

DOI: 10.18721/JE.10418
УДК 330.322

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИКА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО КЛАСТЕРА

Ю.К. Машунин, К.Ю. Машунин

Дальневосточный Федеральный Университет, г. Владивосток Российская Федерация

Актуальность работы обусловлена созданием качественной системы моделирования и практики инновационного развития промышленного кластера. Цели исследования – моделирование инновационного развития и анализ организации управления промышленным кластером (как совокупности предприятий); построение математической модели, во-первых, определяющей стратегическое функционирование кластера в рамках инновационного развития, во-вторых, направленной на повышение конкурентоспособности собственной продукции на мировом рынке; решение практических (численных) задач, возникающих при стратегическом планировании и прогнозировании развития кластера. Математическая модель представлена векторной задачей линейного программирования (ВЗЛП). Критерии такой задачи учитывают целенаправленность каждого предприятия, входящего в кластер. Ограничениями являются трудовые и материальные ресурсы, производственные мощности предприятия. Для решения ВЗЛП использованы методы, основанные на нормализации критериев и принципе гарантированного результата. Стратегический план, сформированный на базе численной задачи векторной оптимизации, ориентирован на инновационное развитие промышленного кластера на базе экстенсивных и интенсивных факторов развития производства. Для использования моделей векторной оптимизации в практике разработано программное обеспечение. В практической задаче представлена взаимосвязь головного и вспомогательных двух предприятий кластера для реализации общей цели – выпуска конкурентоспособного продукта. В задаче векторной оптимизации использованы ограничения на ресурсы: материальные, трудовые и производственные мощности. ВЗЛП решается в динамике на установленное количество лет. В результате решения представлены: номенклатура и объемы продукции, выпускаемые кластером в течение пяти лет, в том числе первым, вторым и головным предприятием; экономические показатели – объемы продаж по каждому предприятию, объемы прибыли и добавленной стоимости кластера.

Ключевые слова: промышленный кластер; моделирование; прогнозирование; векторная оптимизация; программное обеспечение

Ссылка при цитировании: Машунин Ю.К., Машунин К.Ю. Моделирование и практика инновационного развития промышленного кластера // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2017. Т. 10, № 4. С. 187–197. DOI: 10.18721/JE.10418

ANALYSIS OF THE ORGANIZATION OF CONTROL, OPTIMIZATION AND PRACTICE OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL CLUSTER

Yu.K. Mashunin, K.Yu. Mashunin

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

Relevance of operation is caused by creation of qualitative system of simulation and practice of innovative development of an industrial cluster. The purpose of operation is the analysis of the organization of control of an industrial cluster (set of the enterprises). Creation of the mathematical model, first, defining strategic functioning of a cluster in the framework

of innovative development, secondly, aimed at improving the competitiveness of its products on the world market. The decision of the practical (numerical) problems arising in case of strategic planning and forecasting of development of a cluster. The mathematical model is provided by the vector problem of the linear programming (VPLP). Criteria of such task consider focus of each enterprise entering a cluster. Restrictions are work and material forces, production capacities of the enterprise. For the solution of VPLP the methods based on normalization of criteria and the principle of the guaranteed result are used. The strategic plan formed on the basis of the numerical problem of the vector optimization oriented on innovative development of an industrial cluster on the basis of extensive and intensive factors of development of production. The software is in practice developed for use of models of vector optimization. In the practical task correlation head and two auxiliary enterprises of a cluster for implementation of a common goal – release of competitively capable product is provided. In the task of vector optimization restrictions for resources are used: the material, labor and production capacities. VPLP is solved in the speaker on assigned amount of years. As a result of the decision are provided: the nomenclature and volumes of production released by a cluster within five years, including, the first, second and head enterprise; economic indices – sales volumes on each enterprise, volumes of profit and value added of a cluster.

Keywords: industrial cluster; simulation; forecasting; vector optimization; software

Citation: Yu.K. Mashunin, K.Yu. Mashunin, Analysis of the organization of control, optimization and practice of innovative development of the industrial cluster, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 10 (4) (2017) 187–197. DOI: 10.18721/JE.10418

Введение. Промышленный кластер рассматривается как совокупность субъектов (предприятий, фирм), находящихся в территориальной близости и в функциональной зависимости друг от друга. Инновационное развитие промышленного кластера, входящего в соответствующую отрасль, определяет дальнейшее социально-экономическое развитие муниципального образования, региона и государства в целом. Он также является объектом, на который направлено государственное, региональное и рыночное регулирование экономики.* Поэтому исследованию

теории развития промышленного кластера уделяется достаточно большое внимание как в России [1–10], так и за рубежом [11–14]. Поэтому создание созданием качественной системы моделирования, прогнозирования и управления социально-экономическим развитием промышленного кластера является актуальной задачей.

Цели исследования – моделирование инновационного развития и анализ организации управления промышленным кластером (совокупности предприятий); построение математической модели, во-первых, определяющей стратегическое функционирование кластера в рамках инновационного развития, во-вторых, направленной на повышение конкурентоспособности собственной продукции на мировом рынке; решение практических (численных) задач, возникающих при стратегическом планировании и прогнозировании развития кластера.

