

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКОЙ КАДРОВ СПЕЦИАЛИСТОВ С ВЫСШИМ ОБРАЗОВАНИЕМ В РЕГИОНАХ

Боков В. В.

(Москва)

Предложена и иллюстрирована методика системного прогнозирования и управления подготовкой кадров специалистов с высшим образованием в многорегиональной экономической системе. Используемый игровой подход позволяет генерировать оптимальные программы подготовки кадров. Предполагается иерархическая организация системы управления подготовкой кадров специалистов, которая согласуется с современным представлением о структуре хозяйственного экономического механизма.

Подготовка кадров специалистов с высшим образованием является важной экономической и политической проблемой. Ее решению посвящено немало научных публикаций и директивных документов [1—3]. Однако изучена она еще недостаточно, ибо организация такой подготовки зависит от многих экономических и других факторов, в том числе от системных взаимодействий.

В настоящей статье предпринята попытка математического моделирования региональной кооперации в подготовке специалистов как двухуровневой иерархической системы (с некоторым аналогом реального хозяйственного механизма взаимодействия регионов). На верхнем уровне находится центральный орган планирования (ЦОП), координирующий деятельность регионов исходя из общесистемных экономических и политических интересов. Регионы располагаются на нижнем уровне и играют между собой по Нэшу [4], преследуя собственные экономические интересы.

Прежде чем перейти к содержательной формулировке проблемы, дадим некоторые определения.

Определение 1. Коэффициентом насыщенности специалистами будем называть функцию

$$K_0(t) = m_0(t)/L(t), \quad (1)$$

где $m_0(t)$, $L(t)$ — число специалистов и всех занятых в хозяйстве в момент времени t . Заметим, что коэффициент $K_0(t)$ зависит от предыстории процесса пополнения специалистов и их выбытия. В тех случаях, когда $K_0(t)$ представляет интерес только с некоторого момента t_0 , его можно выразить

$$K_0(t) = (m_0 + m(t))/L(t), \quad t \geq t_0, \quad (2)$$

где m_0 — число специалистов, занятых в хозяйстве в момент $t = t_0$; $m(t)$ — определена ниже ($m(t_0) = 0$).

Определение 2. Функция $m(t)$ с укороченной предысторией, характеризующая приток специалистов в хозяйство в зависимости от экономически обоснованных потребностей, называется дополнительной потребностью в специалистах.

$$K(t) = m(t)/L(t) \quad (3)$$

будем называть коэффициентом дополнительной насыщенности специалистами.

Замечание 1. Запишем

$$K_0(t) = (m_0 + m(t))/L(t) = \frac{m_0}{L_0(1 + \Delta L/L_0)} + m(t)/L(t), \quad t \geq t_0, \quad (4)$$

где $L_0 = L(t_0)$, $\Delta L = L(t) - L_0$. Если $\Delta L/L_0 \ll 1$, допустимо следующее выражение, поясняющее смысл коэффициента $K(t)$

$$K_0(t) = m_0/L_0 + K(t). \quad (5)$$

Из (4), (5) можно получить ограничение на временной интервал моделирования процессов с участием коэффициента $K(t)$.

Определение 4. Функцией благосостояния региона на интервале $[0, T]$ назовем такую, которая характеризуется объемом материальных ценностей, приходящихся на одного работающего в регионе в момент T .

Замечание 2. Указанная функция зависит от ряда факторов. В частности, вклад в благосостояние региона зависит от профессий работников. В одних случаях он измеряется непосредственно — как, скажем, для специалистов сектора материального производства, в других — косвенно в соответствии с теорией полезности [5, 6].

Определение 5. Функцией использования специалистов с высшим образованием региона называется такая, которая характеризуется годовым объемом произведенного ими продукта в расчете на одного занятого в регионе работника.

В экономической литературе известны подходы к описанию функций использования специалистов [6]. Однако полное их определение является весьма сложной и не изученной до конца социально-экономической задачей. В частности, эти функции отражают заинтересованность экономической системы в специалистах, возможности, предоставляемые им для творческой деятельности, эффективность отдачи. Такие функции тесно связаны с уровнем развития экономики и в значительной степени определяют потребность в специалистах. Так, в [7] отмечено, что по мере индустриализации развитых экономических систем отношение дополнительных потребностей в специалистах с высшим образованием соответственно в материальной и нематериальной сферах производства имеет устойчивую тенденцию к убыванию. Данный факт был проверен нами статистически для регионов с полной отраслевой структурой — союзных республик СССР. Обозначим через $K_{пр}$, K_n коэффициенты дополнительной насыщенности специалистами с высшим образованием того и другого сектора хозяйства. Тогда для всех республик на интервале от 1980 г. и далее независимо от того, что в отдельности $K_{пр}$, K_n устойчиво возрастают, отношение $Q = K_{пр}/K_n$ устойчиво (по Спирмену [8]) убывает. Это замечательное качество развитых экономических систем, имеющее простое экономическое объяснение, позволяет эффективно измерять функции использования специалистов с высшим образованием. Действительно, рассмотрим статистику зависимости текущего экономического эффекта от изобретательской деятельности в регионе от коэффициента дополнительной насыщенности специалистами с высшим образованием. С одной стороны, изобретательская деятельность в наибольшей мере присуща специалистам с высшим образованием и значительно меньше — со средним специальным образованием, а также квалифицированным рабочим, которые ограничиваются рационализаторством. С другой — уровень экономического эффекта от изобретательской деятельности характеризует некоторую усредненную функцию использования в регионе специалистов с высшим образованием, а следовательно, и социально-экономическую заинтересованность, и в конечном итоге — потребность региона в них.

