)$ и $U(s)$ – на интегральные], то оказывается, что и в этом случае максимальное значение (6) в соответствующей задаче *оптимизации* будет равно величине (7) в силу вогнутости логарифма. Заметим также, что можно рассмотреть задачу оптимизации (2) – (6) с заменой ограничений (4) – (5) на ограничения типа (2) или (3). Эта задача не имеет решения, то есть максимизируемый функционал (6) можно сделать сколько угодно большим по величине.

Итак, при весьма общих предложениях, максимальное значение информационной характеристики Φ, связанное с максимальными возможностями *системы* (САПРТЭП), зависит только от величин B, C, U, V и не зависит от вида B(s), C(s), U(s) и V(s). При этом максимальная величина информационной характеристики Φ определяется по формуле (7).

Таким образом, если предположить, что *система* находится в состоянии с максимальным количеством потенциальных возможностей, определяемых в смысле величины информационной характеристики Φ, то приходим к информационной характеристике (7).

Далее, для оценки параметров системы, рассмотрим процедуру оптимизации этих параметров при их изменении в процессе формирования и организации САПР технико-экономических процессов (САПРТЭП). Итак, найдём соотношение между параметрами B, C, U и V при условии, что их изменение приводит к наиболее быстрому возрастанию величины (7), то есть максимально быстро увеличивается сложность системы и её потенциальные возможности. В этом смысле при таком изменении параметров развитие системы оптимально, и оно определяется направлениями градиентов к поверхностям уровня функции (7) как функции переменных B, C, U и V. Отсюда имеем систему дифференциальных уравнений:

$$\check{C} = \ln B, \tag{8}$$

$$\check{B} = \frac{C}{B}, \tag{9}$$

$$\check{V} = \ln U, \tag{10}$$

$$\check{U} = \frac{V}{U}, \tag{11}$$

с начальными условиями:

$$C(0) = C_0,\ B(0) = B_0,$$
$$V(0) = V_0,\ U(0) = U_0, \tag{12}$$

где B_0, C_0, U_0 и V_0 – некоторые заданные числа, большие либо равные 1.

Можно найти решения системы дифференциальных уравнений (8) – (12) в квадратурах и показать, что они обладают свойствами:

$C \to +\infty$, $B \to +\infty$, $U \to +\infty$, $V \to +\infty$, при $B \sim U$ и $C \sim V$, то есть B – эквивалентна U, а C – эквивалентна V, а их предел отношения стремится к единице при соответствующем изменении аргумента.

Таким образом, если параметры системы B, C, U и V меняются так, что информационная характеристика (7) максимально быстро изменяет свои значения, то при больших величинах параметров звенья *"затраты – вложения"* и *"доход – вложения"* системы начинают функционировать одинаково: $B \sim U$ и $C \sim V$. Для оптимизации параметров системы с дополнительными условиями при их изменении, обратимся к случаю или ситуациям, в которых на параметры системы наложены дополнительные ограничения, то есть существуют некоторые варианты внешнего воздействия на систему или на управление системой.

1. Предположим, что отношение количества работ к количеству сборочных работ (с вычислительными услугами) есть величина постоянная, равная некоторому положительному значению $k \geq 1/U_0^2$.

Тогда функция (7) будет иметь вид:

$$I = \check{C}\ln k\check{U} + \check{V}\ln\check{U}, \tag{13}$$

то есть вид уравнения, определяющего изменение параметров C, U и V системы, при которых значение функции (13) изменяется с максимальной скоростью. Параметры $\check{C}$, $\check{U}$ и $\check{V}$ определяются из решения системы дифференциальных уравнений вида:

$$\check{C} = \ln kU, \tag{14}$$

$$\check{U} = \frac{C+V}{U}, \tag{15}$$

$$\check{V} = \ln U, \tag{16}$$

с начальными условиями:

$$C(0) = C_0,\ U(0) = U_0,\ V(0) = V_0. \tag{17}$$

Возможно решение системы (14) – (17) в квадратурах при условии, что они обладают свойствами $U \to \infty$, $C \to \infty$ и $V \to \infty$, причём $C \sim V$ (при условии, что количество вычислительных услуг и работ управления пропорциональны).

2. Предположим, что отношение количества работ к количеству вложенных в них денег и отношение количества услуг к количеству затраченных на них денег есть постоянные величины, равные соответственно некоторым положительным значениям $k_1 \geq 1/C_0$ и $k_2 \geq 1/V_0$. Тогда функция (7) будет иметь вид:

$$I = C\ln k_1 C + V\ln k_2 V. \tag{18}$$

Уравнения, определяющие соответствующие изменения параметров, принимают вид:

$$\check{C} = \ln k_1 C + 1,\ \check{V} = \ln k_2 V + 1 \tag{19}$$

с начальными условиями:

$$C(0) = C_0,\ \ V(0) = V_0. \tag{20}$$

Можно найти решения системы (19) – (20) в квадратурах и показать, что они обладают свойствами $C \to \infty$, $V \to \infty$, причём $C \sim V$. При этом напомним, что $B = k_1 C$, $U = k_2 V$.

