

Е.Е. Жуланов, У.В. Афтахова

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

Показана актуальность задачи моделирования регионального промышленного кластера как инструмента проведения скоординированной промышленной политики и измерения социально-экономических результатов реализации приоритетных проектов по развитию промышленного производства с учетом региональной дифференциации природно-климатических и социально-экономических условий хозяйствования.

Цель исследования заключалась в формировании методов моделирования регионального промышленного кластера в рамках социально ориентированной концепции промышленного развития, которые бы учитывали существующие подходы к управлению, предусмотренные индустриальной концепцией развития, а также социально направленные подходы.

В рамках авторской экономико-математической динамической модели систематизированы и гармонизированы проектный, интеграционно-предпринимательский, институциональный, социально-стратегический, социально ответственный и социально-стоимостный подходы к управлению региональным промышленным кластером. Разработаны механизмы, которые в отличие от существующих моделей комплексно и нелинейно учитывают принцип саморазвития промышленной системы на основе моделирования поведения самостоятельных рациональных хозяйствующих субъектов, минимизирующих затраты производства, ограниченность взаимозамещения производственных ресурсов, влияние внедрения технологических инноваций и образовательных услуг региона на производственные возможности региональных предприятий и производительность труда. Предложен авторский итерационный механизм определения сбалансированных параметров производственной деятельности хозяйствующих субъектов в региональном промышленном кластере. Предлагаемая экономико-математическая модель предназначена для анализа и прогнозирования социально-экономических результатов функционирования регионального промышленного кластера в виде прибыли товаропроизводителей, занятости и уровня дохода населения, налоговых поступлений в бюджет и объемов продаж товаров и услуг по рынкам. Это позволяет оценить последствия принятия управленческих решений на региональном уровне по выполнению приоритетных проектов развития региональной промышленности с учетом проявления возможных синергетических или мультипликативных эффектов.

Ключевые слова: *индустриальный регион, промышленный кластер, экономико-математическая модель, социально ориентированное развитие.*

Проблема дифференциации подходов к социальной ответственности власти и бизнеса привела к возникновению противоречий между технологическим и социально ориентированным развитием промышленного производства, учитывающим потребности населения в условиях интенсификации развития промышленного комплекса. В настоящее время индустриальная концепция промышлен-

© Жуланов Е.Е., Афтахова У.В., 2018

Жуланов Евгений Евгеньевич – д-р экон. наук, доцент, завкафедрой экономики и управления промышленным производством ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: zeeerstu@yandex.ru.

Афтахова Ульяна Владимировна – ст. преподаватель кафедры экономики и управления промышленным производством ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: ulianaaft@yandex.ru.

ного развития существенно расширилась. Ее основными участниками стали все производители товаров и услуг, общественные организации и институты, а не только промышленные предприятия. Произошло размывание отраслевых границ за счет межотраслевого кооперирования в целях создания конкурентоспособной промышленной продукции, что обусловило формирование конкурентоспособной региональной экономики [1, с. 4; 2]. Базовым ориентиром развития данной концепции является интеллектуализация основных факторов производства, а также производство, распределение и использование знаний и информации.

Реализация развития промышленного региона в рамках данной концепции осуществляется на методологической основе, интегрирующей в себе проектный/программный, интеграционно-предпринимательский и институциональный подходы к формированию механизмов его реализации.

1. *Проектный/программный подход* – обеспечивает развитие промышленного региона через призму выбора и реализации приоритетных промышленных программ. Их приоритетность определяется, с одной стороны, конкурентоспособностью видов экономической деятельности в промышленности и темпами приращения конкурентных возможностей развития каждой, с другой стороны – способностью конкретной территории принять новые инвестиционные потоки. Особенностью данного подхода является то, что отраслевой срез промышленного развития преобразуется в пространственно-территориальный, при этом сами проекты могут иметь два статуса: «текущего развития» и «будущего развития». Проекты «текущего развития» могут обеспечивать доминирование промышленности на рынках в ближайший временной период, а проекты «будущего развития» – возвращение конгломератов для завоевания глобальных рынков.

2. *Интеграционно-предпринимательский подход* – обеспечивает структурные изменения экономики регионов за счет интеграционного межотраслевого взаимодействия предприятий, обуславливающего формирование промышленных кластеров, обеспечивает процесс экономической модернизации территории.

Базовым инструментом данного подхода выступают промышленные кластеры, играющие непосредственную роль точек экономического роста. Когда один или несколько экономических субъектов достигают конкурентоспособности на рынке, они распространяют свое влияние на ближайшее окружение: поставщиков, потребителей, конкурентов. В итоге формируется сообщество экономических субъектов – тесно связанных отраслей, взаимно способствующих росту конкурентоспособности друг друга.

Данный подход, по мнению Д. Хаага, обуславливает создание индустриального комплекса на базе локальной концентрации основных производителей кластера в одном регионе, но при этом максимально использующего природный, кадровый и интеграционный потенциалы соседних территорий. По такому принципу кластеризована датская, финская, норвежская и шведская промышленность, химическая промышленность и машиностроение в Германии, производство продуктов питания и косметики во Франции, нефтехимия в Сингапуре и автомобилестроение в Японии.

Мировое научное сообщество поддерживает данный подход по ряду причин. Во-первых, кластеры обеспечивают развитие высокотехнологичных отраслей и «оздоравливают» экономику регионов. Во-вторых, кластеры активизируют предпринимательскую деятельность в регионах. В-третьих, кластеры обеспечивают рост экспорта, а в-четвертых – формирование особых специалистов с подготовкой выходящей за границы отраслевых компетенций [3, с. 50; 4, с. 21; 5, с. 19; 6].

