

## Математическое моделирование деятельности экономического кластера и взаимодействия с вузами

Али Найф Халил АльХжуж, П. А. Иващенко

*Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Украина*

In the article the regional aspect of activity of economic clusters is considered and the attempt of construction of economic-mathematical model of a cluster of a regional level is done(made). The problem of interaction of firms of a cluster with high schools is researched with the purpose of support by frames. As the concrete object of research the project of the Poltava economic cluster is taken.

### **1. Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными или практическими задачами**

Кластерная теория экономического развития насчитывает более чем двадцатипятилетнюю историю. Основателем этой теории считается М. Портер [1]. Глубокий и всесторонний анализ производственных систем глобализации приведен в капитальной монографии С.И. Соколенко [3]. Территориально-производственный уровень финансовой интеграции на примере конкретного региона отражен в монографии [9]. Элементы кластерной теории экономического развития освещены в статье [15]. Во всех упомянутых публикациях описание кластеров выполнено на качественном уровне. Имеется значительный опыт экономико-математического моделирования финансово-промышленных структур (см. [4, 5, 8]). Они по своей организационной природе являются наиболее близкими к экономическим кластерам. Однако проблема экономико-математического моделирования деятельности экономического кластера, исследования свойств моделей раскрыта недостаточно.

Задача состоит в построении экономико-математической модели экономического кластера.

В [2, с. 64] предлагается следующая трактовка термина «кластер». Это – «территориально-отраслевая форма ассоциации субъектов хозяйствования, включающая в свой состав расположенные в регионе, обладающие отраслевой технологической общностью предприятия и организации (поставщики, основные производители, покупатели), а также обслуживающие их объекты финансовой системы, производственной, научно-технической, рыночной, информационной, социальной инфраструктуры региона». Из определения следует, что в кластер входят однородные по отраслевому признаку субъекты хозяйствования и разнородные с точки зрения инфраструктуры.

*Моделирование процессов взаимодействия в экономическом кластере (макроуровень)*

Экономический кластер как объект моделирования представляет собой систему, сложность которой определяется количеством входящих в нее элементов (предприятий, организаций, субъектов социально-экономического, научно-технического назначения и др.), связями между ними, а также взаимоотношениями с внешней средой. Ассоциативная интеграция элементов в кластер предполагает наличие общих целей и интересов. При этом элементы кластера имеют собственные цели и стремятся их достигнуть.

По образному выражению С.И. Соколенко кластеры – это детище зависимости «глобализация-локализация» [3, с. 61].

Состав элементов кластера, способы их ассоциативного объединения и отношения между ними определяют структуру кластера как экономической системы. Процесс функционирования кластера может быть представлен протекающими в нем материально-вещественными, финансовыми и информационными потоками.

Подход к моделированию процессов взаимодействия элементов в экономическом кластере, предлагаемый в настоящей статье, состоит в следующем. Вместо детального описания моделей каждого элемента кластера предлагается разработка укрупненной экономико-математической модели экономического кластера. Авторы дают себе отчет, что такое представление весьма условно. Например, объекты региональной инфраструктуры могут быть одновременно и потребителями продукции кластера. Предлагаемый макроподход имеет своей целью выявление и моделирование основных закономерностей функционирования экономического кластера, который должен доказать его жизнеспособность. Представляется, что анализируемый экономический кластер обладает корпоративными свойствами. Примером может служить то, что его элементы потребляют электроэнергию, производимую внутри кластера, естественно по ценам ниже рыночных. Возможны и другие примеры корпоративного взаимодействия.

Попытаемся реализовать один из основных методологических принципов системного анализа, состоящий в возможно более адекватном определении и описании входных действий на систему (экономический кластер), ее выходных характеристик, состояний процесса функционирования, а также определении механизма функционирования элементов системы.

Экономический кластер предлагается рассматривать как некоторую управляемую динамическую систему, состояние которой  $x(t)$  в момент времени  $t$  может быть изменено под воздействием управляющих параметров  $u(t)$ , которые называют управлениями [10, с. 45].

В силу представления кластера небольшим составом элементов размерность вектора  $x(t)$  также будет небольшой. То же самое можно сказать и о векторе  $u(t)$ .

