ՏՆՏԵՍԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ НА РЫНКЕ ТРУДА

ГАЙК САРГСЯН, РУБЕН ГЕВОРГЯН, НАРЕК САРГСЯН

Введение

Исторически экономическая структура сформировалась как система отношений, включающая в себя факторы производства и научно-технического потенциала[1]. Причем этой системой предопределяется основная мотивация деятельности экономических агентов и роль правительства в качестве арбитра и регулятора.

В странах с переходной экономической структурой производственный и научно-технический потенциал применяется со значительными трудностями, что является характерной их особенностью. При этом динамичные структурные преобразования выдвигают задачу обеспечить долговременный и стабильный экономический рост. Политика, которая направлена на решение таких задач, осуществляется сглаживанием колебаний экономической активности, перераспределением производственных факторов в конкурирующих сферах и многими другими средствами.

Методом решения поставленной задачи является продуманная структурная политика, направленная на стимулирование совокупного предложения. В более широком смысле структурная политика – это политика, осуществляемая правительством страны и меняющая пропорции в производственно-экономических отраслевых региональных структурах, а также в структурах доходов и расходов, накопления и потребления.

Переход от существующей экономической структуры к более желательной – это сложный и многофункциональный процесс, который может содержать два крайних случая:

- естественный ход, когда при минимальном государственном вмешательстве и в соответствии с условиями совершенной конкурентной модели рынка постепенно формируется высокоэффективная экономика;
- активная государственная политика с применением всех доступных на данный момент рыночных инструментов с целью достижения поставленных пропорций.

Структурные преобразования – необходимая составляющая динамичного экономического развития. С самой общей точки зрения любые изменения экономических характеристик системы в течение определенного времени могут быть

[1] «Понятие “Структура” в философском понимании характеризуется как совокупность устойчивых связей между частями системы» // «Краткий философский словарь». М., 2011, с. 354.

интерпретированы как структурные изменения. Однако в более узком смысле под структурными преобразованиями понимается изменение совокупных устойчивых связей системы, приводящее к качественно новой ситуации. При этом новая ситуация не обязательно более прогрессивна и экономически более эффективна по отношению к существовавшей.

Изменения в структуре – это сложная система взаимосвязанных преобразований, затрагивающих все стороны экономической деятельности на макро- и микроуровне. Ход структурных изменений во многом зависит от существующего технического потенциала экономики, технологий производства, системы распределения общественных благ, квалификации рабочей силы и производительности труда.

Структурные преобразования на макроуровне могут происходить как под воздействием рыночных механизмов, так и в результате целенаправленной государственной политики. Иногда сами изменения в общественно-экономической ситуации требуют структурных преобразований как в отдельных отраслях и сферах, так и в нескольких взаимосвязанных областях. В этом случае государственная политика может заключаться в точечных воздействиях на структурные деформации в той или иной области и служить начальным толчком для изменения ситуации. Во всех этих случаях очень важна правильная политика осуществления структурных изменений, будь то точечные воздействия или долгосрочное целенаправленное использование адекватных динамических моделей. Не менее важна возможность рассчитать потенциальные затраты, связанные со структурными изменениями, и соотнести их с теми выгодами, которые получит общество, а также со степенью неопределенности тех или иных результатов в данные моменты времени.

Целью государственного регулирования должно быть создание условий, при которых в максимально сжатые сроки сглаживаются структурные деформации и возникают предпосылки для появления качественно обновленной системы производительных сил. Структурные деформации могут быть многочисленны и многообразны. Они проявляются в отраслевой структуре, в структуре технического и технологического обеспечения производства, в масштабах и размерах предприятий, а также в структуре существующих межпроизводственных, межотраслевых и внешнеэкономических связях.