Отсюда, по мнению ряда отечественных ученых, содержанием индустриальной политики должна стать организация и поддержка промышленных кластеров как точек роста конкурентоспособности территорий [7].

3. *Институциональный подход* – обеспечивает институциональный контур частно-государственного финансирования промышленного развития путем формирования особых экономических зон, инвестиционных фондов, банков развития, венчурных компаний, которые нивелируют несовершенства рынка и новой институциональной системы [8]. Этот контур обеспечивает благоприятные экономические условия и снижение рисков реализации технологических преобразований за счет функционирования институтов содействия спросу на продукцию местных производителей, налогового и тарифного стимулирования, программного развития, «оправданной» ликвидации предприятий.

Таким образом, рассмотренные подходы к развитию промышленных регионов ускоряют формирование высокотехнологичного ядра индустриализации и служат инструментами макроэкономического роста. Однако индустриальная концепция недостаточно внимания уделяет человеку – основному звену производственной системы. В основу новой индустриализации должна быть положена социально-экономическая система, обеспечивающая в долгосрочной перспективе рост реальных доходов населения, уровня образования и здравоохранения. Исходя из этого особый интерес представляет *социально ориентированная концепция развития индустриальных регионов*, которая опирается на теории нового роста и «зеленого роста». В их рамках промышленная модернизация выступает одной из базовых составляющих жизни населения и стимулирует развитие социальной сферы, включающей здравоохранение, образование, культуру, а также условия и качество жизни людей в целом [9]. В основе данной концепции должны быть следующие методологические подходы.

1. *Социально-стратегический подход* – обеспечивает формирование институтов стимулирования учета приоритетных социальных и экологических задач развития региональной экономики в процессе производственных преобразований. Это требует специальных системно-организованных исследований, позволяющих адекватно оценить текущую ситуацию и спрогнозировать будущую.

2. *Социально ответственный подход* – обеспечивает распределение социальной ответственности между всеми уровнями территориального администрирования и бизнесом в процессе реализации промышленного развития.

3. *Социально-стоимостный подход* – обеспечивает разработку организационных механизмов развития промышленного региона, адаптированных к практике мировых рынков, обусловленных экономическими задачами модернизации в долгосрочном и краткосрочном плане и опирающихся на денежную оценку опыта проявления негативных социально-экономических, социально-экологических и эколого-экономических последствий инновационно-технологических преобразований.

На основе социально ориентированной концепции и указанных подходов к формированию социально-экономических процессов была сформирована кластерная математическая модель, описывающая процессы социально-экономической системы региона с учетом самостоятельного поведения рациональных хозяйствующих субъектов, а также территориальной специфики их деятельности, выраженной в особенностях социально-экономических и природно-климатических условий РФ [10, с. 58; 11]. В данной модели описывается воспроизводство условий функционирования территориальной социально-экономической системы при взаимодействии с внешней средой. Территориальный подход обусловлен дифференциацией регионов по обеспечению природно-климатических условий, по структуре промышленности, уровню цен на одни и те же блага, уровню доходности предприятий и инвестиционных потоков. Это дифференцирует процентные ставки банков, объемы кредитования и темпы инфляции в регионах, экономические параметры систем региональных рынков и скорость деловой активности [12]. Разработанная модель имеет балансовую форму, представленную в таблице.

В представленной модели отражены хозяйственные взаимосвязи между рынками, образующими воспроизводственную и логистическую систему товародвижения в регионе. Это рынки: 1) инновационных технологий, 2) образовательных услуг, 3) кредитных ресурсов, 4) рекламных услуг, 5) посреднических услуг, 6) трудовых ресурсов, 7) недвижимости, 8) оборудования, 9) сырья и материалов. Столбцы в модели характеризуют j -е рынки-потребители товаров и услуг, а строки – i -е региональные рынки, поставляющие их. В отличие от традиционно используемого межотраслевого балансового метода и его модификаций, применяемых на национальном и региональном уровне в основу разработанной модели положены степенные производственные функции, отражающие нелинейный характер хозяйственных взаимосвязей между предприятиями региональных рынков [13, с. 39]:

$$X_j = A_j \cdot \prod_{i=1}^n x_{ij}^{c_{ij}}, j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где A_j – коэффициент отдачи от масштаба производства товара j ; c_{ij} – коэффициент эластичности производства товара j по ресурсу i ; x_{ij} – количество ресурса i , используемого для производства товара (услуги) j ; X_j – общий объем продаж товара j ; n – количество благ, потребляемых в воспроизводственном процессе.