Изменение состояния системы, которую представляет экономический кластер, в общем случае можно описать системой дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u(t), t), \quad (1)$$

где управления  $u(t)$  выбираются из условия достижения некоторых целей. Одна из возможных допустимых постановок задач оптимизации деятельности экономического кластера как управляемой динамической системы может быть сформулирована следующим образом. Требуется за отрезок времени  $\Delta t_{\text{HK}} = t_{\text{K}} - t_{\text{H}}$  переместить систему из начального состояния  $x(t_{\text{H}}) = x_{\text{H}}$  в конечное  $x(t_{\text{K}}) = x_{\text{K}}$ . При этом должен достигаться максимум критерия эффективности системы

$$J = \int_{t_{\text{H}}}^{t_{\text{K}}} \Phi(x, u, t) dt \rightarrow \max_{u(t) \in U}. \quad (2)$$

В приведенных соотношениях обозначения имеют следующий смысл:

$t_{\text{H}}$  – время начала процесса;  $t_{\text{K}}$  – время его окончания;  $\Phi(x, u, t)$  – функционал, характеризующий мгновенную эффективность системы; управление  $u(t)$  – отражает формализацию способа достижения цели, которая должна находиться в пределах плановых установок;  $U$  – множество допустимых управлений;  $x(t)$  – фазовая координата, принадлежащая множеству допустимых состояний системы  $X$ .

Информация о внутренней структуре экономического кластера, взаимосвязях между его элементами, взаимодействиях, отражена в вектор-функции  $f(x, u, t)$  и функционале  $\Phi(x, u, t)$ .

Необходимо отметить, что приведенная выше постановка задачи оптимизации функционирования экономического кластера носит абстрактный характер. Чтобы обеспечить максимальную адекватность и содержательность описания моделей функционирования экономического кластера необходимо, используя имеющийся опыт экономико-математического моделирования (см. [4, 6, 8, 11]), детализировать модель (1)-(2), дополнив ее описанием механизмов взаимодействия участников кластера.

Представляется очевидным, что функционирование экономического кластера характеризуется действиями его участников. Это означает, что описанный моделью (1)-(2) динамический процесс изменения состояния всей системы зависит от поведения его участников, в распоряжении которых находятся собственные управляющие воздействия  $u_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . С учетом сделанного замечания система (1) может быть представлена в виде:

$$\frac{dx}{dt} = f(x(t), u_1(t), \dots, u_n(t), t). \quad (3)$$

При этом управление  $u_i(t)$  каждый участник выбирает, руководствуясь своим критерием  $J_i$ , отражающим собственные интересы. Таким образом, приходим к еще одной проблеме – отыскания разумных условий компромисса между участниками при наличии общих интересов.

Одна из целей ассоциированного объединения субъектов хозяйствования в кластер состоит в консолидации финансовых капиталов, ориентированной на

реализацию совместных проектов. Более частными по сравнению с экономическими кластерами структурами являются промышленно-финансовые группы, корпорации (в России они называются финансово-промышленными). Для них характерны ситуации объединения вокруг банка-инвестора, который в состоянии финансировать совместные проекты. Экономический кластер может иметь другие формы взаимодействия членов (партнерство, ассоциация, вертикальная интеграция, холдинг и др.). Поскольку объектом нашего исследования является проект нефтегазового кластера, имеющего единую технологическую цепочку, нас будут интересовать механизмы вертикальной интеграции, которым посвящено достаточное количество публикаций (см. ссылки в [4, 7]). Привлекательность вертикальной интеграции участников кластера заключается в том, что в этом случае для них возможно сокращение прямых производственных издержек, снижение цен на товары, уменьшение кредитных ставок (проявляется синергетический эффект).

Разнообразие состава участников кластера может создать ситуацию, характеризующуюся наличием противоречивых интересов. Например, поставщики для увеличения своей прибыли заинтересованы в снижении издержек при добыче сырья (нефти и газа и др.), повышении цен на поставляемое сырье. Производители, естественно, наоборот, заинтересованы в снижении этих цен и увеличении за счет этого своей прибыли. Если банк владеет акциями и поставщиков, и производителей, то ему приходится «разрываться» между противоположными интересами поставщиков и производителей.