Выправление всех деформаций, связанных со структурными изменениями, в той или иной мере отражается на структуре рынка труда и уровне безработицы. Можно утверждать, что всякое структурное изменение в экономике отражается соответствующим образом на трудовых отношениях, и наоборот, структурные изменения на рынке труда приводят к существенным изменениям экономической ситуации в целом.

Наиболее важны структурные изменения в переходной экономике. Их особенностью является высокий темп и глобальность трансформационных процессов. Рыночные реформы предполагают глобальные структурные и институциональные преобразования не только в экономике, но и в общественно-политической жизни общества. Эти процессы приводят к коренной реструктуризации рынка труда, появлению новых специальностей, переквалификации широких слоев населения, изменению уровня безработицы и увеличению мобильности рабочей силы за счет миграционных процессов. В результате возникает дисбаланс между спросом и предложением на рынке труда. Не используется огромное количество вакантных мест при наличии высокого уровня безработицы. Не реализуются все возможности производства, замедляются темпы роста ВНП. В зависимости от ситуации миграционные процессы бывают как следствием, так и причиной структурных сдвигов на рынке труда. Выявление этих противоречий по ходу преобразования экономики, выработка мер по их преодолению – важнейшая задача, без решения которой невозможно дальнейшее социально-экономическое развитие страны.

Модели этих процессов, их взаимосвязь и развитие во времени позволяют формировать продуманную политику структурных преобразований на рынке труда и стратегию воздействия правительства на занятость и экономику в целом. Создание таких моделей направлено на то, чтобы выявить ход структурных преобразований в экономике и дать основу для прогнозирования финансово-экономических показателей при выработке стратегии развития народного хозяйства. Модели структурных преобразований должны быть основаны на комплексном подходе к механизмам таких сдвигов, представляющих собой сложный многофакторный процесс, и на рассмотрении иерархической соподчиненности отдельных сдвигов в разное время.

В данной работе предлагается модель структурных преобразований, основанная на понятии энтропии. Любое структурное преобразование вне зависимости от причины, будь то трансформационные изменения или решения правительства, несет в себе неопределенности будущих периодов, связанные с вероятностным характером последствий. При этом неопределенности со временем изменяются. В данной работе мы используем энтропию в качестве характеристики неопределенностей. Модель используется для описания структурных преобразований на рынке труда. Обычно для описания измененений на рынке труда используются системы дифференциальных уравнений. В частности, А. Н. Васильев для описания динамики изменений на рынке труда использует экономическую модель самоорганизации, где предложено дифференциальное уравнение и проанализированы основные свойства его решений[2]. Далее модель анализируется на устойчивость и выясняются условия стационарных состояний. В других работах с помощью этой модели построены системы дифференциальных уравнений и обобщены результаты при двух и нескольких отраслях экономики[3].

Модель

Пусть в некоторый момент времени t на рынке существует n отраслей, где работник может найти работу. Тогда состояние рынка труда может быть описано случайной величиной ξ, которая может принимать $n+1$ значение с вероятностями p_i, $i = 0, 1, 2, \dots, n$, где p_i – вероятность найти работу в отрасли i в момент времени t, p_0 – вероятность оказаться безработным. Будем предполагать, что имеется последовательность случайных величин ξ_t, $t = 0, 1, \dots, m$, которые характеризуются

[2] **Васильев А. Н.** Модель самоорганизации рынка труда // «Экономика и математические методы». М., 2001, т. 37, № 2.

[3] См. **Семенчин Е. А., Зайцева И. В.** Математическая модель самоорганизации рынка труда для двух отраслей экономики // «Экономика и математические методы», 2004, т. 40, № 4, **Семенчин Е. А., Зайцева И. В.** Математическая модель самоорганизации рынка труда для нескольких отраслей экономики // «Экономика и математические методы», 2007, т. 43, № 1.