Экономико-математическое представление регионального промышленного кластера

Модель регионального промышленного кластера	№	Единицы измерения	Период 1									Период 2									Темп роста		Соотношение темпов роста цен и продаж					
			Рынки-потребители			Конечное потребление			Сокупные продажи			Рынки-потребители			Конечное потребление			Сокупные продажи			продаж	цен						
			1	2	9	В т.ч. в регионе	В других регионах	в других регионах	1	2	9	В т.ч. в регионе	В других регионах	в других регионах	1	2	9	Цена, руб./ед.	Цена, руб./ед.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Иновационные преобразования в экономике																												
Услуг меняющих отрасль ресурсов	1	Рынок новых технологий	кол-во разработок	$qP_{1,1}$	$qP_{1,2}$	$qP_{1,9}$	$Q_{1,1}$	—	—	$X_{1,1}$	$P_{1,1}$	$qP_{2,1}$	$qP_{2,2}$	$qP_{2,9}$	—	—	—	$X_{2,1}$	$P_{2,1}$	$qP_{2,1}$	$qP_{2,2}$	$qP_{2,9}$	—	—	—			
	2	Рынок образовательных услуг	кол-во учебных человеко-часов	$q_{1,2,1}$	$q_{1,2,2}$	$q_{1,2,9}$	$Q_{1,2}$	—	—	$X_{1,2}$	$P_{1,2}$	$q_{2,2,1}$	$q_{2,2,2}$	$q_{2,2,9}$	—	—	—	$X_{2,2}$	$P_{2,2}$	$q_{2,2,1}$	$q_{2,2,2}$	$q_{2,2,9}$	—	—	—			
Услуг меняющих отрасль ресурсов	6	Влияние образования на производительность труда	коэффициент	$c_{1,6,1}$	$c_{1,6,2}$	$c_{1,6,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,6,1}$	$c_{2,6,2}$	$c_{2,6,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,6,1}$	$c_{2,6,2}$	$c_{2,6,9}$	—	—	—			
	7	Показатели эластичности производства по ресурсам рынка	коэффициент	$c_{1,7,1}$	$c_{1,7,2}$	$c_{1,7,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,7,1}$	$c_{2,7,2}$	$c_{2,7,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,7,1}$	$c_{2,7,2}$	$c_{2,7,9}$	—	—	—			
	8		коэффициент	$c_{1,8,1}$	$c_{1,8,2}$	$c_{1,8,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,8,1}$	$c_{2,8,2}$	$c_{2,8,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,8,1}$	$c_{2,8,2}$	$c_{2,8,9}$	—	—	—			
	9		коэффициент	$c_{1,9,1}$	$c_{1,9,2}$	$c_{1,9,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,9,1}$	$c_{2,9,2}$	$c_{2,9,9}$	—	—	—	—	—	$c_{2,9,1}$	$c_{2,9,2}$	$c_{2,9,9}$	—	—	—			
	7	Инвестиции в товары и услуги для внедрения инноваций	млн руб.	$u_{1,7,1}$	$u_{1,7,2}$	$u_{1,7,9}$	$U_{1,7,0}$	—	—	$U_{1,7,0}$	—	$u_{2,7,1}$	$u_{2,7,2}$	$u_{2,7,9}$	$U_{2,7,0}$	—	—	—	—	$u_{2,7,1}$	$u_{2,7,2}$	$u_{2,7,9}$	$U_{2,7,0}$	—	—			
	9	Итого инвестиций	млн руб.	$U_{1,9,1}$	$U_{1,9,2}$	$U_{1,9,9}$	$U_{1,9,0}$	—	—	$U_{1,9,0}$	—	$U_{2,9,1}$	$U_{2,9,2}$	$U_{2,9,9}$	$U_{2,9,0}$	—	—	—	—	$U_{2,9,1}$	$U_{2,9,2}$	$U_{2,9,9}$	$U_{2,9,0}$	—	—			
	Рыночная и финансовая инфраструктура																											
	Услуг рын. и фин. инфраструктуры	—	вклады граждан	млн руб.	$d_{1,3,1}$	$d_{1,3,2}$	$d_{1,3,9}$	$D_{1,3}$	—	—	—	—	$d_{2,3,1}$	$d_{2,3,2}$	$d_{2,3,9}$	$D_{2,3}$	—	—	—	—	$d_{2,3,1}$	$d_{2,3,2}$	$d_{2,3,9}$	$D_{2,3}$	—	—		
		—	вклады юридических лиц	млн руб.	$n_{1,3,1}$	$n_{1,3,2}$	$n_{1,3,9}$	$N_{1,3}$	—	—	—	—	$n_{2,3,1}$	$n_{2,3,2}$	$n_{2,3,9}$	$N_{2,3}$	—	—	—	—	$n_{2,3,1}$	$n_{2,3,2}$	$n_{2,3,9}$	$N_{2,3}$	—	—		