Одна из задач, таким образом, заключается в определении условий, при которых участники (даже имея противоположные интересы) ассоциируются в кластер. При этом необходимо отыскать значения параметров системы (кластера), которые устраивают всех участников. Очевидно, что такой поиск следует начинать, рассматривая сначала смежные пары участников, затем тройки и т.д. В.Е. Дементьевым доказана для статического варианта возможность наличия равновесия для троек участников (поставщик, производитель, банк) [13].

Наша задача – разработать инструментарий, позволяющий оценивать эффективность функционирования пар, троек и т.д. участников кластера на некотором интервале времени (например, несколько лет).

Если в качестве критерия эффективности экономического кластера рассматривается суммарная дисконтная прибыль участников (за исключением неприбыльных организаций) к моменту времени  $t_k$ , то суть решения задачи состоит в выборе таких значений параметров, характеризующих взаимодействие участников кластера, которые обеспечивают максимальные значения прибыли для каждого участника, являющегося прибыльной организацией и соответствующие значения для остальных участников. Если этот показатель для каждого из участников выше соответствующего значения показателя при их независимой друг от друга деятельности, то такую группу (пару, тройку) будем называть устойчивой на планируемом интервале  $[t_n, t_k]$ .

Основная цель моделирования процесса взаимодействия участников экономического кластера состоит в определении его экономической

эффективности, а также условий, необходимых для ее повышения. Предполагаем, что кластер функционирует в условиях стабильной рыночной экономики.

В понятие «экономическая эффективность» мы будем вкладывать смысл, отвечающий характеру экономики, в которой функционирует моделируемый объект, целям исследования и назначению исследуемой системы. Экономический кластер можно отнести к классу мезоэкономических объектов. Применительно к таким объектам: «Понятие экономической эффективности опирается на учет платежеспособного спроса, предъявляемого тем или иным рынком в соответствии с полезностью результата деятельности (продукции) данной системы, и связанные с этим спросом равновесные (рыночные) цены» [14, с. 114]

В качестве основного показателя эффективности будем рассматривать прибыль, которая рассчитывается с использованием равновесных рыночных цен. Показатель экономической эффективности зависит от объема используемых ресурсов (материальных и нематериальных), цен на них, на продукцию. Она должна опираться на представление способа функционирования кластера в виде цепочки: затраты → результаты → цели. Жизненность такого подхода обеспечивается возможностями измерения или оценивания размеров затрат и результатов, определения степени достижения цели.

Ниже предлагается экономико-математическое описание укрупненной модели экономического кластера. Чтобы сконструировать модель экономического кластера (ЭК), необходимо сформулировать и учесть систему предпосылок, определяющих содержание и принципы построения модели, описать параметры модели, разделив их на постоянные и переменные. Предпосылки должны опираться на основные характеристики деятельности участников ЭК и взаимодействия между ними.

Производители А осуществляют добычу нефтегазопродуктов (продукция). При этом они обладают производственными мощностями, приобретают необходимые ресурсы. Производственные возможности А определяются особенностями технологии добычи и транспортировки. Это означает наличие зависимости между затратами ресурсов и выпуском продукции, которую необходимо сконструировать.

Чтобы отразить характерные особенности деятельности предприятий и отраслей, которые напрямую связаны с добычей природных ресурсов, можно воспользоваться типовой неоднородной нелинейной функцией убывающей эффективности затрат вида

$$V(y) = \varphi \times y^\eta + P. \quad (4)$$

При этом выполнено условие

$$\frac{d^2V(y)}{dy^2} > 0.$$

В функции (4): первое слагаемое играет роль переменных издержек, второе – постоянных. В целом она характеризует общие издержки при производстве продукции.

Далее временно, пока не будет оговорено обратное, предполагаем, что параметры  $\varphi, P, \eta$  постоянны, а  $\eta > 0$ .

Обычно к переменным затратам относят затраты на сырье, материалы, топливо, энергию, транспортные расходы, заработную плату. В постоянные расходы включают расходы на содержание производственных помещений, машин, оборудования, рентные платежи, страховые взносы и другие статьи (например, издержки, не зависящие от объемов производства). Относительно математических свойств функции (4) предполагаем, что  $V(y)$  достаточно гладкая функция, обладающая не менее чем двумя первыми производными. Такие требования характерны для условий добычи, когда для увеличения объемов переходят к эксплуатации более сложных месторождений, например, с увеличением глубины залегания полезного ископаемого, или обеднения содержания добываемых компонентов.

