Мартышенко Н.С., Мартышенко С.Н., Гусев Е.Г. Оптимизация календарного плана реализации программ на основе синергетического подхода // Проблемы теории и практики управления, 2008. – №6. С. 91–96.

2008

ОПТИМИЗАЦИЯ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Мартышенко С.Н., Мартышенко Н.С., Гусев Е.Г.
Владивостокский государственный университет экономики и сервиса
Владивосток, Россия, E-mail: sergey.martishenko@vvsu.ru

Сегодня можно констатировать, что экономика России начинает по-настоящему оживать. Первым признаком такого оживления является то, что правительство страны готово рассматривать крупные национальные проекты, затрагивающие интересы больших слоев населения. Отрадно видеть, что одним из приоритетов было выбрано развитие Дальневосточного региона. Как отмечают многие политические деятели, проблема экономического развития Дальневосточного региона стоит настолько остро, что под угрозой территориальная целостность России.

Поставленные цели могут быть достигнуты, если будут выдержаны два принципа. Во-первых, будут правильно выбраны точки экономического роста. Это должны быть такие проекты, которые станут локомотивами всей экономики не только региона, но и страны в целом [3]. Во-вторых, на фоне сложной демографической обстановки в регионе важно оптимизировать последовательность (календарный график) ввода новых проектов, способствующих развитию уровня и качества жизни населения и соответственно воспроизводству развитию производительных сил региона.

Оба эти принципа полностью укладываются в рамки синергетического подхода к планированию позитивных сдвигов социально-экономических систем региона. В данной работе мы предлагаем рассмотреть математическую модель, демонстрирующую синергетический эффект при планировании возведения новых объектов туристской индустрии, которая является одной из перспективных многоотраслевых систем экономики края, обладающего уникальными природными ресурсами. Ряд моделей, позволяющих оптимизировать структуру развития туристского комплекса региона, представлены в работах [1 и 2]. Эти модели позволяют осуществить отбор проектов, в совокупности обуславливающих усиление синергетического эффекта для развития туристской индустрии.

Здесь мы рассмотрим еще один вариант модели. Задача состоит в отборе из n проектов, представленного портфеля, серии проектов, удовлетворяющих установленным ограничениям, и составлении для них календарного плана, обладающего максимальным синергетическим эффектом.

Объем финансирования всех проектов Ω_0 разбит по годам. Если плановый период, отведенный на реализацию всех проектов, составляет G лет, то:

$$\Omega_0 = \sum_{j=1}^{G} \Omega_j \, , \tag{1}$$

где Ω_j - объем финансирования в год j $(j=\overline{1,G})$.

Если выделенные средства в отдельном году не расходуются, то остаток переносится на следующий финансовый год и так далее. Для определенности будем полагать, что в течение планового периода в G лет все средства должны быть израсходованы. Однако это условие может принимать и другой вид. Например, можно потребовать, чтобы все проекты были завершены в течение планового периода G, когда производится финансирование проектов.

Предполагается, что для каждого проекта, из числа которых отбираются самые перспективные, определен общий объем финансирования C_i^0 $(i=\overline{1,n})$ и необходимый объем финансирования по годам:

$$C_i^0 = \sum_{t_i}^{\tau_i} c_i^{t_i}, \tag{2}$$

где i– номер проекта $(i=\overline{1,n})$;

$c_i^{t_i}$ - необходимые объемы финансирования i – го проекта по годам $(t_i=\overline{1,\tau_i})$;

τ_i - срок реализации i – го проекта (в годах).

$$\tau = \max_i(\tau_i) \tag{3}$$

Параметры $c_i^{t_i}$ сведем в матрицу C размерности $(n\times\tau)$. Незаполненным элементам матрицы присвоим значение ноль.

Сроки реализации проектов можно представить в виде бинарной матрицы μ. Элементы этой матрицы $\mu_{\pi i}$ $(\pi=\overline{1,\tau};\, i=\overline{1,n})$ определим как:

$$\mu_{\pi i} = \begin{cases} 1 - \text{если } \pi = \tau_\text{i} \\ 0 - \text{если } \pi \neq \tau_\text{i} \end{cases}, \tag{4}$$

где i – номер проекта $(i=\overline{1,n})$;

π – вспомогательная индексная переменная, принимающая значения натурального ряда чисел 1,2,3, … $(\pi=\overline{1,\tau})$.