—		итого поступления	млн руб.	$\delta_{1,3,1}$	$\delta_{1,3,2}$	$\delta_{1,3,9}$	$\delta_{1,3}$	—	—	—	—	$\delta_{2,3,1}$	$\delta_{2,3,2}$	$\delta_{2,3,9}$	$\delta_{2,3}$	—	—	—	—	$\delta_{2,3,1}$	$\delta_{2,3,2}$	$\delta_{2,3,9}$	$\delta_{2,3}$	—	—			
—		здолженность по кредитам	млн руб.	$z_{1,3,1}$	$z_{1,3,2}$	$z_{1,3,9}$	$Z_{1,3}$	—	—	—	—	$z_{2,3,1}$	$z_{2,3,2}$	$z_{2,3,9}$	$Z_{2,3}$	—	—	—	—	$z_{2,3,1}$	$z_{2,3,2}$	$z_{2,3,9}$	$Z_{2,3}$	—	—			
3		спрос на кредиты в регионе	млн руб.	$rK_{1,3,1}$	$rK_{1,3,2}$	$rK_{1,3,9}$	$RK_{1,3}$	—	—	—	—	$rK_{2,3,1}$	$rK_{2,3,2}$	$rK_{2,3,9}$	$RK_{2,3}$	—	—	—	—	$rK_{2,3,1}$	$rK_{2,3,2}$	$rK_{2,3,9}$	$RK_{2,3}$	—	—			
4	Рынок кредитных ресурсов	млн руб.	$k_{1,3,1}$	$k_{1,3,2}$	$k_{1,3,9}$	$Q_{1,3}$	—	—	$X_{1,3}$	$P_{1,3}$	$k_{2,3,1}$	$k_{2,3,2}$	$k_{2,3,9}$	$Q_{2,3}$	—	—	—	—	$k_{2,3,1}$	$k_{2,3,2}$	$k_{2,3,9}$	$Q_{2,3}$	—	—	$X_{2,3}$	$P_{2,3}$	$t_{6,3}$	
4	Рынок рекламных услуг	кол-во рекламных сообщений	$r_{1,4,1}$	$r_{1,4,2}$	$r_{1,4,9}$	$Q_{1,4}$	—	—	$X_{1,4}$	$P_{1,4}$	$r_{2,4,1}$	$r_{2,4,2}$	$r_{2,4,9}$	$Q_{2,4}$	—	—	—	—	$r_{2,4,1}$	$r_{2,4,2}$	$r_{2,4,9}$	$Q_{2,4}$	—	—	$X_{2,4}$	$P_{2,4}$	$t_{6,4}$	
5	Рынок посреднических услуг	млн руб.	$qf_{1,5,1}$	$qf_{1,5,2}$	$qf_{1,5,9}$	$Q_{1,5}$	—	—	$X_{1,5}$	$P_{1,5}$	$qf_{2,5,1}$	$qf_{2,5,2}$	$qf_{2,5,9}$	$Q_{2,5}$	—	—	—	—	$qf_{2,5,1}$	$qf_{2,5,2}$	$qf_{2,5,9}$	$Q_{2,5}$	—	—	$X_{2,5}$	$P_{2,5}$	$t_{6,5}$	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	Конечный спрос		$Q_{1,1}$	$Q_{1,2}$	$Q_{1,9}$							$Q_{2,1}$	$Q_{2,2}$		$Q_{2,9}$								
Хозяйственные взаимосвязи в системе региональных рынков																							
промежуточных товаров	6	числ.	$x_{1,6,1}$	$x_{1,6,2}$	$x_{1,6,9}$							$x_{2,6,1}$	$x_{2,6,2}$		$x_{2,6,9}$								
	7	m^2	$x_{1,7,1}$	$x_{1,7,2}$	$x_{1,7,9}$	$Q_{1,7}$				$X_{1,7}$	$P_{1,7}$	$x_{2,7,1}$	$x_{2,7,2}$		$x_{2,7,9}$	$Q_{2,7}$			$X_{2,7}$	$P_{2,7}$	$t_{6,7}$	$t_{6,7}$	$t_{6,7}$
	8	кол-во единиц оборудования	$x_{1,8,1}$	$x_{1,8,2}$	$x_{1,8,9}$	$Q_{1,8}$				$X_{1,8}$	$P_{1,8}$	$x_{2,8,1}$	$x_{2,8,2}$		$x_{2,8,9}$	$Q_{2,8}$			$X_{2,8}$	$P_{2,8}$	$t_{6,8}$	$t_{6,8}$	$t_{6,8}$
	9	кол-во натуральных единиц сырья	$x_{1,9,1}$	$x_{1,9,2}$	$x_{1,9,9}$	$Q_{1,9}$				$X_{1,9}$	$P_{1,9}$	$x_{2,9,1}$	$x_{2,9,2}$		$x_{2,9,9}$	$Q_{2,9}$			$X_{2,9}$	$P_{2,9}$	$t_{6,9}$	$t_{6,9}$	$t_{6,9}$
	Рынки других регионов																						
Совокупные продажи																							
			$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	$X_{1,9}$								$X_{2,2}$		$X_{2,9}$								
Добавленная стоимость																							
Прибыль		млн руб.	$Pr_{1,1}$	$Pr_{1,2}$	$Pr_{1,9}$							$Pr_{2,1}$	$Pr_{2,2}$		$Pr_{2,9}$								
Фонд оплаты труда		млн руб.	$W_{1,1}$	$W_{1,2}$	$W_{1,9}$							$W_{2,1}$	$W_{2,2}$		$W_{2,9}$								
Амортизация		млн руб.	$A_{1,1}$	$A_{1,2}$	$A_{1,9}$							$A_{2,1}$	$A_{2,2}$		$A_{2,9}$								
Налоговые платежи		млн руб.	$TN_{1,1}$	$TN_{1,2}$	$TN_{1,9}$							$TN_{2,1}$	$TN_{2,2}$		$TN_{2,9}$								