законом распределения P_t для соответствующего момента времени. Далее предположим, что дискретный процесс, описывающий рынок труда, является марковским. Это значит, что совместные законы распределения последовательно идущих случайных величин распадаются на произведние+

$$P(\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_m) = P(\xi_0)\pi_0(\xi_0, \xi_1) \dots \pi_{m-1}(\xi_{m-1}, \xi_m) \quad (1)$$

где $\pi_{t-j}(\xi_{t-j}, \xi_t)$ – вероятность перехода из состояния ξ_{t-j} в ξ_t. Вероятность перехода $\pi_{t-j}(\xi_{t-j}, \xi_t)$, равняясь условным вероятностям $P(\xi_t / \xi_{t-j})$, обладает свойством неотрицательности и нормировки:

$$\sum \pi_{t-j}(\xi_{t-j}, \xi_t) = 1 \quad (2)$$

где суммирование ведется по всем возмыжным значениям случайной величины ξ_t. Это выражение справедливо для всех значений $j = 1, \dots, m, m+1$.

Введем понятие средней энтропии, как это делается в приложениях к теории информации[4]:

$$H_{\xi_t} = -\sum_{\xi_t} P(\xi_t) \ln P(\xi_t) \quad (4)$$

В выражении (4) суммирование ведется по всем возможным состояниям переменной ξ_t. H_{ξ_t} является мерой неопределенности состояния рынка труда в момент времени t. Введем также понятия случайной условной энтропии и средней условной энтропии:

$$H(\xi_t / \xi_0, \dots, \xi_{t-1}) = -\ln P(\xi_t / \xi_0, \dots, \xi_{t-1}) \quad (5)$$

$$H_{\xi_t/\xi_0 \dots \xi_{t-1}} = -\sum_{\xi_t} P(\xi_t / \xi_0, \dots, \xi_{t-1}) \ln P(\xi_t / \xi_0, \dots \xi_{t-1}) \quad (6)$$

Используя определение (5) и уравнение (3), получим:

$$H_{\xi_t/\xi_0 \dots \xi_{t-1}} = -\ln \pi_{t-1}(\xi_t / \xi_{t-1}) = H_{\xi_t/\xi_{t-1}} \quad (7)$$

С помощью свойства иерархической аддитивности энтропии и формулы (7) получим следующее выражение:

$$H(\xi_0, \dots, \xi_{t-1}) = H(\xi_0) + H(\xi_1/\xi_0) + H(\xi_2/\xi_1) + \dots + H(\xi_t/\xi_{t-1}) \quad (8)$$

Аналогичным образом для средних энтропий имеем

$$H_{\xi_t/\xi_0 \dots \xi_{t-1}} = H_{\xi_t/\xi_{t-1}} \quad (9)$$

$$H_{\xi_0 \dots \xi_t} = H_{\xi_0} + H_{\xi_1/\xi_0} + H_{\xi_2/\xi_1} + \dots + H_{\xi_t/\xi_{t-1}} \quad (10)$$

Дискретный марковский процесс является стационарным, если вероятности перехода $\pi_{t-j}(\xi_{t-j}, \xi_t)$ не зависят от значения параметра $t\text{-}j$ и все однократные распределения $P(\xi_t)$ одинаковы и равны $P_{st}(\xi_t)$.

С помощью уравнения (1) легко показать, что стационарность однократного распределения $P_{st}(\xi_t)$ означает, что выполняется уравнение

$$P_{st}(\xi_{t-1}) = \sum_{\xi_t} P_{st}(\xi_t)\, \pi(\xi_{t-1}, \xi_t) \quad (11)$$

Введем понятие удельной энтропии, рассчитанной на один элемент последовательности $\{\xi_t\}$

$$H_1 = \lim_{j \to \infty} H_{\xi_t/\xi_{t-1} \dots t-j} = \lim_{j \to \infty} H_{\xi_1 \dots \xi_j}/j \quad (12)$$

---

[4] См. **Стратанович Р. Л.** Теория информации. М., 1975.