При реализации проекта не реально ожидать, что он сразу достигнет своей максимальной загрузки. Если такое происходит, то объект бесперспективен и стареет уже до своего ввода. Поэтому для каждого проекта определим три параметра:

$q_i^н$ - объем потребителей, привлекаемых в первый год после реализации i – го проекта $(i=\overline{1,n})$;

$q_i^к$ - объем потребителей, привлекаемых при максимальной загрузке объектов, реализованных в i – м проекте $(i=\overline{1,n})$;

T_i - срок вывода проекта на максимальную мощность.

Считается, что прирост потребителей по годам от 1 до T_i подчиняется линейному закону. Это предположение не сужает общности рассуждений, поскольку в данном случае любая нелинейная функция может быть представлена кусочно-линейной. Параметры $q_i^н, q_i^к, T_i$ для каждого проекта оцениваются при условии, что не будут реализованы все остальные проекты.

Однако, отдельные проекты, могут в сочетании обладать значительным синергетическим эффектом. Наличие синергетического эффекта задается рядом дополнительных параметров. Формально, каждое сочетание реализованных проектов, обладающее синергетическим эффектом, задается бинарным вектором $S_r = (s_{r1}, s_{r2}, \ldots, s_{rn})$, $r = \overline{1,R}$. Элементы вектора S_r определяются условием:

$$s_{ri} = \begin{cases} 1 - \text{если } i\text{ - ый проект входит в } r\text{ - ую комбинацию,} \\ \quad \text{обладающую синергетическим эффектом} \\ 0 - \text{если } i\text{ - ый проект не входит в } r\text{ - ую комбинацию,} \\ \quad \text{обладающую синергетическим эффектом} \end{cases} \quad (5)$$

Синергетический эффект проявляется, когда реализуется заданная комбинация проектов. Для каждой комбинации вводится три дополнительных параметра: $p_r^н, p_r^к, T_r'$ $(r = \overline{1,R})$, являющихся аналогом параметров $q_i^н, q_i^к, T_i$ в ситуации возникновения синергетического эффекта.

Календарный план для выбранных проектов описывается набором переменных *X*:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{G1} & x_{G2} & \cdots & x_{Gn} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

где

$$x_{ji} = \begin{cases} 1 - \text{если в } j\text{ - ый год начинается реализация } i\text{ - го проекта} \\ 0 - \text{если в } j\text{ - ый год не начинается реализация } i\text{ - го проекта} \end{cases},$$

i – номер проекта $(i = \overline{1,n})$;

j – номер года с начала планового периода $(j = \overline{1,G})$.

Номер года начала эксплуатации объектов g_i, ассоциированных с проектом *i*, отсчитывается от начала планового периода и принимает значения 1,2, …, G :

$$g_i = \sum_{j=1}^{G} (1 + j) x_{ji} \quad (7)$$

Для того чтобы избежать нелинейностей в записи математической модели потребуется ввести ряд дополнительных параметров. К числу таких параметров относится бинарная матрица $Y\,(\nu \times n)$, определяющая сроки завершения проектов для календарного плана $X\,(G \times n)$. Количество столбцов матрицы равно n – по числу рассматриваемых проектов, а количество строк определяется по формуле:

$$\nu = \max(G + \tau - 1) \qquad (8)$$

Содержательный смысл элементов матрицы Y определяется условием:

$$y_{\psi i} = \begin{cases} 1 - \text{если в } \psi\text{ - ый год заканчивается реализация } i\text{ - го проекта} \\ 0 - \text{если в } \psi\text{ - ый год не заканчивается реализация } i\text{ - го проекта} \end{cases}, \qquad (9)$$

где

i – номер проекта $(i = \overline{1,n})$;

ψ – номер года с начала планового периода $(\psi = \overline{1,\nu})$.

Для расчета элементов матрицы Y потребуется вспомогательная матрица $A\,(\nu \times n \times \tau)$. Ряд элементов матрицы A равны единице:

$$a^{\pi}_{\psi+1,\psi} = 1, \qquad (10)$$

где

π – вспомогательная индексная переменная, принимающая значения натурального ряда чисел 1,2,3, … $(\pi = \overline{1,\tau})$;

ψ – номер года с начала планового периода $(\psi = \overline{1,\nu})$.