Характеристики	Год						
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
K	0,0057	0,0115	0,0172	0,0229	0,0286	0,0342	0,0394
E	24,5	37,8	36,8	44,2	60,4	64,1	65,0

Покажем существование устойчивой связи между уровнем экономического эффекта и коэффициентом дополнительной насыщенности специалистов с высшим образованием (см. таблицу)*.

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена, вычисленный по данным таблицы, равен 0,9. Это указывает на прямую связь факторов. Обозначим ее $E=E(K)$. Покажем теперь, что с учетом свойства коэффициента Q деятельность специалистов с высшим образованием сектора нематериального производства региона отвечает зависимости $E=E(K)$.

Лемма. Если для данного региона развитой экономической системы на данном временном интервале справедлива устойчивая по Спирмену связь $E=E(K)$, коэффициент $Q=K_{np}/K_n$ устойчиво по Спирмену убывает, а $K(t)$ вместе со своими составляющими $K_{np}(t)$, $K_n(t)$ имеет устойчивую тенденцию изменения, то $K_n(t)$ устойчиво (по Спирмену) удовлетворяет $E=E(K)$.

Доказательство. Рассмотрим сначала случай устойчивого возрастания $K(t)$. Пусть $E=E(K)$ справедлива. Тогда $E(K_n)=E(K/(1+Q))$, и аргумент монотонно по Q возрастает вместе с K . Это означает, что фактор $K/(1+Q)$ будет удовлетворять той же связи, что и $K(t)$, т. е. $E=E(K_n)$. В случае устойчивого убывания $K(t)$, вместе с $E=E(K)$ справедливы связь $E=E(K/K(0))$ и $K(t)/K(0) \leq K_n(t)/K_n(0)$, где $K(0)$ — значение $K(t)$ в начальный момент интервала сопоставления. Таким образом, будет справедливо $E=E(K_n/K_n(0))$ (смысл $K_n(0)$ очевиден) и, следовательно, $E=E(K_n)$.

Связи $E=E(K)$ поставим в соответствие функцию $V=V(K)$.

Замечание 3. Конкретный вид функции $V=V(K)$ зависит от вида статистических данных, фигурирующих в ее определении, и от требуемой точности модели.

Характер изменения $V(K)$ свидетельствует о заинтересованности системы в специалистах с высшим образованием.

Простое интегрирование этой функции по времени на интервале $[0, T]$ позволяет определить вклад специалистов с высшим образованием в функцию благосостояния региона на $[0, T]$.

Итак, в дальнейшем вместо функции использования специалистов с высшим образованием региона будем применять её оценку $V=V(K)$.

Перейдем к математической формулировке проблемы. Рассмотрим экономическую систему, состоящую из двух регионов R_1 , R_2 и ЦОП. Каждый регион готовит специалистов для своих внутренних дополнительных потребностей и для другого региона. ЦОП определяет и объявляет регионам стоимость этой подготовки, скажем сумму d_0 руб. как частичную компенсацию затрат на подготовку специалистов. Чем эффективнее функция их использования в регионе, тем выше благосостояние его населения на $[0, T]$. Это ведет к неравномерности развития регионов и всей системы. Поэтому ЦОП, исходя из общесистемных интересов и стремясь выравнять соответствующие составляющие функции благосостояния регионов к моменту T , перераспределяет лимиты подготовки специалистов.

* Таблица составлена для Латвии, так как в приведенном далее численном примере фигурирует именно этот регион страны. Такие же статистические измерения были произведены на данном временном интервале для всех союзных республик и подтвердили справедливость указанной связи. Здесь: K — коэффициент дополнительной насыщенности специалистами с высшим образованием, E — экономический эффект в руб. на одного работника региона в год.