Методика и результаты исследования. Для реализации поставленных целей рассмотрены и решены задачи анализа, моделирования и прогнозирования развития кластера [1, 5, 7]:

– сформированы организационная схема управления и место математической модели моделирования в общей системе управления кластером;

* URL: <http://base.consultant.ru/> (О промышленной политике в Российской Федерации: Федер. закон № 488-ФЗ от 31.12.2014 г. (ред. от 13.07.2015 г.); О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г.; О приоритетном проекте Минэкономразвития России «Развитие инновационных кластеров – лидеров инвестиционной привлекательности мирового уровня»: Приказ Минэкономразвития России № 400 от 27.06.2016 г.; О стратегическом планировании в Российской Федерации: Федер. закон № 172-ФЗ от 28.06.2014 г. (в ред. от 23.06.2016 г.); О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров: Постан. Правительства РФ № 779 от 31.07.2015 г. (в ред. от 26.09.2016 г.); Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации (утв. Минэкономразвития РФ № 20615-ак/д19 от 26.12.2008 г.)).

– построена модель инновационного развития экономики промышленного кластера в виде векторной задачи линейного программирования (ВЗЛП). Векторный критерий такой задачи представляет множество показателей, характеризующих цели развития кластера, при ограничениях на ресурсы;

– показана методика принятия решений на численной задаче моделирования развития кластера; математическая модель формирования стратегического плана реализована в динамике на несколько лет с учетом экстенсивных, интенсивных факторов, которые определяют инновационную активность предприятий [8]; для решения ВЗЛП используются методы, основанные на нормализации критериев и принципе гарантированного результата [9].

Анализ организации управления промышленным кластером. Кластер как совокупность предприятий можно представить сложной, открытой, социально-технической и финансово-экономической системой, которая является частью общества как единой системы. Внутри производственного кластера имеется два основных уровня деятельности: производство, т. е. переработка поступающих ресурсов в товары, услуги; управляющий уровень, в задачу которого входят руководство и контроль деятельности организации. Производство сопровождается процессом создания и движения стоимости (добавленной), что находит отражение в организации управления [8, 9].

Организация управления кластером показана на рисунке схематически. Она включает:

– объект управления, представлен производственными функциями: материально-техническое обеспечение, производство, реализация продукции, рис. а;

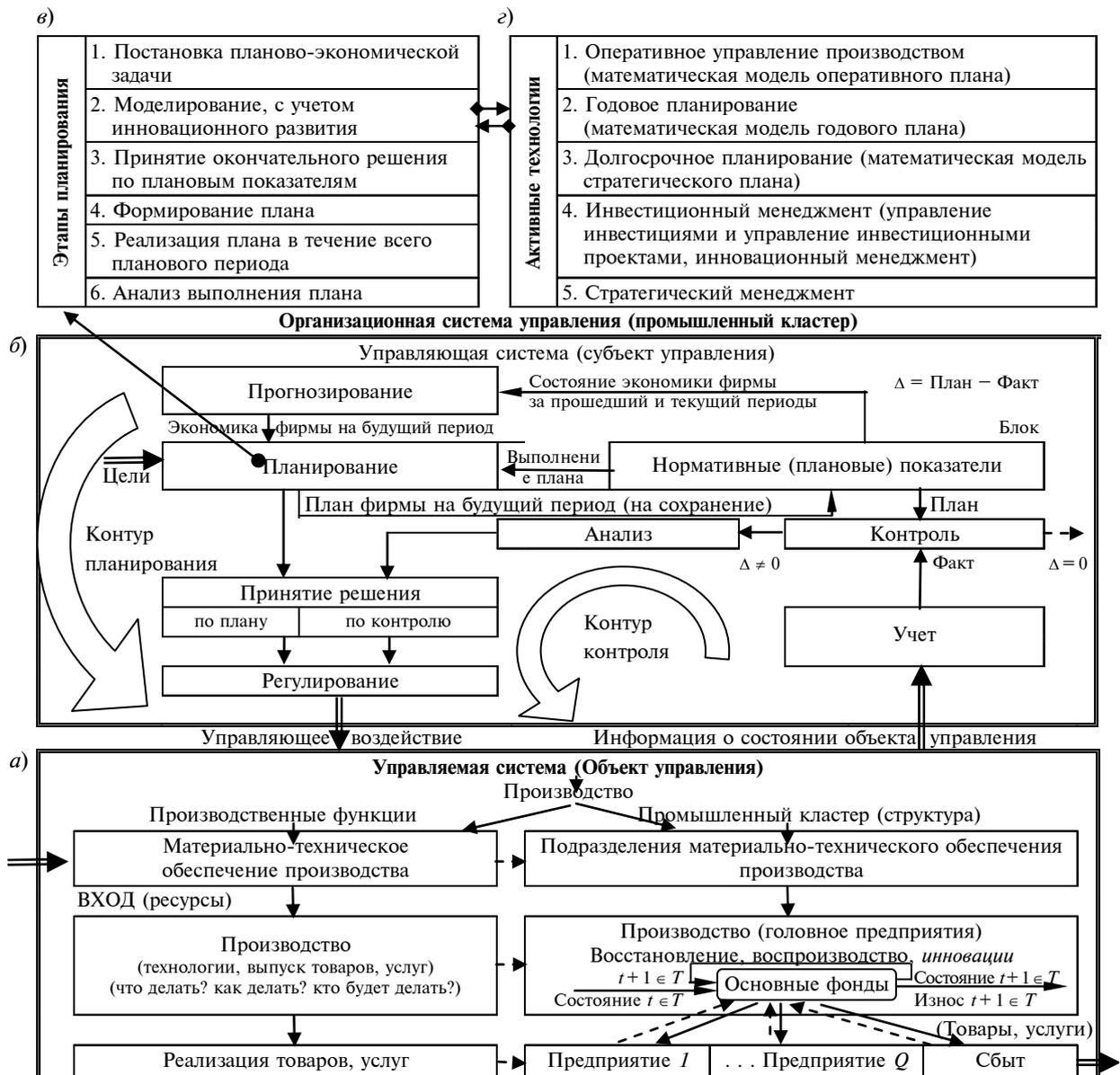
– субъект управления, представленный функциями: прогнозирование, планирование, принятие решений, учет, контроль, анализ и регулирование, рис. б.