Остальные элементы матрицы A равны нулю. Теперь можно рассчитать элементы матрицы Y. Все элементы первой строки матрицы Y равны нулю, поскольку не один проект в первый год планового периода не реализован. Остальные элементы матрицы Y можно рассчитать по формуле:

$$y_{\psi i} = \sum_{\pi=1}^{\tau} x_{\psi-1,i}\,\mu_{\pi i}\,a^{\pi}_{\psi,\psi-1}\,, \qquad (11)$$

где i – номер проекта $(i = \overline{1,n})$;

ψ – номер года с начала планового периода $(\psi = \overline{2,\nu})$.

Полная загрузка всех введенных проектов произойдет не позднее чем через G' лет $(G' > G)$. Максимальное значение для G' равно:

$$G' = \max_i (G + \tau_i + T_i) \qquad (12)$$

Поэтому для определения суммарного эффекта от реализации всех проектов нужно рассматривать период в G' лет.

Для формализации синергетического эффекта при реализации заданных комбинаций проектов S_r $(r = \overline{1,R})$ введем набор бинарных переменных Z, представленных матрицей размерности $(G' \times R)$. Содержательный смысл переменных $z_{\gamma r}$ $(\gamma = r = \overline{1,G'},\, r = \overline{1,R})$:

$$z_{\gamma r} = \begin{cases} 1 - \text{если в } \gamma \text{ - ый год реализована } S_r \text{ - я комбинация проектов} \\ 0 - \text{если в } \gamma \text{ - ый год реализована } S_r \text{ - я комбинация проектов} \end{cases} \quad ,(13)$$

где r – номер комбинации проектов, обладающей синергетическим эффектом $(r = \overline{1, R})$;

γ – номер года с начала планового периода $(\gamma = \overline{1, G'})$.

Все элементы первой строки матрицы Z равны нулю, поскольку не один проект, и соответственно любая их комбинация, в первый год планового периода не реализованы.

После определения основных параметров можно записать оптимизационную математическую модель задачи. Рассмотрим систему ограничений задачи.

Переменные X должны удовлетворять ограничениям, отражающим условие единственности начальной даты работы над проектом (**первая группа ограничений**).

$$\sum_{j=1}^{G} x_{ji} \le 1, \quad i = \overline{1, n} \qquad (14)$$

Запишем расходы θ_j $(j = \overline{1, G})$, связанные с реализацией проектов, заданных календарным планом x_{ji} $(j = \overline{1, G}, i = \overline{1, n})$ по годам:

$$\begin{cases} \theta_1 = \sum_{i=1}^{n} x_{1i} c_i^1 \\ \theta_2 = \sum_{i=1}^{n} x_{1i} c_i^2 + \sum_{i=1}^{n} x_{2i} c_i^1 \\ \theta_3 = \sum_{i=1}^{n} x_{1i} c_i^3 + \sum_{i=1}^{n} x_{2i} c_i^2 + \sum_{i=1}^{n} x_{3i} c_i^1 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \theta_G = \sum_{f=1}^{\tau} \sum_{i=1}^{n} x_{fi} c_i^{G-\tau+f} \end{cases} \qquad (15)$$

Тогда ограничения на финансирование по годам можно записать в виде:

$$
\begin{cases}
\theta_1 \le \Omega_1 \\
\theta_2 \le \Omega_1 + \Omega_2 - \theta_1 \\
\theta_3 \le \Omega_1 + \Omega_2 + \Omega_3 - \theta_1 - \theta_2 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\theta_G \le \sum_{j=1}^{G} \Omega_j + \sum_{j=1}^{G-1} \theta_j +
\end{cases}
\tag{16}
$$

Эти ограничения составляют **вторую группу ограничений** задачи.

Реализация комбинаций проектов, заданных параметрами $S_r\ (r = \overline{1,R})$, определяет переменные Z. Переменные Z должны удовлетворять **третьей группе ограничений**. Для упрощения записи ограничений введем дополнительные параметры $d_r\ \ (r = \overline{1,R})$:

$$
d_r = \sum_{i=1}^{n} s_{ri}\,. \tag{17}
$$

Параметры d_r определяют количество проектов, входящих в r – ую комбинацию проектов, обладающих синергетическим эффектом.