Допустим, можно аппроксимировать динамику занятого населения в регионах с помощью дифференциальных уравнений

$$\dot{L}_i(t) = n_i L_i(t), \quad L_i(0) = L_{i0}, \quad i = 1, 2, \quad (6)$$

где n_i — постоянные величины. Предположим, что регионы подготовили m_i , $i = 1, 2$, специалистов и хотят оставить у себя $C_1(t)m_1(t)$, $C_2(t)m_2(t)$. Однако ЦОП разрешает R_1 оставить у себя $\beta C_1 m_1$, а остальную часть $(1-\beta)C_1 m_1$ направить в R_2 ; аналогично в R_2 оставляется $\gamma C_2 m_2$ специалистов, а $(1-\gamma)C_2 m_2$ перераспределяется в R_1 . Стремление регионов самостоятельно и интенсивно вести подготовку специалистов с высшим образованием можно выразить следующими дифференциальными уравнениями

$$\dot{m}_i(t) = n_i C_i(t) m_i(t), \quad i = 1, 2, \quad (7)$$

где $C_i(t)$ — подлежащие определению функции. Таким образом, с учетом ограничений, продиктованных ЦОП, и (6) приходим к следующей системе дифференциальных уравнений

$$\dot{K}_1 = K_1 n_1 (\beta C_1 - 1) + K_2 (1 - \gamma) n_2 C_2 R e^{(n_2 - n_1)t}, \quad (8)$$

$$\dot{K}_2 = K_1 (1 - \beta) \frac{n_1 C_1}{R} e^{(n_1 - n_2)t} + K_2 n_2 (\gamma C_2 - 1),$$

где $K_1(t)$, $K_2(t)$ — коэффициенты дополнительной насыщенности специалистами регионов R_1 , R_2 ; $R = L_{20}/L_{10}$. К этим уравнениям присоединим начальные условия $K_1(0) = K_{10}$, $K_2(0) = K_{20}$.

Сформулируем задачу в терминах теории дифференциальных игр [4]. Для этого зададим функции выигрыша регионов

$$I_1 = b_1 K_1(T) + \int_0^T V_1 (\beta C_1 K_1) dt, \quad (9)$$

$$I_2 = b_2 K_2(T) + \int_0^T V_2 (\gamma C_2 K_2) dt,$$

где $V_1 = a + b K_1$, $V_2 = c + d K_2$ — линейаризованные для простоты функции использования специалистов с высшим образованием в R_1 , R_2 (в определенном выше смысле); $b_1 = -b/n_1$, $b_2 = -d/n_2$; a , b , c , d — постоянные. Отметим, что (9) определяет зависящую от деятельности специалистов с высшим образованием составляющую благосостояния регионов в момент T .

Каждый регион R_1 , R_2 независимо стремится максимизировать собственную функцию выигрыша за счет параметров C_1 , C_2 . Так как регионы не согласуют свои действия, то согласно терминологии теории дифференциальных игр [4] они будут играть, придерживаясь стратегий Нэша. Теперь специфицируем функцию выигрыша ЦОП

$$I_0 = \left\{ \int_0^T (V_1 - V_2) dt + d_0 [C_1(T) (1 - \beta) K_1(T) (1 + e^{(n_1 - n_2)T}/R) - C_2(T) (1 - \gamma) K_2(T) (1 + R e^{(n_2 - n_1)T})] \right\}^2. \quad (10)$$

Она минимизируется по β , γ при ограничениях

$$\int_0^T V_1 dt + d_0 [C_1(T) (1 - \beta) K_1(T) - C_2(T) (1 - \gamma) K_2(T) R e^{(n_2 - n_1)T}] \geq 0, \quad (11)$$

$$\int_0^T V_2 dt + d_0 \left[C_2(T) (1 - \gamma) K_2(T) - C_1(T) (1 - \beta) \frac{K_1(T)}{R} e^{(n_1 - n_2)T} \right] \geq 0. \quad (12)$$

Смысл (10) заключается в том, что она выражает различие соответствующих составляющих благосостояния регионов R_1 , R_2 в момент T .

Для решения поставленной задачи используем методы теории оптимального управления [9]. В частности, для определения C_1 , C_2 на основании принципа максимума Понтрягина [9] имеем систему алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} p_1 n_1 \beta + p_2 (1 - \beta) \frac{n_1}{R} e^{(n_1 - n_2)t} + b\beta &= 0, \\ q_1 (1 - \gamma) n_2 R e^{(n_2 - n_1)t} + q_2 n_2 \gamma + d\gamma &= 0. \end{aligned} \quad (13)$$