В разработанной кластерной модели выполняются условия:

$$X_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + Q_i; \quad i = \overline{1, n}; \quad (2)$$

$$X_j = A_j \prod_{i=1}^n x_{ij}^{c_{ij}}, \quad j = \overline{1, n}; \quad (3)$$

где Q_i – объем конечного потребления i -го товара (услуги).

Степенные функции предусматривают возможность взаимозамещения ресурсов и применение авторского механизма определения наименее затратной комбинации объемов закупки каждого ресурса исходя из сложившихся показателей эластичности объема производства – c_{ij} и рыночных цен на ресурсы:

$$x_{ij} = \left(\frac{X_j}{A_j} \right)^{1/\sum_{i=1}^n c_{ij}} \cdot \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n \left(\frac{c_{lj}}{p_l} \cdot \frac{p_i}{c_{ij}} \right)^{\left(-c_{lj} / \sum_{i=1}^n c_{ij} \right)}, \quad j = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

где p_i – цена i -го товара (услуги).

Поскольку ресурсы имеют ограничение по взаимодополнению, то в модель введен механизм учета предельной нормы технологического взаимодополнения ресурсов:

$$\varepsilon_{i,l} = \frac{c_i \cdot x_l}{c_l \cdot x_i} = \frac{p_l}{p_i}. \quad (5)$$

Норма $\varepsilon_{i,l}$ характеризует пропорцию потребления ресурса l в дополнение к единице ресурса i , необходимого для производства единицы блага. При этом затраты на ресурс i и l должны обеспечить одинаковый предельный продукт. Следовательно, технологические пропорции потребления ресурсов позволят определить предельно допустимый уровень цены их закупки. С этой целью для каждого ресурса рассчитывается размер предельного продукта на 1 руб. рыночной цены:

$$\varphi_i = c_i / (x_i \cdot p_i), \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Из рассчитанных φ_i выбирается наименьшее, а соответствующая ему рыночная цена p_φ принимается за основу для определения предельно допустимых уровней цен, учитывающих коэффициент технологического взаимодополнения ресурсов d :

$$p_j^{t2} = p_\varphi \cdot \varepsilon_{\varphi,j} \cdot (1-d), \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Выбор такой цены p_ϕ объясняется тем, что при подстановке предельно допустимых цен в формулу (4) обеспечивается полное соответствие расчетных значений x_{ij} фактическим, т.е. технологическим ограничениям. Затем выполняется расчет x_{ij} по формуле (4). Если рыночная цена окажется выше предельно допустимой, то в формулу (4) будет введена рыночная цена, и наоборот.

Сбалансированные объемы регионального производства i -х благ (X_i) определяются в системе уравнений, формируемой путем подстановки правой части (4) в равенство (2) вместо x_{ij} :

$$\left\{ X_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \left(\frac{X_j}{A_j} \right)^{\sqrt[\sum_{i=1}^n c_{ij}]{} + Q_i}, b_{ij} = \prod_{l=1}^n \left(\frac{c_{lj}}{p_l} \cdot \frac{p_i}{c_{ij}} \right)^{\left(-c_{ij} / \sum_{i=1}^n c_{ij} \right)}, i = \overline{1, n}. \right. \quad (8)$$

Для нахождения X_i используется авторский итерационный метод. В правую часть системы (8) вместо X_j вводятся итоги предыдущей итерации:

$$\left\{ X_i^{k+1} = \sum_{j=1}^n b_{ij} (X_j^k / A_j)^{\sqrt[\sum_{i=1}^n c_{ij}]{}}, i = \overline{1, n}, \right. \quad (9)$$

где X_i^k и X_j^{k+1} – целое значение X_i при итерации k и $k+1$, соответственно.

На первой итерации вместо X_j^k в систему (8) вводятся объемы прогнозируемого потребительского спроса Q_i , затем вычисления продолжаются до выполнения условия

$$X_i^{k+1} - X_i^k = 0, i = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Если сумма коэффициентов эластичности $c_{ij} \geq 1$, то условие сходимости данного метода к единому решению выполняется, в противном случае X_i будет увеличиваться до бесконечности. Поэтому X_i нужно ограничить пределом региональной мощности производства блага – X_i^m .

Модель регионального промышленного кластера состоит из 5 последовательно заполняемых разделов (см. таблицу). В разделе «Инновационные преобразования в экономике» учитываются:

1. Рынок № 1 – «рынок инновационных технологий». В модели указывается количество реализованных по каждому рынку инновационных технологических разработок за период и их средняя цена. Далее оценивается влияние, которое окажут инновации на параметры эластичности в степенной производственной функции – c_{ij} . Такой перерасчет возможен на основе проектных данных об объемах потребления ресурсов. На основе проектной документации определяется потребность в инвестициях для внедрения новых технологий.

2. Рынок № 2 – «рынок образовательных услуг». Образование влияет на рост производительности труда – показатель степенной эластичности в производственной функции. Для оценки этого влияния был разработан механизм:

$$c_{2,1,j} = c_{1,6,j} - \gamma_j \cdot c_{1,6,j} \cdot (c_{1,2,j} - c_{2,2,j}) / c_{1,2,j}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (11)$$

где $c_{1,6,j}$ и $c_{2,6,j}$ – эластичность объема производства товара j по 6-му ресурсу – труду в фактическом и прогнозируемом периоде, коэф.; $c_{1,2,j}$ и $c_{2,2,j}$ – количество образовательных услуг рынка № 2, предоставленных работникам рынка j в фактическом и прогнозируемом периодах, человеко-часы; γ – эластичность изменения производительности труда по объему образовательных услуг.

Благодаря учету в модели этих рынков можно анализировать перелив человеческого капитала и финансовых ресурсов в инновационную сферу из традиционных экономических секторов, что соответствует современным тенденциям инновационной экономики [14, с. 8].