В третью группу входят $(R \times (G' - 1))$ ограничений. Эту группу ограничений целесообразно рассмотреть по частям. Первая часть относится ко второму году планового периода (первый год не рассматривается в силу равенства нулю первых строк матриц Y и Z):

$$
\begin{cases}
\sum_{i=1}^{n} s_{1i} y_{2i} \ge z_{21} d_1 \\
\sum_{i=1}^{n} s_{2i} y_{2i} \ge z_{22} d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{ri} y_{2i} \ge z_{2r} d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{Ri} y_{2i} \ge z_{2R} d_1
\end{cases}
\tag{18}
$$

Вторая часть относится ко второму году планового периода:

$$
\begin{cases}
\sum_{i=1}^{n} s_{1i}(y_{2i}+y_{3i}) \ge z_{31}d_1 \\
\sum_{i=1}^{n} s_{2i}(y_{2i}+y_{3i}) \ge z_{32}d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{ri}(y_{2i}+y_{3i}) \ge z_{3r}d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{Ri}(y_{2i}+y_{3i}) \ge z_{3R}d_1
\end{cases}
\qquad (19)
$$

И последняя часть третьей группы ограничений относится к году G':

$$
\begin{cases}
\sum_{i=1}^{n} s_{1i}\sum_{\gamma=1}^{G'} y_{\gamma i} \ge z_{31}d_1 \\
\sum_{i=1}^{n} s_{2i}\sum_{\gamma=1}^{G'} y_{\gamma i} \ge z_{32}d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{ri}\sum_{\gamma=1}^{G'} y_{\gamma i} \ge z_{3r}d_1 \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
\sum_{i=1}^{n} s_{Ri}\sum_{\gamma=1}^{G'} y_{\gamma i} \ge z_{3R}d_1
\end{cases}
\qquad (20)
$$

Рассмотренные три группы ограничений являются основными ограничениями рассматриваемой оптимизационной задачи. Прочие ограничения могут проистекать из конкретных проектов и условий их реализации.

В качестве целевой функции, определяющей выбор проектов из представленного портфеля, выступает общий объем потребителей, привлеченных после реализации выбранных проектов при выходе их на максимальную загрузку с учетом синергетического эффекта.

Прежде чем записать целевую функцию, затабулируем значения функций изменения числа потребителей после реализации каждого из проектов (таб. 1). Размерность таблицы $(n \times (G'-1))$. Значения рассчитываются по формуле:

$$
F_{i\gamma} = \begin{cases}
q_i^{н} + (\gamma-1)\dfrac{q_i^{к} - q_i^{н}}{T_i}, \text{если } \gamma < T_i \\
q_i^{к}, \text{если } \gamma \ge T_i
\end{cases}
\qquad (21)
$$

Аналогично рассчитаем значения функций изменения числа потребителей, привлекаемых при реализации комбинаций проектов, обладающих синергетическим эффектом. Для расчета используем параметры $p_r^н, p_r^к, T_r'$. Значения сведем в матрицу λ размерности $(R \times (G'-1))$. Элементы матрицы $\lambda_{r,\gamma}$ $(r=\overline{1,R}, \gamma=\overline{1,G'-1})$.

Таблица 1

Функции изменения числа потребителей по годам

Портфель проектов	Количество привлеченных потребителей проектами по годам от начала реализации проекта				
	1 год	2 год	3 год	…..	$(G'$-1) год
Проект 1	F_{11}	F_{12}	F_{13}		$F_{1,G'-1}$
Проект 2	F_{21}	F_{22}	F_{23}		$F_{2,G'-1}$
……….					
Проект n	F_{n1}	F_{n2}	F_{n3}		$F_{n,G'-1}$

С учетом введенных обозначений можно записать выражение для целевой функции:

$$L = \sum_{j=1}^{G'} \sum_{i=1}^{n} y_{ji} \sum_{\gamma=j-1}^{G'-1} F_{i\gamma} + \sum_{j=1}^{G'} \sum_{r=1}^{R} (z_{ji} - z_{j-1,i}) \sum_{\gamma=j-1}^{G'-1} \lambda_{r\gamma} \rightarrow \max \qquad (22)$$

Синергетический эффект демонстрируется гипотетическим примером, представленным тремя проектами (рис.1).