Учитывая (7), легко видеть, что для стационарного марковского процесса удельная энтропия совпадает с энтропией, соответствующей вероятностям перехода при стационарном распределении вероятностей:

$$H_1 = \sum_{\xi_{t-1}} P_{st}(\xi_{t-1}) \sum_{\xi_t} \pi(\xi_{t-1}, \xi_t) ln\pi(\xi_{t-1}, \xi_t) \qquad (13)$$

В формуле (13) суммирование ведется по всем возможным состояниям случайных величин ξ_{t-j} и ξ_t. Усредним далее формулу (8) со стационарными вероятностями. Это даст равенство

$$H_{\xi_1 \dots \xi_t} = H_{\xi_1} + (n-1) H_1 \qquad \textbf{(14)}$$

Введем также понятие граничной энтропии

$$2\Gamma = \lim_{j\to\infty} \lim_{i\to\infty} \left[H_{\xi_1 \dots \xi_j} + H_{\xi_1 \dots \xi_i} - H_{\xi_1 \dots \xi_{j+i}} \right] \qquad (15)$$

Можно показать, что имеет место следующее соотношение

$$H_{\xi_1 \dots \xi_j} = jH_1 + 2\Gamma + o_j(1) \qquad \textbf{(16)}$$

где $o_j(1)$ – малая величина высшего порядка. Сравнивая выражения (14) и (15), видим, что в стационарном марковском случае

$$2\Gamma = H_{\xi_1} - H_1 = \sum_{\xi_{t-1}\xi_t} P_{st}(\xi_{t-1})\, \pi(\xi_{t-1}, \xi_t) ln\left(\pi(\xi_{t-1}, \xi_t) \big/ P_{st}(\xi_t) \right) \qquad (17)$$

Следовательно, $o_j(1)$ равно нулю и соотношение (16) выполняется точно.

$$H_{\xi_1 \dots \xi_j} = jH_1 + 2\Gamma \qquad \textbf{(18)}$$

Итак, для вычисления энтропии, если задана матрица вероятностей перехода

$$\vec{\pi} = \|\pi(\xi_{t-1}, \xi_t)\|, \qquad \textbf{(19)}$$

следует найти стационарное распределение и воспользоваться формулами (13) и (14). Уравнение (11) вполне однозначно определяет стационарное распределение $P_{st}(\xi_t)$, если марковский процесс является эргодическим, т. е. если собственное значение $\lambda = 1$ является невыраженным собственным значением матрицы (19).

Согласно теореме о разложении определителей, из уравнения $det(\vec{\pi} - 1) = 0$ будет вытекать (11), если положить

$$P_{st}(\xi_t) = A_{\xi_t \xi_{t-1}} \Big/ \sum_t A_{\xi_t \xi_{t-1}} \qquad \textbf{(20)}$$

где A_{ij} – алгебраическое дополнение элемента a_{ij}.

Модель структурных изменений безработицы

Простейшее применение описанной выше модели – экономика с одной отраслью. В этом случае состояние рынка труда может быть описано случайной величиной ξ, которая может принимать два значения с вероятностями $\mathbf{p_1}$, где $\mathbf{p_1}$ – вероятность найти работу в момент времени t и $p_0 = 1 - p_1$ – вероятность оказаться безработным. При такой постановке задача является дискретным марковским процессом с двумя состояниями. Вследствие условия нормировки (2) элементы матрицы (19) размером 2x2 не являются независимыми. Имеются лишь два независимых параметра μ и v, определяющих матрицу $\vec{\pi}$**:**

$$\vec{\pi} = \begin{pmatrix} 1-\mu & \mu \\ v & 1-v \end{pmatrix} \qquad \textbf{(21)}$$

где μ – вероятность потерять работу в момент времени **t,** а v – вероятности найти работу. В стабильном состоянии экономики обе вероятности должны быть невелики.