3. Пусть выполнены предложения п.2. Найдём изменение параметров C и V, при котором с наибольшей скоростью изменяется значение функции:

$$I^o = \int_{C_0}^{C} x\ln(k_1 x)dx + \int_{V_0}^{V} y\ln(k_2 y)dy. \tag{21}$$

Величина (21) – это общая интегральная информационная характеристика, которая каждому состоянию *системы* (C, V) ставит в соответствие I^o, являющейся суммой величин потенциальных возможностей всех состояний *системы* от минимально возможного ($B_{\min} = k_1 C = 1$, $U_{\min} = k_2 V = 1;$) до текущего (C,V). Отметим, что I^o является функцией состояния и в строгом смысле: рассматривая на плоскости параметров (C,V) произвольный путь, соединяющий начальную точку ($1/k_1$, $1/k_2$) и текущую точку (C,V), получим независимость величины I^o от пути интегрирования в силу потенциальности векторного поля [$C\ln(k_1 C)$, $V\ln(k_2 V)$].

Уравнения, определяющие соответствующие изменения параметров, принимают вид:

$$\check{C} = C\ln k_1 C, \quad \check{V} = V\ln k_1 V, \tag{22}$$

с начальными условиями (20).

Простое интегрирование системы (22) даёт решение в явном виде:

$$C = \frac{1}{k_1}(k_1 C_0)^{\exp(t)}, \quad V = \frac{1}{k_2}(k_2 V_0)^{\exp(t)}. \tag{23}$$

Отсюда видно, что переменные C и V связаны некоторой степенной зависимостью

$$V = AC^{\gamma}, \tag{24}$$

где

$$A = \frac{k_1^{\gamma}}{k_2}, \gamma = k_1 C_0 \ln(k_2 V_0). \tag{25}$$

Кроме того, при этом:

$$B = k_1 C, U = Ak_2 C^{\gamma}, \frac{U}{B} = A\frac{k_2}{k_1}C^{\gamma-1}. \tag{26}$$

Из выше описанного следует, что оптимальная величина дохода по затратам – постоянная величина: увеличение затрат на один пункт приводит к изменению дохода на γ пунктов. Такая зависимость появляется в САПРТЭП, характеризующихся устойчивым, стабильным функционированием. Это согласуется с условием *оптимального развития при максимально быстром изменении информационной характеристики,* которое быстро можно связать по смыслу с максимально быстрым ростом потенциальных возможностей системы.

Отметим, что после интегрирования (21) можно переписать в виде:

$$I^o = \frac{C^2}{2}\ln(k_1 C) + \frac{V^2}{2}\ln(k_2 V) - \frac{C^2}{4} - \frac{V^2}{4} + \frac{1}{4k_1^2} + \frac{1}{4k_2^2}. \tag{27}$$

Таким образом, в рамках рассматриваемой модели (X – затраты) – (Y – доход), то есть “вход – выход” в ходе организации системы автоматизированного проектирования технико-экономических процессов организации производства сложных изделий, полученные результаты с учетом действий *Д* – операторов, позволяет определить *оптимальные пропорции* между ее составляющими и *оценивать* потенциальные возможности состояния САПРТЭП в смысле характеристики (27), связанной в силу способа ее построения с множеством реализаций системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Попов П.М., Савин М.В., Попов П.М.* Анализ процедур моделирования и описания процессов проектирования организации производства.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Том 13. № 4(2). С. 431 – 439.
2. *Кочергин В.И.*. Анализ и разработка математических методов и моделей для совершенствования технологических процессов и организации производства изделий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Том 12. № 4(2). С. 439 – 445.
3. *Кочергин В.И.* Средства автоматизированного проектирования процессов управления ресурсными испытаниями механических приводов летательных аппаратов. Дисс. ... канд. техн. наук. 05.13.12 . Ульяновск, 2008. 155 с.

METHOD OF FEASIBILITY DESCRIPTION CAD FEASIBILITY PLAN OF ORGANIZATION OF PRODUCTION APPLICATIONS USING ELEMENTS OF FUNCTIONAL COST ENGINEERS

© 2012 O.A. Verushkin[1],V.I. Kochergin[2], O.E. Chorakaev[2]

[1] Federal Research and Production Center of JSC “NPO” Mars “, Ulyanovsk
[2] Institute of Aviation Technology and Management of Ulyanovsk State Technical University

The authors propose a method of describing and forming technical and economic level of the organization of production of technical and economic production system products based on technical and economic methodology - functional - value engineering. The authors explore the methodology procedures for using CAD technical and economic planning of production systems development organization of production, with the calculation of the position of “investment, cost-to-income” using the extremely problem, which describes the complexity of the system and its potential.

Keywords: Characteristics of information, the possibility of the potential, the value of the maximum, optimum functional, the unit of currency, capacity constraints and the differential equation.

Oleg Verushkin, Engineer
Viktor Kochergin, Candidate of Technics, Associate Professor.
Oleg Chorakaev, Graduate Student.
E-mail: olegchorakaev@yandex.ru