Для дальнейшего анализа потребуется переход к функциям удельных и предельных затрат. Их можно ввести следующим образом. Удельные затраты – это затраты, отнесенные к единице продукции, выраженные в денежных единицах. Их можно определить так:

$$c(y) = \frac{V(y)}{y} = \varphi \times y^{\eta-1} + \frac{P}{y}.$$

Введем упрощающее обозначение  $\beta = \eta - 1$ .

Шагом, связывающим финансовые ресурсы с производственными, будет рассмотрение ситуации, когда снижение затрат на производство продукции обеспечивается размером вкладываемого финансового ресурса  $x$ . Тогда (4) приобретает следующий вид:

$$v(x, y) = \varphi(x)y^{\eta} + P, \quad (5)$$

где вновь  $\frac{\partial^2 v(x, y)}{\partial y^2} > 0$ . К функции  $\varphi(x)$  предъявим следующие требования:

- а) она является непрерывной, убывающей и ограниченной снизу функцией;
- б)  $\varphi(0) = \varphi_0$ ,  $\lim_{x \rightarrow \infty} \varphi(x) = \varphi_{\infty}$ ;
- в)  $\varphi(x)$  дважды дифференцируема и при этом

$$\frac{d\varphi(x)}{dx} < 0, \quad \frac{d^2\varphi(x)}{dx^2} > 0.$$

Удельные затраты окажутся равными:

$$c(x, y) = \varphi(x)y^{\beta} + \frac{P}{y}, \quad 0 < \beta < 1. \quad (6)$$

Во введенных обозначениях и ограничениях на форму функции  $v(x, y)$  предельные затраты на производство продукции в размере  $y$  будут равными

$$d(x, y) = \frac{\partial v(x, y)}{\partial y} = (1 + \beta)\varphi(x)y^{\beta}. \quad (7)$$

Очевидно, что  $d(x, y) \geq 0$ . В рамках нашего подхода параметры  $\beta$  и  $P$  выступают внешними (заданными извне).

Чтобы полнее отразить характер зависимостей (5)-(7), рассмотрим пример. Прежде всего конкретизируем вид функции  $\varphi(x)$ . Покажем, что трехпараметрическая функция вида  $\varphi(x)=A(x+x_0)^{-B}+C$ , где  $A, B, C > 0$ , удовлетворяет всем предъявленным к ней требованиям. Вначале воспользуемся граничными условиями (требование б)). Имеем

$$\varphi(0)=\varphi_0=Ax_0^{-B}+C$$

и

$$\varphi(\infty)=\varphi_\infty=C.$$

Откуда  $A=(\varphi_0-\varphi_\infty)x_0^B$ . Таким образом, получаем

$$\varphi(x)=(\varphi_0-\varphi_\infty)x_0^B(x+x_0)^{-B}+\varphi_\infty=(\varphi_0-\varphi_\infty)\left(\frac{x_0}{x+x_0}\right)^B+\varphi_\infty \quad (8)$$

Далее

$$\varphi'_x=-B(\varphi_0-\varphi_\infty)x_0^B(x+x_0)^{-B-1}<0,$$

$$\varphi''_{xx}=B(B+1)(\varphi_0-\varphi_\infty)x_0^B(x+x_0)^{-B-2}>0.$$

Ниже нам понадобится обратная к  $\varphi(x)$  функция. Найдем ее. Положим  $z=\varphi(x)$ . Тогда после выполнения цепочки преобразований вида

$$\begin{aligned} z &= (\varphi_0 - \varphi_\infty) \left( \frac{x_0}{x + x_0} \right)^B + \varphi_\infty \Rightarrow \\ \frac{z - \varphi_\infty}{\varphi_0 - \varphi_\infty} &= \left( \frac{x_0}{x + x_0} \right)^B \Rightarrow \\ \left( \frac{z - \varphi_\infty}{\varphi_0 - \varphi_\infty} \right)^{\frac{1}{B}} &= \frac{x_0}{x + x_0} \Rightarrow \\ x + x_0 &= \frac{x_0}{\left( \frac{z - \varphi_\infty}{\varphi_0 - \varphi_\infty} \right)^{\frac{1}{B}}} \end{aligned}$$

получаем окончательный вид выражения  $x = \varphi^{-1}(z)$

$$x = \left[ \left( \frac{z - \varphi_\infty}{\varphi_0 - \varphi_\infty} \right)^{\frac{1}{B}} - 1 \right] x_0. \quad (9)$$

Дробь в круглых скобках и выражение в квадратных в (9) должны быть положительными. Это означает выполнение двойного неравенства

$$\varphi_\infty < z < \varphi_0,$$

что очевидным образом следует из способа задания функции  $\varphi(x)$ .