При реализации: в текущем периоде функционирует контур контроля (функции: учет, контроль, анализ принятия решений – по контролю, регулирование); в прогнозируемом периоде функционирует контур планирования (функции: прогнозирование, планирование, принятие решений – по плану, регулирование), рис. б. Этапы функции пла-

нирования представлены на рис. в. Все перечисленные функции, как правило, организационно объединены по временным интервалам, видам деятельности в отдельные подсистемы, которые в настоящее время называются технологией менеджмента. Они подразделяются на активные (рис. г) и обеспечивающие технологии менеджмента [8]. Все технологии взаимосвязаны между собой и функционируют на общей информационной базе финансового, управленческого учета.

Воспроизводственные процессы кластера как составной части промышленности региона включают, во-первых, воспроизводство регионального продукта – товаров, услуг обеспечивающих жизнедеятельность населения региона, трудовых ресурсов, капитала, природных ресурсов и т. п., во-вторых, как правило, кластер направлен на производство товара мирового уровня, отсюда участие в межрегиональных и трансграничных рынках. Воспроизводство определяется движением материальных, финансовых и информационных потоков, которые показаны на данном рисунке, и нацелено на интенсивные технологии. Воспроизводственные процессы (в том числе индустриализация) осуществляются на двух уровнях – предприятия и региона, государства.

На уровне предприятия, отрасли воспроизводство осуществляется за счет амортизационных отчислений, инвестиций из прибыли [8]. Напомним, амортизация – это перенос стоимости основных средств на стоимость выпускаемой продукции. До 1992 г. (в социалистический период) амортизационные отчисления в законодательном порядке можно было использовать только на ремонт и покупку новых основных средств (поэтому и шло воспроизводство). Затем этот закон потерял свою силу, и амортизационные отчисления могли использоваться для любых целей, прежде всего, личных (на вывоз капитала). Отсюда колоссальное устаревание основных фондов России и соответствующие аварии (например, на Саяно-Сушенской ГЭС). А амортизационные отчисления – это очень большие средства: 5–7 % ежегодно от общей стоимости основных средств предприятия и, в целом, основных средств России. При этом амортизационные отчисления идут только на восстановление изношенных средств.



Организация процесса управления кластером: а) объект управления, б) субъект управления, в) этапы планирования, г) активные технологии менеджмента и моделирование [8]

The organization of the process of cluster management: а) facility management б) governance, в) planning, г) active management technology and modelling [8]

Хотелось бы видеть, как предприниматели с помощью государственного регулирования сначала восстанавливают изношенные фонды, а затем добавляют инвестиции для инновационного развития экономики предприятия и региона в целом. Инвестиции на уровне фирмы формируются за счет прибыли предприятия, кредита, лизинга и пр. Задача региональных органов управления состоит в стимулировании таких финансово-производственных процессов

на уровне бюджета на базе долгосрочных целевых программ. По каждой долгосрочной целевой программе ежегодно проводится оценка эффективности ее реализации.

Построение математической модели промышленного кластера. Построение математической модели стратегического плана осуществляется с учетом экстенсивных и интенсивных факторов, определяющих развитие

промышленного кластера. За основу взята математическая модель развития крупной фирмы, представленной векторной задачей математического программирования. Информация для построения модели формируется в рамках управленческого учета [8, 9].

Экстенсивные факторы связаны, прежде всего, с расширением производства. Предполагается, что часть прибыли, амортизационных отчислений пойдет на воспроизводство. Под воспроизводством понимаем, во-первых, восстановление изношенного оборудования, во-вторых, увеличение ограничений тех ресурсов, которые в текущем году использованы полностью:

$$b_i(t+1) = b_i(t) + \Delta b_i(t+1), \quad i \in M_p, (t, t+1) \in T, \quad (1)$$

где $b_i(t)$, $i \in \overline{1, M_p}$ – объем ресурсов в текущем году $t \in T$, в планируемом году $(t+1) \in T$ увеличатся на величину $\Delta b_i(t+1)$, $i \in \overline{1, M}$.

Интенсивные факторы определяются ростом производительности труда, снижением материальных затрат, повышением фондоотдачи и повышением качества продукции. Все эти факторы должны найти явное или неявное отражение в математической модели формирования долгосрочного плана развития кластера. Величина, на которую снижены трудозатраты при производстве единицы j -го вида продукции, определяет рост производительности труда на предприятии:

$$\Delta a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) - a_{ij}(t+1), \quad i = \overline{1, M_r}, M_r \subset M, j = \overline{1, N}, t \in T, \quad (2)$$

где $a_{ij}(t)$, $i \in \overline{1, M}$, $j \in \overline{1, N}$ – количество i -го ресурса, необходимого для производства единицы j -го вида изделия: $a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) + \Delta a_{ij}(t+1)$, $i \in \overline{1, M_r}$, $j \in \overline{1, N}$, $t \in T$.

Аналогично определяется снижение материалоемкости изделия на предприятии $\Delta a_{ij}(t+1)$, $i \in \overline{1, M_{mat}}$, $M_{mat} \subset M$.