Поскольку в данном случае

$$\vec{a} = \vec{\pi} - \vec{1} = \begin{pmatrix} -\mu & \mu \\ v & -v \end{pmatrix}; \ A_{11} = -v; \ A_{21} = -\mu, \tag{22}$$

то согласно (20) имеем стационарное распределение

$$P_{st}(1) = \frac{v}{\mu + v} \qquad P_{st}(2) = \frac{\mu}{\mu + v} \tag{23}$$

Кроме того,

$$\|P_{st}(\xi_t, \xi_{t+1})\| = \frac{1}{\mu + v}\begin{pmatrix} v - \mu v & \mu v \\ \mu v & \mu - \mu v \end{pmatrix} \tag{24}$$

Применяя формулу (13), находим удельную энтропию

$$H_1 = \left(\frac{v}{\mu + v}\right)h_2(\mu) + \left(\frac{\mu}{\mu + v}\right)h_2(v) \tag{25}$$

где

$$h_2(x) = -x\ln x - (1 - x)\ln(1 - x). \tag{26}$$

Далее по формуле (17) нетрудно получить граничную энтропию

$$2\Gamma - h_2\left(\frac{\mu}{\mu + v}\right) - \frac{v h_2(\mu) + \mu h_2(v)}{\mu + v} \tag{27}$$

Числовой пример

Рассмотрим ситуацию, когда матрица перехода имеет следующий вид:

$$\vec{\pi} = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.1 \\ 0.15 & 0.85 \end{pmatrix}$$

Такая матрица соответствует ситуации, когда в каждый момент времени имеется 10-процентная вероятность найти работу (для безработного) и 15-процентная возможность потерять ее. В этом случае удельная энтропия, рассчитанная по формуле (25), дает значение, равное 0.5414 бит, граничная энтропия, рассчитанная по формуле (27), – значение 0.4580 бит. Общая энтропия, которая определяет энтропию промежутка времени Т по приближенной формуле

$$H = TH_1 + 2\Gamma$$

равняется 0.9994 бит. Это означает, что неопределенность на рынке труда через один период равняется приблизительно 1 биту. Напомним, что удельная энтропия показывает неопределенность, связанную с каждым отрезком времени, а граничная показывает энтропию, приходящуюся на концы отрезка. Таким образом, энтропия каждого конца отрезка стационарного процесса в пределе равна **Г.**

Теперь предположим, что вероятность получить работу увеличилась и равняется 20%. В этом случае получим следующие результаты:

$H_1 = 0.6676$

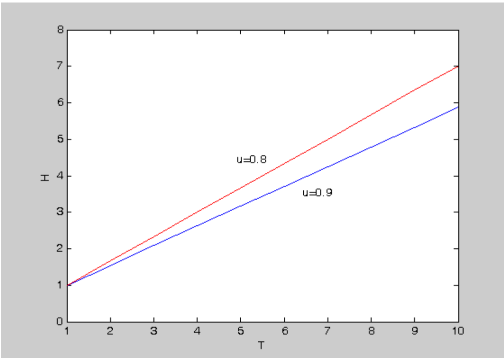
$2\Gamma = 0.3318$

$H = 0.9993$

Как видно, суммарная энтропия практически не изменилась, в то время как удельная энтропия значительно увеличилась, а граничная уменьшилась. Важно также понять, как меняется энтропия при рассмотрении более чем одного периода. Для сравнения возьмем T=2 и проведем вычисления для обоих рассмотренных случаев:

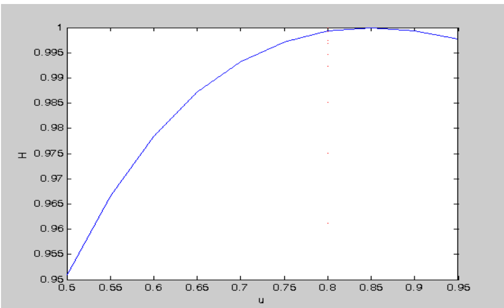
u = 0.9000	u = 0.8000
v = 0.8500	v = 0.8500
T = 2	T = 2
H_1 = 0.5414	H_1 = 0.6676
2Г = 0.4580	2Г = 0.3318
H = 1.5408	H = 1.6669.