В [4, с. 52] утверждается, что увеличение финансового ресурса  $x$ , который вкладывается в снижение затрат, оправдано лишь до некоторого предела  $x_\Gamma$ . Выше него вложения оказываются неэффективными. Относительно снижения удельных затрат на единицу вложенного капитала  $x$  при фиксированном объеме продукции  $y$  необходимо отметить следующее. Должна существовать норма  $x_\Gamma$ , для которой абсолютная величина предельного по  $x$  значения удельных затрат будет не меньшей некоторой величины  $\Delta c_{\min}$ . Ю.В. Косачев предлагает норму  $x_\Gamma$  определять исходя из условия  $\left| \frac{\partial c(x,y)}{\partial x} \right| = \Delta c_{\min}$  [4, с. 52]. В принципе с таким предложением можно согласиться. Однако в аналитических и численных расчетах с функцией модуля работать неудобно. Поэтому мы предлагаем следующий подход, позволяющий в ряде случаев получать оценку нормы  $x_\Gamma$  в явной форме.

Из (6) получаем

$$\frac{\partial c(x,y)}{\partial x} = \varphi'(x)y^\beta. \quad (10)$$

Но с учетом условия в) и трехпараметрической конкретизации функции  $\varphi(x)$  получаем, что уравнение  $\left| \frac{\partial c(x,y)}{\partial x} \right| = \Delta c_{\min}$  эквивалентно следующему уравнению  $\varphi'(x) = -\frac{\Delta c_{\min}}{y^\beta}$ , которое можно разрешить относительно  $x$  в явном

виде путем интегрирования. Выполним эту процедуру

$$\begin{aligned} \int_0^{x_\Gamma} \varphi'(x) dx &= -\frac{\Delta c_{\min}}{y^\beta} \int_0^{x_\Gamma} dx \Rightarrow \\ \varphi(x_\Gamma) - \varphi(0) &= -\frac{\Delta c_{\min}}{y^\beta} x_\Gamma \Rightarrow \\ \varphi(x_\Gamma) &= \varphi_0 - \frac{\Delta c_{\min}}{y^\beta} x_\Gamma. \end{aligned}$$

Так как

$$\varphi(x_\Gamma) = (\varphi_0 - \varphi_\infty) \left( \frac{x_0}{x_\Gamma + x_0} \right)^B + \varphi_\infty,$$

то

$$(\varphi_0 - \varphi_\infty) \left( \frac{x_0}{x_\Gamma + x_0} \right)^B + \varphi_\infty = \varphi_0 - \frac{\Delta c_{\min}}{y^\beta} x_\Gamma \quad (11)$$

или с учетом (9)



$$x_{\Gamma} = \left[ \left( \frac{\varphi_0 - \varphi_{\infty} - \frac{\Delta c_{\min}}{y^{\beta}} x_{\Gamma}}{\varphi_0 - \varphi_{\infty}} \right)^{-\frac{1}{B}} - 1 \right] x_0. \tag{12}$$

И (11) и (12) являются нелинейными уравнениями относительно  $x_{\Gamma}$ . Решая одно из них, получаем искомое значение  $x_{\Gamma}$ .

Рассмотрим условный численный пример. Положим  $\varphi_0=10$ ,  $\varphi_{\infty}=5$ ,  $B=1,5$ ,  $\Delta c_{\min}=1000$ ,  $y=100000$ ,  $\beta=1,5$ ,  $x_0=1000000$ . Тогда решением уравнения (12) будет  $x_{\Gamma}=131852,6$ . При этом

$$\varphi(x_{\Gamma}) = (\varphi_0 - \varphi_{\infty}) \left( \frac{x_0}{x_{\Gamma} + x_0} \right)^B + \varphi_{\infty} = 9,2.$$

Поведение левой и правой частей уравнения (12) показано на рис. 1.