Интенсивные факторы роста производительности труда, снижения материалоемкости изделия, увеличения фондоотдачи определяют инновационное развитие промышленного предприятия.

При оценке производственных мощностей необходимо учитывать износ основных

фондов $\Delta b_i^{fzn}(t+1)$, $i \in \overline{1, M_{fond}}$, $M_{fond} \subset M$ и их увеличение за счет амортизационных отчислений $\Delta b_i^{amort}(t+1)$, а также за счет инвестиций $\Delta b_i(t+1)$ в производственные мощности предприятия. В дальнейшем предполагаем, что износ основных фондов покрывается амортизационными отчислениями:

$$\Delta b_i^{fzn}(t+1) = \Delta b_i^{amort}(t+1), \quad i \in \overline{1, M_{fond}}. \quad (3)$$

Используя экономические показатели развития кластера в качестве критерия, определяющего целенаправленность фирмы, учитывая ограничения по ресурсам, в том числе экстенсивные факторы (1) и интенсивные факторы роста производительности труда, материалоемкости изделия, увеличения фондоотдачи (2), а также выполнения соотношения (3) на период $t = \overline{1, T}$ лет, математическую модель формирования стратегического плана развития промышленного кластера представим в виде векторной задачи линейного программирования:

$$\begin{aligned} \text{opt } F(X(t)) = \{F_q(X(t)) = \{\max f_{kq}(X(t)) \equiv \\ \equiv \sum_{j=1}^{N_q} c_j^k x_j(t), k = \overline{1, K_q}\}, q = \overline{1, Q}\}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} F_1(X(t)) = \{\max f_k(X(t)) \equiv \\ \equiv \sum_{j=1}^N c_j^k x_j(t), k = \overline{1, K_1}\}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N (a_{ij}(t)x_j(t) - \Delta a_{ij}(t+1)x_j \leq (b_i(t) + \\ + \Delta b_i(t+1)), i = \overline{1, M}, M_{ir} \subset M, M_{mat} \subset M, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N (a_{ij}^f(t)x_j(t) - \Delta a_{ij}^f(t+1)x_j(t) \leq (b_i^f(t) - \\ - \Delta b_i^{fzn}(t+1) + \Delta b_i^f(t+1)), i = \overline{1, M_{fond}}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{N_q} (a_{ij}^q(t) - \Delta a_{ij}(t+1))x_j(t) \leq (b_i^q(t) + \\ + \Delta b_i(t+1)), i = \overline{1, M_q}, q = \overline{1, Q}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^N c_j^k x_j(t) \geq b_k(t), k \in K, \quad (9)$$

$$x_j(t) = x_{j_v}(t), j_v \in K, j_g \in K, \quad (10)$$

$$x_j(t) \leq u_j(t), j = \overline{1, N_q}, q = \overline{1, Q}, t = \overline{1, T}.$$

Здесь: $F(X(t))$ – векторный критерий, который определяет функционирование Q вспомогательных предприятий, входящих в кластер (4), и головное предприятие в целом (5), см. рис. а; (6)–(7) – глобальные ограничения по трудовым и материальным ресурсам и производственным мощностям предприятия; (8) – локальные ограничения по ресурсам, накладываемые на каждое q -е подразделение фирмы, $\Delta a_{ij}(t+1)$, $\Delta b_i(t+1)$, $i \in M$ – интенсивная и экстенсивная составляющие развития фирмы; (9) – ограничения по экономическим показателям, которые, как минимум, требуется выполнить, а также ограничения по маркетинговым исследованиям; (10) – ограничения $x_{jv}(t) = x_{jg}(t)$, $j_v \in K$, $j_g \in K$, определяющие взаимосвязь одинакового количество полуфабрикатов $x_{jv}(t)$, выпускаемых вспомогательными подразделениями, и используемые в производстве основной продукции $x_{jg}(t)$, выпускаемой головным предприятием; величины $u_j(t)$, $j = \overline{1, N}$, $t = \overline{1, T}$ (10) характеризуют объемы товаров в предположении, что они будут востребованы рынком на период $t = \overline{1, T}$ лет. Величины $b_i(t+1)$ являются потенциальными возможностями фирмы в приобретении i -го ресурса в t -м году из (10). Они определяются из соотношения $b_i(t+1) = b_i(t) + \Delta b_i(t+1)$.

Таким образом, математическая модель (4)–(10) по существу является моделью стратегического планирования инновационного развития промышленного кластера. Алгоритм моделирования стратегического плана включает решение векторной задачи математического программирования (4)–(10) и реализуется в два этапа, которые представлены в [8, 9].

Численная реализация инновационного развития промышленного кластера (практический аспект). Для численной реализации модели кластера разработано программное обеспечение решения векторной задачи математического программирования (4)–(10), которое реализовано в системе *Matlab*. Представим работу программного обеспечения инновационного развития промышленного кластера на численной модели (4)–(10).