В разделе модели «Влияние НТР и образования на сферу производства» оценивается влияние научно-технологического развития и образования на сферу производства, что выражается в изменении степенных показателей в производственных функциях. Введение данного раздела в модель обосновывается тем, что внедряемые инновационные компоненты обновляют производственный аппарат и переводят экономику на качественно новый тип развития, обеспечивая тем самым ее конкурентоспособность и синергетические результаты [15, с. 33; 16, с. 32; 17, с. 82]. Здесь же определяется сумма инвестиций для внедрения технологических инноваций, что позволит решать на основе модели важную народно-хозяйственную задачу оценки влияния инвестиций на эффективность использования основного капитала участниками рынков с учетом инновационных изменений.

Раздел модели «Рыночная и финансовая инфраструктура» содержит результаты работы следующих рынков:

1. Рынок № 3 – «рынок финансовых услуг». В нем агрегированно рассматриваются поступления и расходы регионального банковского сектора [18]. Для определения потребности системы регионального кластера в услугах по кредитованию в модели на основе данных Росстата заполняются строки, начиная с «Вклады населения» и заканчивая «Спрос на кредитные ресурсы в регионе». Последняя строка определяется как разница между инвестициями и строкой «Вклады юридических лиц», так как предприятия инвестируют прежде всего за счет прибыли и амортизационного фонда. Строка «Кредитные ресурсы банков» = «Поступления» – «Задолженность по кредитам» – «Итого инвестиций». Она характеризует способность банков к кредитованию в будущем периоде. Под ценой кредитных ресурсов понимается их средняя процентная ставка по региону ($P_{l,3}$).

2. Рынок № 4 – «рынок рекламных услуг». Количество рекламных услуг (C) за период l по товару (услуге) вида i прогнозируется на основе преобразованной модели Дорфмана–Штайнера (12), которая определяет оптимальные затраты на рекламу, исходя из объема спроса на товар предприятий:

$$C_{l,i} = -\varphi_j \cdot P_j \cdot X_{l,j} / (\alpha_j \cdot P_{l,4}), \quad (12)$$

где α_j – ценовая эластичность спроса на товар; φ_j – эластичность спроса по рекламе; $X_{l,j}$ – количество продаж товара (услуги) j ; P_j – цена товара (услуги) j .

Развитие рекламной деятельности увеличивает объемы использования производственных ресурсов и продаж региональных рынков.

3. Рынок № 5 – «рынок посреднических услуг». Задачей этого рынка является увеличение объема продаж благ за пределами регионального кластера, так как внутри его продажи осуществляются при участии маркетинговых служб предприятий. Стоимость посреднических услуг в модели характеризуется величиной посреднической надбавки на единицу блага.

Раздел модели «Хозяйственные взаимосвязи в системе региональных рынков» характеризует по вертикали – потребление товаров и услуг производимых для промежуточного и конечного потребления: рынком № 6 – «рынок труда», № 7 – «рынок недвижимости», № 8 – «рынок оборудования» и № 9 – «рынок сырья и материалов».

В последнем разделе модели отражается добавленная стоимость, равная сумме фонда оплаты труда, прибыли и амортизации предприятий, а также налоговых отчислений в региональный бюджет в разрезе региональных рынков.

В модели все данные представлены в динамике за два периода. Третий столбец модели «Темп роста» необходим для выявления рынков, сдерживающих развитие региональной экономики. Такой вывод о рынке оправдан, если темп роста цены превышает темп роста объема продаж. Соотношение этих темпов, умноженное на 100 %, покажет, на сколько процентов сложившаяся рыночная цена превышает тот уровень, который должен быть на конкурентном рынке и служит экономическим обоснованием необходимости принятия мер по развитию конкуренции в регионе.

Для прогнозирования объема спроса в модели кластера предложен механизм, учитывающий изменение рыночных цен и влияние рыночной инфраструктуры на конечный спрос j -х товаров или услуг (Q_j):

$$Q_j = d \cdot P_j^{\alpha_1} \cdot (r_{l,4,j} \cdot P_{l,4})^{\alpha_2} \cdot (qt_{l,5,j} \cdot P_{l,5})^{\alpha_3}, \quad (13)$$

где α_1 , α_2 , α_3 – показатели эластичности объема продаж соответственно по цене на продукцию, затратам на рекламу и посреднические услуги.

Исходя из прогноза роста Q_j на основе механизма определения сбалансированных объемов производства и потребления благ (8)–(10) в модели регионального кластера определяется прогноз изменения совокупного объема продаж товаров и услуг X , занятости населения и добавленной стоимости под влиянием развития конкуренции в системе региональных рынков, а также внедряемых инноваций и инвестиций. При этом следует подчеркнуть, что модель предоставляет возможность определять синергетические результаты скоорди-

нированного взаимодействия участников промышленного кластера благодаря системно взаимосвязанному и нелинейному описанию их деятельности.

Таким образом, в представленной модели регионального кластера реализован кластерный подход, служащий наиболее эффективной формой достижения конкурентоспособности и прогрессивности социально-экономического развития региона [19, с. 11]. Модель охватывает комплекс основных процессов, протекающих в системах взаимосвязанных региональных промышленных кластеров, и позволяет гармонизировать применение всех вышеперечисленных подходов, обеспечивая тем самым плавный переход к социально ориентированной концепции развития. В частности она позволяет оценивать последствия от выполнения приоритетных проектов в регионе, структурных изменений межотраслевого взаимодействия, в результате этого формировать механизмы развития региональной промышленности, обеспечивающие рост занятости населения и его профессиональную ориентацию с учетом стратегических задач развития территориальной промышленности, а также определять рынки, требующие формирования особых институциональных условий для развития конкуренции. Поскольку кластерная модель региональной промышленной системы является открытой, то она предусматривает возможность экспорта и импорта товаров и услуг, а следовательно, адаптацию к конъюнктуре и требованиям международных рынков.