Если обозначить через  $p_0$  рыночную цену на продукцию  $y$ , которую выпускают производители  $A$ , то ее объем в стоимостном исчислении будет равным  $p_0 y$ . При этом доход производителей  $A$  от реализации продукции на рынке – это разность между выручкой  $p_0 y$  и общими затратами  $c(x,y)y$ :

$$\pi_A(x,y) = (p_0 - c(x,y))y. \tag{13}$$

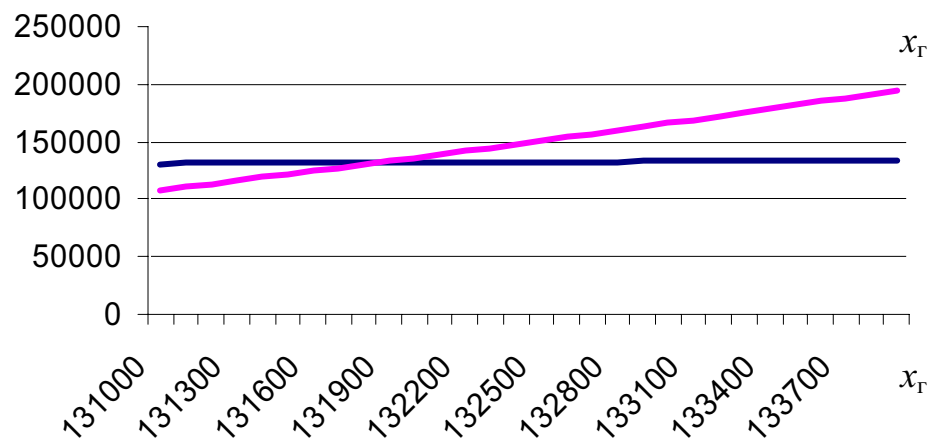


Рис. 1. Поведение левой и правой частей уравнения (12).

Максимум прибыли получается из уравнения

$$(\pi_A(x,y))'_y = [(p_0 - c(x,y))y]'_y = 0. \tag{14}$$

С учетом (5) уравнение (14) примет вид

$$[(p_0 - \varphi(x)y^\beta - \frac{P}{y})y]'_y = p_0 - (\beta + 1)\varphi(x)y^\beta = 0.$$

$$\text{Откуда } y = \left[ \frac{p_0}{(1 + \beta)\varphi(x)} \right]^{\frac{1}{\beta}}.$$

Используя данные примера, получаем, что максимальная прибыль  $\pi_A(x_T, y_{opt}) = 7852557$  д.ед. для  $y_{opt} = 3786$  ед.

Завершая описание производственной деятельности производителей А, необходимо отметить, что основным источником увеличения доходов производителей А является снижение затрат на производимую продукцию. На обеспечение снижения затрат требуются инвестиции, которые производители А могут получать в виде банковского кредита  $K(t)$  под банковскую процентную ставку  $\tau(t)$  или используя собственные средства  $S(t)$  (например, в виде отчислений от прибыли). Кроме того считаем, что рыночная стоимость производителей А в момент времени  $t$  равна  $Q_A(t)$ , а банк Б имеет в своем портфеле некоторую долю собственности предприятий-производителей А, которую обозначим как  $\alpha_A$ . Отсюда стоимость этой доли в момент времени  $t$  равна  $\alpha_A Q_A(t)$ .

Перейдем к математическому описанию взаимодействия предприятий кластера с кадровой составляющей инфраструктуры кластера. Представляется разумным описывать взаимодействие вузов, техникумов и профессионально-технических училищ с предприятиями кластера в логистических терминах запасов и потоков. Примем, что в текущий момент времени  $t$  кадровая составляющая предприятий кластера представлена набором  $\{N_i(t), i = 1, \dots, I\}$  (запасы), где  $N_i(t)$  – количество работников  $i$ -й профессии в момент времени  $t$  ( $I$  – число профессий). Объемы запасов могут меняться непрерывно. Однако в нашем случае резонно считать, что наибольшее число изменений происходит в период окончания обучения в соответствующем учебном заведении. Тогда удобно измерять величину  $t$  в академических годах.