Дано. Рассматривается кластер, состоящий из головного предприятия (высшей управляющей подсистемы) и двух хозяйственно самостоятельных производств (других отраслей), поставляющих полуфабрикаты головному предприятию. Кластер выпускает шесть видов неоднородной продукции $j = \overline{1, N}$, $N = 6$, функционирующих на шести стратегических рынках $q = \overline{1, R}$, где $R = 6$ множество рынков. Каждое вспомогательное предприятие выпускают продукцию двух видов, $j = \overline{1, N_q}$, $q = \overline{1, Q}$, $N_q = 2$. Информация о производственной деятельности предприятия за прошлый период представлена:

– статистическими данными, которые включают экономические показатели объема производства (тыс. руб.), ресурсы по фирме в целом и прибыли (табл. 1);

– технологическими данными (на конец текущего года) – стоимостными показателями единицы продукции и ресурса, нормой расхода, показывающей, какое количество единиц ресурса идет на производство единицы соответствующего вида продукции, а также объема ресурсов. В совокупности все экономические показатели составляют технологическую матрицу производства (табл. 2);

Таблица 1

Объем производства, прибыли по фирме

The volume of production, profit of the firm

Экономические показатели	Распределение по годам, тыс. руб.				
	2010	2011	2012	2013	2014
Объем продаж	7279400	7522000	7441100	7683800	7702900
Чистая прибыль	1763400	1864500	1909400	1983400	2003400
Добавленная стоимость	6252200	6797100	7023300	7213600	7407100

Таблица 2

Технологическая матрица производства кластера
Technological matrix production cluster

Экономические показатели	Товары, разделенные по трем предприятиям												Стоимость 1 ед.	План (ресурсы)	
	1		2		3 (Головное предприятие)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Стоимость 1 ед. продукции	1	300	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	0	0	270	580	0	0	0	0	0	0	0	0		
	3	0	0	0	0	1050	850	810	650	600	650	910	850		
Материальные ресурсы	1	0	0	0	0	0,83	0,1	2,5	4	1,6	2,68	3,09	2,1	24	19800
	2	0	0	0	0	1,85	0,9	3,03	2,58	2,1	1	1,26	2,05	15	23300
	3	0	0	0	0	1	1,64	0,8	1,06	2,32	1	2,1	1,18	30	16000
	4	0	0	0	0	0,9	1,25	0,9	0,96	1,07	2,63	1,38	3,05	18	19600
Трудовые ресурсы	5	0	0	0	0	1,03	0,25	0,8	0,53	0,66	0,61	0,9	0,3	40	7100
	6	0	0	0	0	0,86	1	0,9	1,04	0,9	0,26	0,8	1	42	7000
Мощности	7	0	0	0	0	1	2	1,62	0,17	1	0,33	1,2	1	66	11600
	8	0	0	0	0	1,5	0,62	0,7	0,14	0,98	1,04	1	2	46	18500
Предприятие 1	9	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	8000
	10	4,5	2,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	10100
Предприятие 2	11	0	0	4,0	8,2	0	0	0	0	0	0	0	0	30	12000
	12	0	0	1,0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	26	23500

Примечание. Данную фирму можно трактовать как отрасль, имеющую Q предприятий, или как регион, имеющий Q отраслей.

– анализом статистических данных о производственной деятельности предприятия за предыдущий период. Показано, что управленческие затраты составляют 35 % от производственной себестоимости одного изделия, коммерческие затраты – 20 %, амортизация – 6 %. Налоги составляют 20 % от прибыли до налогообложения.

Требуется: 1) определить производственный план кластера (головного предприятия) и двух вспомогательных предприятий. План включает показатели по номенклатуре (по видам изделий) и по объему, т. е. сколько изделий соответствующего вида изделия следует изготовить каждому предприятию, чтобы доход, прибыль и валовая добавленная стоимость при их реализации были как можно выше. Стратегический период планирования $T = 5$ лет;

2) составить модель производственного плана предприятия, в котором экономические показатели максимальны. Провести моделирование и представить прогноз развития фирмы и ее предприятий на соответствующий период планирования. Программное обеспечение решения задачи, лежащей в основе математической модели, реализовано в системе Matlab.

Решение. Моделирование и формирование производственного (стратегического) плана развития предприятия на базе программного обеспечения, реализованного в системе *Matlab*, включает четыре блока.

1. Построение математической модели инновационного развития промышленного предприятия (постановка задачи). Выполним предварительные расчеты. Объединяя данные табл. 1, рассчитаем производствен-

ную себестоимость одного изделия в денежных единицах:

$$\text{Производственная себестоимость } a_j = \text{Материальные затраты } a_j^{mat} + \text{Трудовые затраты } a_j^{tr} + \text{Мощности } a_j^f + \text{Предприятия } a_j^{pr}$$

Используя статистические данные, вычислим управленческие затраты, коммерческие затраты, амортизацию (накладные расходы).

Прибыль до налогообложения рассчитаем по формуле:

$$\text{Прибыль до налогообложения} = \text{Стоимость единицы товара} - \text{Производственная себестоимость} - \text{Накладные расходы}$$

Добавленная стоимость определяется как разность между стоимостью и материальными затратами на выпуск единицы продукции j -го вида.

Перед управляющим кластера стоит задача выбора оптимальной номенклатуры и объемов продукции, в наибольшей степени удовлетворяющих представленным выше экономическим показателям. Используя предварительные вычисления, целенаправленность кластера представим в виде векторной задачи линейного программирования (4)–(10):

$$\text{opt } F(X(t)) = \max f_1(X_1(t)) \equiv 300x_1(t) + 250x_2(t); \quad (11)$$

$$\max f_2(X_2(t)) \equiv 270x_3(t) + 580x_4(t); \quad (12)$$

$$\max f_3(X_3) \equiv 1050x_5 + 850x_6 + 810x_7 + 650x_8 + 600x_9 + 650x_{10} + 910x_{11} + 850x_{12}; \quad (13)$$

$$\max f_4(X) \equiv 72,6x_1 + 55,7x_2 + 48,6x_3 + 169x_4 + 205,6x_5 + 93,4x_6 + 191,3x_7 + 177x_8 + 49,8x_9 + 183x_{10} + 244,1x_{11} + 186,1x_{12}; \quad (14)$$

$$\max f_5(X) \equiv 300x_1 + 250x_2 + 270x_3 + 580x_4 + 656,1x_5 + 512,4x_6 + 664,4x_7 + 466x_8 + 441,2x_9 + 493,3x_{10} + 729x_{11} + 678,5x_{12}; \quad (15)$$