Как видно из таблицы, общая неопределенность для второго случая выше, чем для первого. То есть при увеличении вероятности получения работы в два раза общая неопределенность возрастает на 8%. На следующем графике представлена зависимость общей энтропии от количества периодов для двух описанных случаев:

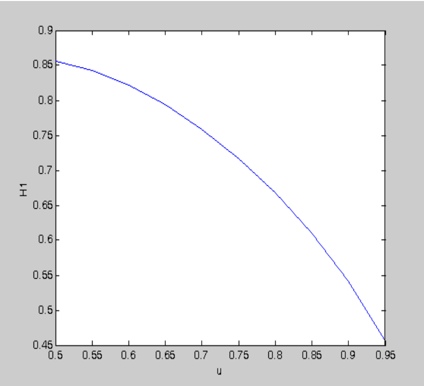


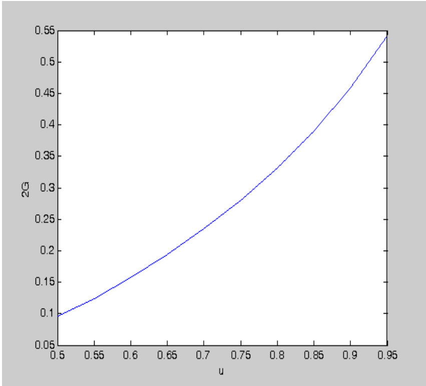
Таким образом, при увеличении вероятности найти работу общая неопределенность с каждым новым периодом все больше увеличивается.

Вернемся теперь к вопросу о том, как зависит энтропия от вероятности получения работы безработным. Рассмотрим случай T =1 и предположим, что вероятность меняется от 0.5 до 0.95. Соответствующая зависимость представлена на следующем графике.



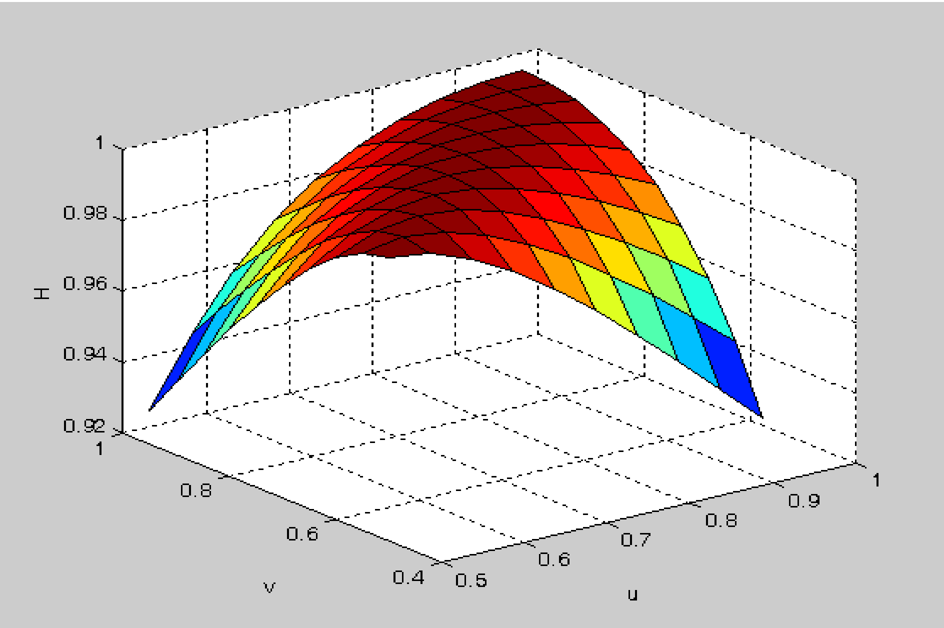
Как видно, наибольшая неопределенность возникает в случае, когда вероятность поступления на работу приблизительно равна вероятности потерять ее. Напомним, мы считали, что v=0.85. На следующих двух графиках представлены изменения удельной и граничной энтропий в зависимости от вероятности поступить на работу в предположении постоянной вероятности потерять ее для одного периода.