Фигурирующие в (13) вспомогательные переменные p_1 , p_2 , q_1 , q_2 подчиняются системе дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{p}_1 &= -p_1 n_1 (\beta C_1 - 1) - p_2 (1 - \beta) \frac{n_1 C_1}{R} e^{(n_1 - n_2)t} - b\beta C_1, \\ \dot{p}_2 &= -p_1 (1 - \gamma) n_2 C_2 R e^{(n_2 - n_1)t} - p_2 n_2 (\gamma C_2 - 1), \\ \dot{q}_1 &= -q_1 n_1 (\beta C_1 - 1) - q_2 (1 - \beta) \frac{n_1 C_1}{R} e^{(n_1 - n_2)t}, \\ \dot{q}_2 &= -q_1 (1 - \gamma) n_2 C_2 R e^{(n_2 - n_1)t} - q_2 n_2 (\gamma C_2 - 1) - d\gamma C_2, \\ q_1(T) = p_2(T) &= 0, \quad p_1(T) = b_1, \quad q_2(T) = b_2. \end{aligned} \quad (14)$$

Решив (13), (14), запишем

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{d\gamma n_2}{n_1 (d\beta\gamma - D_2 n_2 (1 - \beta - \gamma) e^{n_2 t})}, \\ C_2 &= \frac{b\beta n_1}{n_2 (b\beta\gamma - D_1 n_1 (1 - \beta - \gamma) e^{n_1 t})}, \end{aligned} \quad (15)$$

где $D_1 = b_1 e^{-n_1 T}$, $D_2 = b_2 e^{-n_2 T}$. Решение системы (8) также оказывается достаточно простым. Действительно, обозначив $K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix}$,

$$K_0 = \begin{bmatrix} K_{10} \\ K_{20} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} n_1 (\beta C_1 - 1) & (1 - \gamma) n_2 C_2 R e^{(n_2 - n_1)t} \\ (1 - \beta) \frac{n_1 C_1}{R} e^{(n_1 - n_2)t} & n_2 (\gamma C_2 - 1) \end{bmatrix},$$

будем иметь [10] $K(t) = \exp\left(\int_0^t A(\tau) d\tau\right) K_0$.

Параметры β , γ , а вместе с ними и решение проблемы, находятся решением задачи минимизации (10) при ограничениях (11), (12).

Пример. Возьмем регионы с полной отраслевой структурой. Пусть это будут: R_1 — Латвия, R_2 — Эстония. Примем $d_0 = 2000$ руб., $T = 5$ лет. Из [11] имеем: $L_1(1980) = L_{10} = 1\,202\,000$, $L_2(1980) = L_{20} = 699\,800$; $n_1 = 0,0045$, $n_2 = 0,0062$; $K_1(1980) = K_{10} = 0,0147$, $K_2(1980) = K_{20} = 0,0052$; $V_1 = 27,866 + 245,072 K_1$, $V_2 = 69,335 - 1025,347 K_2$.

Решение проблемы таково: $\beta = 0,585$, $\gamma = 0,730$; $K_1(1981) = 0,0133$, $K_1(1982) = 0,0160$, $K_1(1983) = 0,0166$, $K_1(1984) = 0,0169$; $K_1(1985) = 0,0171$, $K_2(1981) = 0,0051$, $K_2(1982) = 0,0060$, $K_2(1983) = 0,0061$, $K_2(1984) = 0,0062$, $K_2(1985) = 0,0062$.

Это решение достаточно хорошо согласуется с официальной статистикой [11]. Зная коэффициент $K(t)$ и динамику занятого населения, легко перейти к абсолютным числам дополнительной потребности. Отметим также, что предложенный метод моделирования подготовки специалистов позволяет найти системное решение проблемы и выявить многие интересные стороны экономического взаимодействия регионов. Так, простой анализ показывает, что чем выше кооперативная цена специалистов, тем выгоднее их готовить для других регионов. В приведенном примере только вмешательство ЦОП ограничивает использование этой прагматической стратегии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы определения потребности народного хозяйства в кадрах специалистов. Материалы симпозиума. М.: Высш. шк., 1975.
2. Проблемы определения потребности народного хозяйства в кадрах специалистов. Материалы симпозиума. Тбилиси: Мецниереба, 1980.
3. О мерах по коренному улучшению подготовки и использования специалистов с высшим образованием в народном хозяйстве. Постановление ЦК КПСС и СМ СССР от 13 марта 1987 г. // Бюлл. Минвуза СССР. 1987. № 6.
4. Вайсборд Э. М., Жуковский В. И. Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения. М.: Сов. радио, 1980.
5. Вальтух К. К. Целевая функция потребления: анализ и практическое использование. Новосибирск: Наука, 1980.
6. Takayama A. Mathematical Economics. N. Y., 1974.
7. Bagchi A. Stackelberg Differential Games in Economic Models. Berlin, 1984.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1968.
9. Флеминг У., Ришел Р. Оптимальное управление детерминированными и стохастическими системами. М.: Мир, 1978.
10. Беллман Р. Введение в теорию матриц. М.: Наука, 1969.
11. Народное хозяйство СССР за 70 лет. М.: Финансы и статистика, 1987.

Поступила в редакцию
04 VIII 88