при ограничениях:

$$0,83x_5 + 0,1x_6 + 2,5x_7 + 4x_8(t) + 1,6x_9 + 2,68x_{10} + 3,09x_{11} + 2,1x_{12} \leq 19800; \quad (16)$$

$$1,85x_5(t) + 0,9x_6(t) + 3,03x_7(t) + 2,58x_8(t) + 2,1x_9(t) + 1x_{10}(t) + 1,26x_{11}(t) + 2,05x_{12}(t) \leq 23300;$$

$$1x_5(t) + 1,64x_6(t) + 0,8x_7(t) + 1,06x_8(t) + 2,32x_9(t) + 1x_{10}(t) + 2,1x_{11}(t) + 1,18x_{12}(t) \leq 12300;$$

$$0,9x_5(t) + 1,25x_6(t) + 0,9x_7(t) + 0,96x_8(t) + 1,07x_9(t) + 2,63x_{10}(t) + 1,38x_{11}(t) + 3,05x_{12}(t) \leq 19600;$$

$$1,03x_5(t) + 0,25x_6(t) + 0,8x_7(t) + 0,53x_8(t) + 0,66x_9(t) + 0,61x_{10}(t) + 0,9x_{11}(t) + 0,3x_{12}(t) \leq 7100;$$

$$0,86x_5(t) + 1x_6(t) + 0,9x_7(t) + 1,04x_8(t) + 0,9x_9(t) + 0,26x_{10}(t) + 0,8x_{11}(t) + 1x_{12}(t) \leq 7000;$$

$$1x_5(t) + 2x_6(t) + 1,62x_7(t) + 0,17x_8(t) + 1x_9(t) + 0,33x_{10}(t) + 1,2x_{11}(t) + 1x_{12}(t) \leq 11600;$$

$$1,5x_5(t) + 0,62x_6(t) + 0,7x_7(t) + 0,14x_8(t) + 0,98x_9(t) + 1,04x_{10}(t) + 1x_{11}(t) + 2x_{12}(t) \leq 18500; \quad (17)$$

$$2x_1(t) + 3x_2(t) \leq 8000, 4,5x_1(t) + 2,6x_2(t) \leq 10100; \quad (18)$$

$$4x_3(t) + 8,2x_4(t) \leq 12000, 1x_3(t) + 0,8x_4(t) \leq 13500; \quad (19)$$

$$100 \leq x_1(t) \leq 2000, 100 \leq x_2(t) \leq 2000, 100 \leq x_3(t) \leq 2000, 100 \leq x_4(t) \leq 2000,$$

$$100 \leq x_5(t) \leq 3000, \dots, 100 \leq x_{12}(t) \leq 3000, \quad (20)$$

где $F(X(t))$ – векторный критерий, который включает: $f_1(X_1(t))$, $f_2(X_2(t))$, $f_3(X_3(t))$ – объемы продаж первого, второго вспомогательных и головного предприятия (ГП) соответственно; $f_4(X)$, $f_5(X)$ – прибыли и прибавочная стоимость ГП; (16)–(17) – ограничения по материальным, трудовым и фондируемым ресурсам ГП; (18) – ограничения по ресурсам первого и (19) – второго предприятия; (20) – ограничения по производственным мощностям (в шт.).

2. Моделирование годового плана предприятия на базе алгоритма решения ВЗЛП, основанного на нормализации критериев и принципе гарантированного результата, представляет многократное решение ВЗЛП (11)–(20) в системе Matlab при равнозначных критериях с различными исходными данными. Структуру алгоритма решения ВЗЛП (11)–(20) см. в [8].

В результате решения ВЗЛП (21)–(25) получим:

$$1) \text{ точку оптимума: } X^0 = \{L0 = 0,9593, X0 = \{ X_1^0 = \{x_1 = 1163,0, x_2 = 1871,7\}, X_2^0 = \{x_3 = 2000,0, x_4 = 476,6\}, X_3^0 = \{x_5 = 1871,7,$$

$x_6 = 2000,0$, $x_7 = 1093,1$, $x_8 = 476,6$, $x_9 = 100,0$, $x_{10} = 3000,0$, $x_{11} = 1078,0$, $x_{12} = 100,0$ }, где вектор X^0 определяет объемы продукции, выпускаемые кластером в первом году планирования, в том числе X_1^0 , X_2^0 первым и вторым предприятием и X_3^0 – головным предприятием (т. е. кластером).

Заметим: объемы продукции x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , выпускаемые первым и вторым предприятием, которые по своему назначению являются полуфабрикатами для основной продукции кластера, например, литой корпус электродвигателя (сталелитейная отрасль), равны объемам продукции x_5 , x_6 , x_7 , x_8 , выпускаемым головным предприятием (кластером), например, электродвигатель (электротехническая отрасль);

2) максимальную относительную оценку $\lambda^0 = L0 = 0,9593$;

3) значения критериев в точке оптимума $f_k(X^0)$, $k = \overline{1,10}$: $f_1(X^0) = 816800$, $f_2(X^0) = 816400$, $f_3(X^0) = 7817900$, $f_4(X^0) = 2087400$, $f_5(X^0) = 7384300$, где $f_1(X^0)$, $f_2(X^0)$, $f_3(X^0)$ объем продаж по каждому предприятию, $f_4(X^0)$ – объем прибыли кластера; $f_5(X^0)$ – добавленная стоимость;

4) относительные оценки $\lambda_k(X^0)$, $k = \overline{1,10}$: $\lambda_1(X^0) = 0,9593$, $\lambda_2(X^0) = 0,9593$, $\lambda_3(X^0) = 0,9593$, $\lambda_4(X^0) = 0,9840$, $\lambda_5(X^0) = 0,99983$.