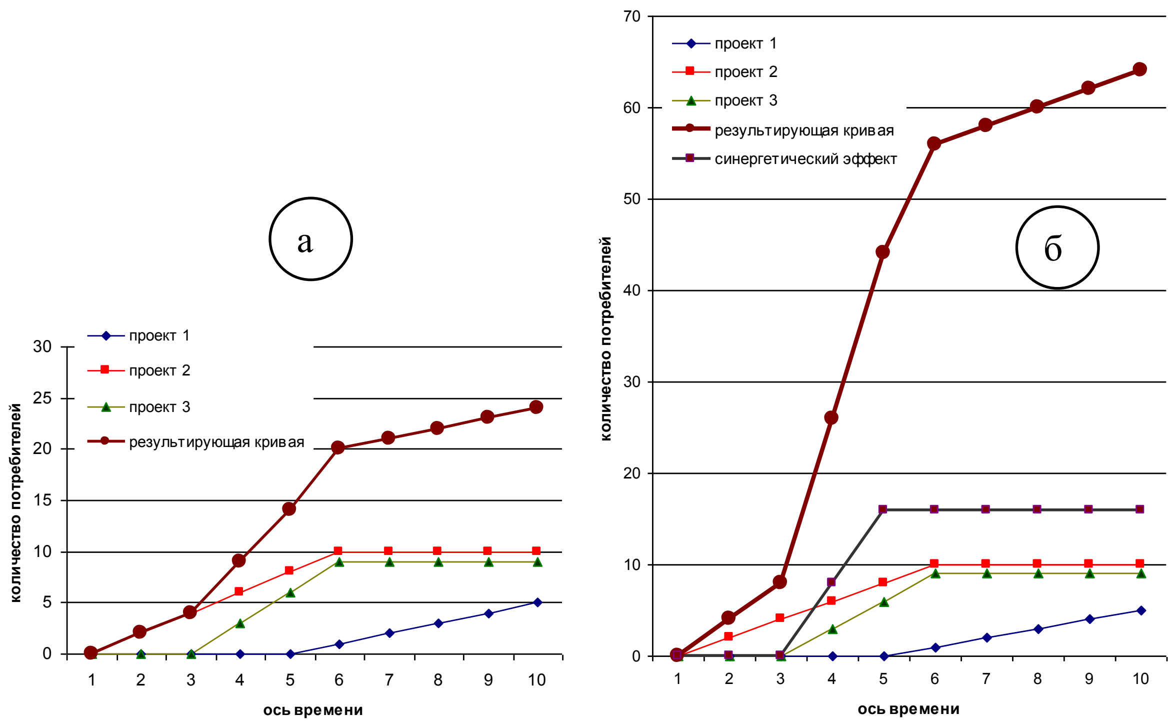

Рис.1. Количество потребителей после реализации проектов:
а) без учета синергетического эффекта; б) с учетом синергетического эффекта

На рисунке 1 а) представлен объем привлекаемых потребителей при вводе трех проектов по отдельности, через один, три, пять лет соответственно и результирующая кривая. На рисунке 2 б) демонстрируется синергетический эффект, который возникает при совместной реализации проектов 2 и 3.

С помощью модели можно исследовать эффективность не только проектов, напрямую касающихся туристской индустрии, но и проектов, относящихся к другим социально-экономическим системам. Математическая модель реализована в виде специальной программы и опробована на модельных данных. В настоящее время разрабатываются другие варианты синергетической модели с различными видами целевых функций. Например, для туристского комплекса имеет большое значение социальный эффект.

Литература

1. Мартышенко С.Н. Модели формирования структурных сдвигов регионального туристского комплекса / С.Н. Мартышенко, Н.С. Мартышенко, Е.Г. Гусев // Регион: экономика и социология. – 2007. – № 4 – С. 166–177.
2. Мартышенко С.Н. Оптимизационные модели реструктуризации туристского комплекса региона // Математические методы в технике и технологиях: Сборник трудов XX Международной научной конференции. 28-31 мая 2007: В 10 т. — Ярославль, — 2007. . — Т. 8.: — С. 98 — 103.
3. Минакир П.А. Региональные программы и стратегии: Дальнего Востока // Регион: экономика и социология. – 2007. – № 4 – С. 19 – 31.