Список литературы

1. Шакум М.Л. Национальная промышленная политика в свете присоединения России к ВТО // Промышленная политика в Российской Федерации. – 2007. – № 1. – С. 3–11.
2. Инновационно-ориентированная региональная политика как базис капитализации и социально-экономический императив развития территории / Т.А. Балина, З.В. Пономарева, В.А. Столбов, С.В. Толчин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2017. – № 3. – С. 192–202.
3. Дадаев Л.М. Теоретические аспекты анализа кластерной организации региональной экономики // Региональная экономика: теория и практика. – 2008. – № 24 (81). – С. 50–56.
4. Лаврикова Ю.Г. Концептуальные основы и практика реализации кластерного подхода в регионах России // Региональная экономика: теория и практика. – 2008. – № 22 (79). – С. 21–31.
5. Раевский С.В., Винокурова Ю.В. Кластерная концепция организации структуры экономики регионов // Региональная экономика: теория и практика. – 2007. – № 5. – С. 27–30.
6. Романова О.А., Лаврикова Ю.Г. Кластерное развитие экономики региона: теоретические возможности и практический опыт // Экономика региона. – 2007. – Приложение к №4/2007. – С. 40–50.

7. Региональная промышленная политика: теоретические основы, практика формирования и механизмы реализации / А.И. Татаркин, О.А. Романова, Р.И. Чеченова, М.Г. Филатова; Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2000. – 82 с.
8. Романова О.А. Теория и практика развития частно-государственного партнерства // Вестник УГТУ. – 2007. – № 3. – С. 39–50.
9. Доклад о развитии человеческого потенциала в Российской Федерации за 2011 г. / под ред. А.А. Аузана, С.Н. Бобылева. – М., 2011. – 146 с.
10. Регион в новой парадигме пространственной организации России / под ред. А.И. Татаркина. – М.: Экономика, 2007. – 751 с.
11. Сидорова Е.Н., Татаркин Д.А. Управление финансовыми потоками саморазвивающихся территорий: воспроизводственный подход / Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2010. – 122 с.
12. Чернова С.А., Алиева М.Ю. Принципы и факторы конкурентоспособности региональных коммерческих банков // Международный бухгалтерский учет. – 2014. – № 3. – С. 45–54.
13. Оценка и прогноз социально-экономических последствий технологического развития Урала / Е.Л. Андреева [и др.]; Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – 267 с.
14. Суховой А.С., Голова И.М. Теоретико-методологические аспекты управления инновационным климатом в регионе / Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2009. – 51 с.
15. Корпоративное знание как фактор инновационного развития фирмы / Е.В. Попов, И.В. Баскакова, М.О. Симахина; Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2008. – 90 с.
16. Серков Л.А. Синергетические аспекты моделирования социально-экономических процессов / Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2008. – 216 с.
17. Экономико-технологическое развитие: методология диагностики и прогнозирования / А.И. Татаркин, О.А. Романова, А.В. Гребенкин, В.В. Акбердина. – М.: Наука, 2011. – 398 с.
18. Орлов С.Н. Экономика и банковская система региона. – М.: Экономика, 2004. – 302 с.
19. Бочко В.С., Наумов И.В. Кластерный подход к оценке развития инновационной активности муниципальных образований / Ин-т экономики УрО РАН. – Екатеринбург, 2007. – 60 с.

References

1. Shakkum M.L. Natsional'naia promyshlennaia politika v svete prisoadineniia Rossii k VTO [National industrial policy in the light of Russia's accession into WTO]. *Promyshlennaia politika v Rossiiskoi Federatsii*, 2007, no. 1, pp. 3–11.

2. Balina T.A., Ponomareva Z.V., Stolbov V.A., Tolchin S.V. Innovatsionno-orientirovannaia regional'naia politika kak bazis kapitalizatsii i sotsial'no-ekonomicheskii imperativ razvitiia territorii [Innovation-oriented regional policy as the basis of capitalization and socio-economic imperative of the development of the area]. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2017, no. 3, pp. 192–202.

3. Dadaev L.M. Teoreticheskie aspekty analiza klasternoï organizatsii regional'noi ekonomiki [Theoretical aspects of the analysis of the cluster organization of regional economy]. *Regional'naia ekonomika: teoriia i praktika*, 2008, no. 24 (81), pp. 50–56.

4. Lavrikova Iu. G. Kontseptual'nye osnovy i praktika realizatsii klasternogo podkhoda v regionakh Rossii [Conceptual framework and practice of implementing the cluster approach in the Russian regions]. *Regional'naia ekonomika: teoriia i praktika*, 2008, no. 22 (79), pp. 21–31.

5. Raevskii S.V., Vinokurova Iu.V. Klasternaia kontseptsii organizatsii struktury ekonomiki regionov [The cluster concept of organizing regional economic structure]. *Regional'naia ekonomika: teoriia i praktika*, 2007, no. 5, pp. 27–30.

6. Romanova O.A., Lavrikova Iu.G. Klasternoe razvitie ekonomiki regiona: teoreticheskie vozmozhnosti i prakticheskii opyt [Cluster development of economy of region: Theoretical opportunities and practical experience]. *Ekonomika regiona*, 2007, Supplementary ed. to no. 4, pp. 40–50.