Относительная оценка $\lambda^0 = 0,9593$ показывает, что все независимые критерии всех предприятий кластера, измеренные в относительных единицах, подняты до величины $\lambda^0 = \lambda_k(X^0)$, $k = \overline{1,3}$, при всех других объемах относительная оценка λ' всегда будет меньше λ^0 , т. е. точка X^0 оптимальна по Парето.

3. Анализ результатов решения и принятие окончательного решения по годовому плану развитию предприятия.

Анализ результатов начинается с проверки загрузки ресурсов по каждому предприятию, как по своим собственным, так и по глобальным ресурсам:

$$r_i^q = AX_q^0, \quad i = \overline{1,12}, \quad q = \overline{1,3}.$$

Сравниваются полученные затраты глобальных ресурсов с возможностями кластера в их приобретении b_i , $i = \overline{1, M}$, $M = 8$.

Определим отклонения $\Delta R_i = b_i - R_i$, $i = \overline{1,12}$.

Из этих соотношений вытекает, что ресурсы $i = 1, 6, 10$ загружены полностью, они сдерживают дальнейший рост векторного критерия $F(X)$.

Таким образом, номенклатура и объемы производства X^0 , значения экономических показателей при таких объемах $f_k(X^0)$, $k = \overline{1,3}$, относительные оценки $\lambda_k(X^0)$, $k = \overline{1,3}$, отклонения по ресурсам (глобальным, локальным) ΔR_i , $i = \overline{1,12}$ являются основой для принятия решений.

4. Формирование стратегического плана развития промышленного предприятия, который представляет результат решения задачи (11)–(16). Результаты расчета на пять лет представим в виде таблицы (табл. 3).

Анализ информации табл. 3 по кластеру в целом показывает, что прогнозные данные за пять лет являются продолжением статистических данных табл. 1.

Таблица 3

Экономические показатели прогноза стратегического плана объема производства кластера на пять лет (тыс. руб.)

Economic indicators, forecast strategic plan of the production cluster for five years (thousand RUB)

Год планирования	Продажи предприятий, $q = \overline{1, Q}$, $Q = 3$			Кластер в целом		
	1	2	3	Продажи	Прибыль	Добавочная стоимость
1	816800	816400	7817900	7817900	2083400	7284300
2	819400	850100	8128300	8128300	2182500	7569000
3	829100	903900	8160800	8160800	2204800	7620200
4	828700	872600	8243100	8243100	2177600	7638300
5	826200	875900	8423900	8423900	2202200	7797100

Объем продаж, характеризующий производственное развитие кластера, налоги, которые в совокупности с другими фирмами определяют основу доходной части региона, добавочная стоимость как основа формирования валового регионального продукта могут быть представлены графически.

Выводы. 1. Исследование и анализ организации управления промышленным кластером (как совокупности предприятий) позволяют учитывать развитие и воспроизводственные процессы кластера как составной части промышленности региона. Производственные процессы включают в себя, во-первых, воспроизводство регионального продукта – товаров, услуг, обеспечивающих жизнедеятельность населения региона, трудовых ресурсов, капитала; во-вторых, производство товаров мирового уровня и, как следствие, участие в межрегиональных и трансграничных рынках.

2. Разработанная математическая модель функционирования промышленного кластера позволяет проводить многовариантные расчеты прогноза развития кластера с учетом экстенсивных и интенсивных факторов. На основе проведенных расчетов формируется стратегия инновационного развития кластера. Математическая модель представлена

векторной задачей математического программирования. Математический аппарат для ее решения, основан на нормализации критериев и принципе гарантированного результата. Стратегический план дает возможность принятия оптимального решения по некоторому набору экономических показателей (критериев) в совокупности. Построение математической модели и решение векторной задачей линейного программирования, лежащей в ее основе, представляет новую информационную технологию (методологию) принятия оптимального решения по развитию промышленного кластера.

3. Разработанное программное обеспечение для прогноза развития кластера представлено на числовой модели кластера, включающего головное и два вспомогательных предприятия. Прогноз рассчитан на пять лет с указанием основных экономических показателей.

4. Направление дальнейших исследований связано с решением реальных практических задач прогнозирования развития кластера и готовностью участвовать в решении задач прогнозирования развития кластера с использованием разработанного программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Бабкин А.В., Новиков А.О. Кластер как субъект экономики: сущность, современное состояние, развитие // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2016. № 1 (235). С. 9–29. DOI: 10.5862/JE.235.1

[2] Азимов Ю.И., Александрова А.В., Бадриева Л.Д. и др. Реструктуризация экономики: теория и инструментарий : [моногр.]. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 412 с.

[3] Куладжи Т.В. Матричный инструментарий для гомеостаза инновационного кластера // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2016. № 3(245). С. 230–244. DOI: 10.5862/JE.245.22

[4] Куладжи Т.В., Бабкин А.В. Матричное микропрогнозирование конкурентоспособности инновационной продукции в кластере // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. № 6 (246). 2016. С. 130–147. DOI:10.5862/JE.256.12

[5] Семёнов В.П. Теоретическая модель кластера и её практические аспекты // Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием, 17–22 мая 2017 г. / под ред. д-ра экон. на-

ук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 102–106.