Как видно, удельная энтропия монотонно возрастает, а граничная энтропия монотонно убывает с увеличением вероятности поступления на работу.

И наконец, на последнем рисунке представлена зависимость общей энтропии от изменения вероятности как потери работы, так и получения работы для одного периода. Из рисунка видно, что максимальная неопределенность возникает в случае, когда эти вероятности близки друг к другу.



Двухотраслевая модель

Рассмотрим теперь задачу с тремя состояниями для рынка труда. Предположим, существуют две отрасли: промышленность и сельское хозяйство. Кроме того, каждый работник может быть безработным. Предположим, что вероятность перехода из одного состояния в другую характеризуется матрицей перехода:

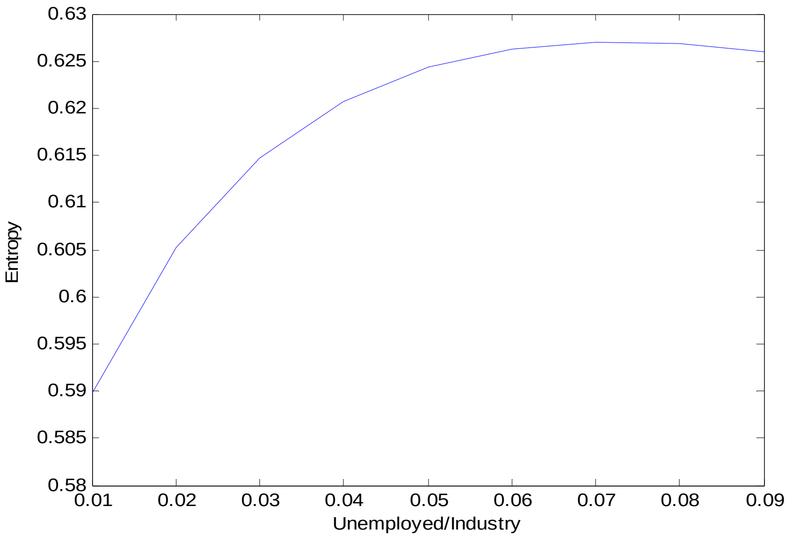
$$\pi_{tk} = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{13} \\ \pi_{21} & \pi_{22} & \pi_{23} \\ \pi_{31} & \pi_{32} & \pi_{33} \end{bmatrix}.$$

При этом π_{11} показывает вероятность в конце следующего периода безработному оставаться безработным, π_{22} работнику промышленности оставаться в промышленном секторе и π_{33} работнику сельскохозяйственного сектора оставаться в сельском хозяйстве. Недиагональные элементы матрицы показывают вероятность перехода между состояниями. Так, π_{21} показывает вероятность промышленному работнику оказаться безработным в конце периода рассмотрения, а π_{12} – для безработного оказаться занятым в промышленной сфере. С матрицей перехода связана удельная неопределенность периода, которая рассчитывается по формуле (13). Предположим, что матрица перехода имеет следующий вид:

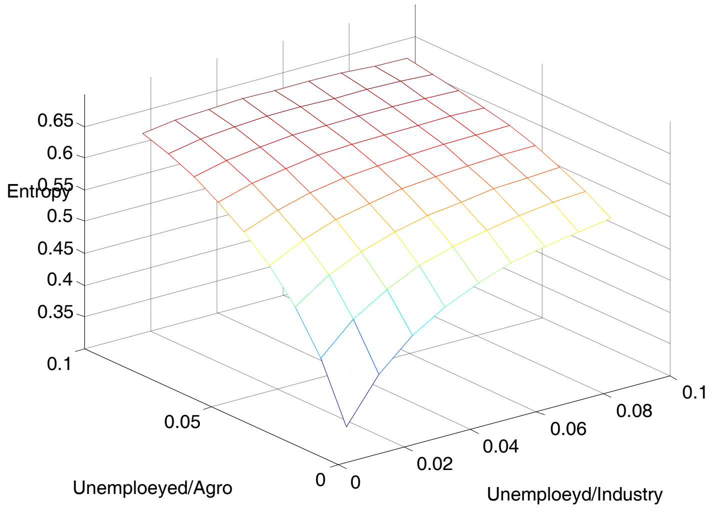
$$\pi_{ik} = \begin{bmatrix} 0.9 & 0.04 & 0.06 \\ 0.04 & 0.9 & 0.06 \\ 0.06 & 0.06 & 0.9 \end{bmatrix}$$

Матрица перехода имеет симметричный вид и диагональные элементы намного больше недиагональных. Это означает, что вероятности перехода из одного состояния в другое и обратно равны друг другу, вероятность оставаться в том же состоянии намного больше, чем переход в другое состояние. Для этой матрицы расчеты показывают, что удельная энтропия периода составляет 0.62 бита.

Пусть теперь всё остается неизменными, кроме вероятности перехода из состояния безработицы в индустриальную отрасль. В этом случае энтропия увеличивается и достигает максимума в точке с вероятностью перехода 0.06 и затем, как видно из рисунка, практически не меняется. Это означает, что при неизменных вероятностях наиболее устойчивое состояние, состояние с наибольшей энтропией, достигается в точке 0.06.



Теперь предположим, что изменяется не только вероятность перехода из состояния безработицы в индустрию, но и вероятность перхода в агросектор. В этом случае изменение энтропии представлено на следующем рисунке.



Как видно из рисунка, максимальная удельная энтропия в этом случае практически не изменяется и остается на уровне 0.625. То есть одновременное увеличение вероятности перехода из состояния безработицы в агросектор и в сектор индустрии не приводит к существенно более устойчивым состояниям.

ՀԱՅԿ ՍԱՐԳՍՅԱՆ, ՌՈՒԲԵՆ ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, ՆԱՐԵԿ ՍԱՐԳՍՅԱՆ – *Աշխատանքի շուկայում կառուցվածքային փոփոխությունների վերլուծական մոդել* – Այս հոդվածում առաջարկվում է աշխատանքի շուկայի կառուցվածքային փոփոխությունների հետազոտման մեթոդ, որը հիմնված է տեղեկատվական-էնտրոպիական մեթոդի վրա: Աշխատանքի շուկայում փոփոխությունները դիտարկվում են որպես պատահական մարկովյան գործընթաց, որը բնութագրվում է միավոր ժամանակի էնտրոպիայով և սահմանային էնտրոպիայով: Գումարային էնտրոպիայի առավելագույն արժեքները հանդիսանում են որպես աշխատանքի շուկայում կայուն վիճակների ստեղծման պայման: Նշված մոդելները կիրառվել են գործազրկության և երկճյուղային մոդելով ներկայացվող տնտեսությունում կայուն վիճակների բացահայտման համար:

HAYK SARGSYAN, RUBEN GEVORGYAN, NAREK SARGSYAN – *Analytical Model of Structural Changes in Labour Market.* – This paper proposes a method for studying structural changes in the labor market based on information-entropy approach. Changes in the labor market are considered as a random Markov process, described by entropy per unit time and by boundary entropy. The maximum value of the total entropy is regarded as a condition of occurrence of stable states in the labor market. We consider the problems of unemployment and of the economy with two sectors. The conditions of occurrence of stable states are found.