7. Tatarkin A.I., Romanova O.A., Chechenova R.I., Filatova M.G. Regional'naia promyshlennaia politika: teoreticheskie osnovy, praktika formirovaniia i mekhanizmy realizatsii [Regional industrial policy: Theoretical basis, development practice of implementation mechanisms]. Yekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2000, 82 p.

8. Romanova O.A. Teoriia i praktika razvitiia chastno-gosudarstvennogo partnerstva [The theory and practice of private-state partnership development]. *Vestnik UGTU*, 2007, no. 3, pp. 39–50.

9. Doklad o razvitiï chelovecheskogo potentsiala v Rossiiskoi Federatsii za 2011 g. [2011 National human development report for the Russian Federation]. Eds. A.A. Auzan, S.N. Bobylev. Moscow, 2011, 146 p.

10. Region v novoi paradigme prostranstvennoi organizatsii Rossii [Region in a new paradigm of spatial organization of Russia]. Ed. A.I. Tatarkin. Moscow, Ekonomika, 2007. 751 p.

11. Sidorova E.N., Tatarkin D.A. Upravlenie finansovymi potokami samorazvivaiushchikhsia territorii: vosproizvodstvennyi podkhod [Managing the financial flows of self-developing areas: A reproduction approach]. Yekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2010, 122 p.

12. Chernova S.A., Alieva M.Iu. Printsipy i faktory konkurentosposobnosti regional'nykh kommercheskikh bankov [Principles and factors of competitiveness of regional commercial banks]. *Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet*, 2014, no. 3, pp. 45–54.

13. Andreeva E.L., Linetskiy A.F., Ratner A.V., Kuznetsova D.E. Otsenka i prognoz sotsial'no-ekonomicheskikh posledstviy tekhnologicheskogo razvitiia Uralskogo kraia [Estimation and forecast of socio-economic consequences of technological development of the Ural area]. Yekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2004, 267 p.

14. Sukhovei A.S., Golova I.M. Teoretiko-metodologicheskie aspekty upravleniia innovatsionnym klimatov v regione [Theoretical and methodological aspects of regional innovative climate]. Yekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2009, 51 p.

15. Popov E.V., Baskakova I.V., Simakhina M.O. Korporativnoe znanie kak faktor innovatsionnogo razvitiia firmy [Corporate knowledge as a factor of company innovative development]. Yekaterinburg, Institut ekonomiki UrO RAN, 2008, 90 p.

16. Serkov L.A. Sinergeticheskie aspekty modelirovaniia sotsial'no-ekonomicheskikh protsessov [Synergistic aspects of socio-economic processes modeling]. Yekaterinburg, AMB, 2008, 216 p.

17. Tatarin A.I., Romanova O.A., Grebenkin A.V., Akberdina V.V. Ekonomiko-tekhnologicheskoe razvitie: metodologiya diagnostiki i prognozirovaniia [Economic-technological development: Methodology of diagnostics and forecasting]. Moscow, Nauka, 2011, 398 p.

18. Orlov S.N. Ekonomika i bankovskaia sistema regiona [Economy and regional banking system]. Moscow, Ekonomika, 2004, 302 p.

19. Bochko V.S., Naumov I.V. Klasternyi podkhod k otsenke razvitiia innovatsionnoi aktivnosti munitsipal'nykh obrazovaniy [Cluster approach to assessing the development of municipalities' innovative activity]. Yekaterinburg, 2007, 60 p.

Оригинальность 83 %

Получено 02.11.2017 Принято 04.12.2017 Опубликовано 30.03.2018

E.E. Zhulanov, U.V. Aftakhova

ECONOMIC-MATHEMATIC MODELLING OF REGIONAL INDUSTRIAL CLUSTER

The paper shows the relevance of regional industrial clusters modeling as a tool for coordinating industrial politics and measuring social-economic performance of realistic priority projects on the development of industrial production considering the regional differentiation of natural climatic and social-economic management conditions.

The aim of this study was to formulate the methods for modelling regional industrial cluster within the socially oriented concept of industrial development, that would take into account both existing approaches to management as envisioned by industrial development theories, as well as social management approaches.

Based on the authors' framework of the dynamic economic-mathematic model the project, integration-entrepreneurial, institutional, socio-strategic, socio-responsible and socio-cost approaches to management of the regional industrial cluster are systematized and harmonized. The mechanisms are developed, which unlike existing models, take into account the principle of industrial system self-development in a complex and non-linear way based on modeling the behavior of independent rational economic entities that minimize production costs, limited interchange of production resources, impact of introducing technological innovations and educational services of the region on the production capacities of regional enterprises and productivity labor. The authors' iterative mechanism to identify balanced parameters of economic entities production activities in regional industrial clusters is proposed. The offered economic-mathematic model is intended for analyzing and forecasting social economics performance results of regional industrial clusters including manufacturer's profits, population employment and income level, budget tax revenues, goods and services sales volumes and sales on the markets. This allows estimating the consequences of making managerial decisions regionally by implementing priority projects for regional industry development, taking into account possible synergetic or multiplicative effects.

Keywords: industrial region, industrial cluster, economic-mathematic model, socially-oriented development.

Evgeny E. Zhulanov – Doctor of Economic Sciences, Dept. of Economics and Industrial Management, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: zeepstu@yandex.ru.

Uliana V. Aftakhova – Senior Lecturer, Dept. of Economics and Industrial Management, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: ulianaaft@yandex.ru.

Received 02.11.2017

Accepted 04.12.2017

Published 30.03.2018