[6] Собянина И.Д., Фролова Н.В., Оборин М.С. Кластер предприятий и его влияние на конкурентоспособность экономики региона // Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием, 17–22 мая 2017 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 107–114.

[7] Толикова Е.Э., Киселева М.А., Заргарян М.Т. Когнитивный подход к созданию кластеров на общем электроэнергетическом рынке евразийского экономического союза // Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием, 17–22 мая 2017 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 116–122.

[8] Tolikova E.E., Kiseleva M.A., Zargaryan M.T. Cognitive approach to creation of clusters in the common electrical power market of the eurasian economic union.

[9] Машунин Ю.К., Машунин К.Ю. Численная реализация инновационного развития промышленного предприятия // Глобальные вызовы в экономи-

ке и развитие промышленности (INDUSTRY-2016): тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием, 21–23 марта 2016 г. / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 455–484.

[10] **Машунин Ю.К.** Теория управления. Математический аппарат управления экономикой. М.: Логос, 2013. 448 с.

[11] **Портер М.** Конкуренция: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 496 с.

[12] **Кузнецов С.В., Шматко А.Д., Шамина Л.К.** и др. Кластерная структура экономики промышленности : [моногр.]. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 442 с.

[13] **Сно К.К.** Управленческая экономика: пер. с англ. М.: Инфра-М, 2000. 671 с.

[14] **Хан К.** Контроллинг. М.: Инфра-М, 2004. 671 с.

[15] **Файоль А.** Общее и промышленное управление. М.: Контроллинг, 1992.

МАШУНИН Юрий Константинович. E-mail: mashunin@mail.ru

МАШУНИН Константин Юрьевич. E-mail: mashunin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10.06.17

REFERENCES

[1] **A.V. Babkin, A.O. Novikov,** Cluster as a subject of economy: essence, current state, development, Publishing house Polytechnic University (2015) 151–178.

[2] **A.V. Potapenko,** Russia's economics and causes of its deindustrialization, Innovation clusters in the digital economy: theory and practice: Works of the VIII research-to-practice konf. with foreign participation on 17–22 May 2017, under the editorship of the Dr. of economic Sciences, prof. A.V. Babkin, St. Petersburg, Publishing house Politekhn. University (2017) 16–28.

[3] **T.B. Kuladzi,** Matrix tools for innovative cluster homeostasis, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 3 (245) (2016) 230–244. DOI: 10.5862/JE.245.22

[4] **T.B. Kuladzi, A.V. Babkin,** Matrix microprediction of competitiveness of innovative production in a cluster. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 6 (246) (2016) 130–147. DOI: 10.5862/JE.256.12

[5] **V.P. Semenov,** Theory of the cluster and its practical Aspects, Innovation clusters in the digital economy: theory and practice, Works of the VIII research-to-practice konf. with foreign participation on 17–22 May 2017, under the editorship of the Dr. of economic Sciences, prof. A.V. Babkin, St. Petersburg, Publishing house Politekhn. University, (2017) 102–106.

[6] **I.D. Sobyana, N.V. Frolova, M.S. Oborin,** Enterprise cluster from the point of view of system analysis and its impact on the competitiveness of the regional economy, Innovation clusters in the digital economy: theory and practice: Works of the VIII research-to-practice konf. with foreign participation on 17–22 May 2017, under the editorship of the Dr. of economic Sciences, prof. A.V. Babkin, St. Petersburg, Publishing house Politekhn. University, (2017) 107–114.

[7] **E.E. Tolikova, M.A. Kiseleva, M.T. Zargaryan,** Cognitive approach to creation of clusters in the common electrical power market of the Eurasian economic union, Innovation clusters in the digital economy: theory and practice, Works of the VIII research-to-practice konf. with foreign participation on 17–22 May 2017, under the editorship of the Dr. of economic Sciences, prof. A.V. Babkin, St. Petersburg, Publishing house Politekhn. University, (2017) 116–122.

[8] **E.E. Tolikova, M.A. Kiseleva, M.T. Zargaryan,** Cognitive approach to creation of clusters in the common electrical power market of the Eurasian economic union.

[9] **Yu.K. Mashunin, K.Yu. Mashunin,** Numerical realization of innovative development of the industrial enterprise, Global challenges in economy and development of the industry (INDUSTRY-2016), proceedings of scientific-practical konf. with foreign participation on March 21–23 2016, under the editorship of the Dr. of economic Sciences, prof. A.V. Babkin, St. Petersburg, Publishing house Politekhn. University, (2016) 455–484.

[10] **Yu.K. Mashunin,** Control Theory. The mathematical apparatus of management of the economy, Moscow, Logos, 2013.

[11] **M.E. Porter,** Competitive. Per. from English, Moscow, Vilyms, 2003.

[12] **S.V. Kuznetsov, A.D. Shmatko, L.K. Shamina** i dr., Klasternaia struktura ekonomiki promyshlennosti : monogr., St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014.

[13] **K.K. Cio,** Managerial Economics. Per. from English, Moscow, Infra-M, 2000.

[14] **K. Khan,** Controlling, Moscow, Infra-M, 2004.

[15] **A. Fayol,** General and industrial management, Moscow, Controlling, 1992.

MASHUNIN Yuriy K. E-mail: mashunin@mail.ru

MASHUNIN Konstantin Yu. E-mail: mashunin@mail.ru