Изменение объемов запасов происходит в силу действия внешних и внутренних факторов. Считая совокупность предприятий кластера системой, можно выделить два противоположных потока: поток увольняющихся (покидающих систему) и поток прибывающих (найм работников извне системы). Кроме того, возможны перемещения внутри системы (смена профессии, перемещение по карьерной лестнице и т.п.). Тогда объем запаса работников  $i$ -й профессии к моменту времени  $t+1$  определяем как объем запаса  $i$ -й профессии к моменту времени  $t$  плюс вновь прибывшие (их количество обозначаем как  $N_{0i}(t)$ ) плюс сменившие профессию  $j$  на профессию  $i$  (обозначаем как  $\sum N_{ij}(t)$  по всем  $j \neq i$  индекс суммирования опускаем) минус покидающие (обозначаем как  $\sum N_{i,j+1}(t)$ ). Имеем, таким образом, балансовое соотношение:

$$N_i(t+1) = N_i(t) + N_{0i}(t) + \Sigma N_{i,j}(t) - \Sigma N_{i,l+1}(t). \quad (14)$$

Три последних слагаемых в правой части соотношения (14) называем *потоками*. Потоки вызывают изменения в запасах, поэтому необходимо ввести допущения относительно механизмов перемещений.

В условиях рыночной экономики предприятия кластера формируют спрос на рабочую силу (обозначаем как  $C_i(t)$ ), образовательная инфраструктура – предложение (обозначаем как  $\Pi_i(t)$ ). Таким образом, объем запасов на момент времени  $t+1$  зависит от значений спроса и предложения в текущий момент времени  $t$ :

$$N_i(t+1) = G(N_i(t), N_{0i}(t), \Sigma N_{i,j}(t), \Sigma N_{i,l+1}(t), C_i(t), \Pi_i(t)). \quad (15)$$

В нашей ситуации спрос и предложение могут выступать управляющими воздействиями, которые (например, через центры занятости) и определяют механизм взаимодействия предприятий кластера с образовательной инфраструктурой.

**Результатами** проведенного исследования являются:

1. Построение экономико-математической модели поставщиков экономического кластера;
2. Исследование ее характерных особенностей;
3. Формирование механизма взаимодействия предприятий кластера с образовательной инфраструктурой.

**Перспективными** для дальнейших исследований считаем исследование конкретных механизмов взаимодействия предприятий кластера с образовательной инфраструктурой применительно к проекту Полтавского нефтегазового кластера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Портер М. Конкуренция.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. – 608 с.
2. Артемов В.И. Перспективы кластерных производственно-экономических комплексов топливно-энергетического профиля // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – 2004. – № 634. – С. 63-67.
3. Соколенко С.И. Производственные системы глобализации: Сети. Альянсы. Партнерства. Кластеры: Укр. Контекст. – К.: Логос, 2002. – 645 с.
4. Косачев Ю.В. Экономико-математические модели эффективности финансово-промышленных структур. – М.: Логос, 2004. – 248 с.
5. Чухланцев Д.О. Моделирование организации расчетов между предприятиями в условиях кризиса платежей // Финансовая математика. – М.: ТЕИС, 2001. – С. 333-337.

6. Новоселов М.В., Попов Е.В. Моделирование инновационной деятельности корпоративной структуры. Препринт. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2003. – 42 с.
7. Чухланцев Д.О. Моделирование финансовых потоков в вертикально интегрированной компании и рационализация ее взаиморасчетов с контрагентами. – М.: Диссертация, 2002. – 182 с.
8. Плещинский А.С. Эффективные схемы межфирменных взаимодействий: механизм равновесных трансфертных цен. / Препринт # WP / 2000 / 099. – М.: ЦЭМИ РАН, 2000. – 90 с.
9. Артемов В.И., Галуза С.Г., Горопов В.Д., Чернобровка И.В. Территориальная производственно-финансовая интеграция. – Х.: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2000. – 134 с.
10. Лагоша Б.А. Оптимальное управление в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 194 с.
11. Краснощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 264 с.
12. Кучин Б.Л., Якушева Е.В. Управление развитием экономических систем: технический прогресс, устойчивость. – М.: Экономика, 1990. – 157 с.
13. Дементьев В.Е. Интеграция предприятий и экономическое развитие (препринт). – М.: ЦЭМИ РАН, 1998 – 80 с.
14. Мезоэкономика переходного периода: рынки, отрасли, предприятия. – М.: Наука, 2001. – 570 с.
15. Цихан Т.В. Кластерная теория экономического развития // «Теория и практика управления», №5, 2003 г.