DOI: 10.18721/JE.11406
УДК 330.332

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ КЛАСТЕРА НА БАЗЕ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Ю.К. Машунин*, К.Ю. Машунин**

Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), г. Владивосток, Россия

Актуальность работы обусловлена созданием качественной системы инновационного развития и управления экономической системы на примере кластера. Исследованию этой проблемы управления, стратегическому развитию промышленного кластера и принятию оптимального решения уделяется достаточно большое внимание во многих странах. Развитие предприятия, корпорации (кластера) определяется новыми технологическими решениями, которые представлены как на информационном (статистическом), так и на организационном, уровне, в том числе трудами, в которых значительное внимание уделяется экстенсивным и интенсивным факторам развития производства. Цель исследования – математическая и информационная постановка проблемы стратегического и инновационного развития кластера (цифровая экономика), включающей отчетную и технологическую информацию организации производства, и формирование на ее основе стратегического плана развития кластера в динамике за несколько лет. Для решения этой проблемы на основе разработанных ранее математических моделей инновационного развития промышленного предприятия разработана математическая модель кластера (корпорации), которая учитывает как экстенсивные, так и интенсивные, факторы развития производства. Входными данными математической модели кластера являются, во-первых, бухгалтерская информация (т. е. отчетная информация, представленная, например, в «1С: Предприятие 8.3», во-вторых, технологическая информация по подготовке и организации производства. В совокупности бухгалтерская и технологическая информация характеризуется как «цифровая экономика». Математическая модель кластера построена в виде векторной задачи линейного программирования. Векторная задача решается с использованием алгоритма, построенного с использованием нормализации критериев и принципе гарантированного результата. Стратегическое развитие кластера в динамике за несколько лет представлено цифровыми значениями оптимальных объемов продукции и соответствующих социально-экономических показателей корпорации. Все этапы исследования в целом представляют методологию моделирования и принятия оптимального решения в задаче разработки стратегического плана развития кластера, где это развитие показано в динамике с учетом экстенсивных и интенсивных факторов.

Ключевые слова: кластер, стратегическое развитие, бухгалтерская информация, технологическая информация, векторная оптимизация, программное обеспечение

Ссылка при цитировании: Машунин Ю.К., Машунин К.Ю. Стратегическое и инновационное развитие кластера на базе цифровой экономики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2018. Т. 11, № 4. С. 85–99. DOI: 10.18721/JE.11406

STRATEGIC AND INNOVATIVE DEVELOPMENT OF THE CLUSTER BASED ON THE DIGITAL ECONOMY

Yu.K. Mashunin*, K.Yu. Mashunin**

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

The creation of qualitative system of innovative development and management of economic system on the example of a cluster cause the relevance of the study. Rather much attention in many countries is paid to a research of this problem of management, both strategic development

* Ю.К. Машунин – общая постановка проблемы и её решение, ** К.Ю. Машунин – разработка программного обеспечения в системе *Matlab*.

of the production cluster and the adoption of the optimal solution. Development of the enterprise or the corporation (cluster) are defined by new technology solutions which are presented, both on informational (statistical), and at the organizational level, including to works in which the considerable attention is paid to extensive and intensive factors of development of production. The aim of the work is mathematical and informational statement of the problem of strategic and innovative development of the cluster (digital economy), including reporting and technological information on production organization; the solution of this problem and formation of «The strategic development plan for a cluster in dynamics for several years». For this, we developed mathematical model of a cluster (corporation) using the mathematical models of innovative development of the production enterprise developed earlier. The mathematical model of a cluster considers both extensive and intensive factors of development of production. Input data for the mathematical model of a cluster are, firstly, accounting information (i.e. the reporting information provided, for example, in «1C: Enterprise 8.3»), and, secondly, technological information on preparation and organization of production. In total accounting and technological information is characterized as «digital economy». We constructed the mathematical model of a cluster in the form of a vector problem of the linear programming. The vector problem is solved with use of the algorithm based on normalization of criteria and on the principle of guaranteed result. As a result, «The strategic development of a cluster in dynamics for several years» is presented by digital values of optimum volumes of production and the corresponding socio-economic indexes of corporation. These stages of work in general represent «Methodology of simulation and optimal decision making in the creation of the strategic development plan for a cluster» where its development is shown in dynamics taking into account extensive and intensive factors, and which can be used in practice.

Keywords: cluster, strategic development, accounting information, technological information, vector optimization, software

Citation: Yu.K. Mashunin, K.Yu. Mashunin, Strategic and Innovative Development of the Cluster based on the digital economy, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 11 (4) (2018) 85–99. DOI: 10.18721/JE.11406

Введение. Экономической теории управления и целям общества [1], стратегическому развитию промышленного кластера, корпорации и принятию оптимального решения уделяется достаточно большое внимание во многих странах как зарубежными [2–7], так и отечественными [8–20] учеными. Взаимосвязь бухгалтерской (статистической) информации и организации управления доходами предприятия исследовалась в [4], что нашло отражение в теории в виде управленческой экономики. Организационная структура управления крупного предприятия (корпорацией) рассмотрена в [5, 6]. Управление доходами за счет удобства чтения бухгалтерских отчетов представлено в [7]. Но бухгалтерские отчеты отражают информацию за прошлый период времени. Развитие предприятия, корпорации (кластера) определяется новыми технологическими решениями, которые представлены, как на государственном уровне,* так и в научно-исследовательских работах [8–18], в том числе работах, в которых значительное внимание уделяется экстенсивным и интенсивным факторам развития производства [17, 18]. Дальнейшее развитие экономической теории определяется *теорией множественности целей* (*критериев*) *управления фирмой*, которая исходит из того, что у фирмы имеется не одна цель (доход, прибыль, ...), а множество целей в совокупности [18]. К такому классу задач относятся векторные (многокритериальные) задачи математического программирования. Решение векторных задач представлено в [18]. Поэтому создание качественной системы управления доходами, учитывающей бухгалтерскую и технологическую информацию формирования кластера, моделирования развития является актуальной задачей.

Цель исследования – математическая и информационная постановка проблемы стратегического и инновационного развития кластера (цифровая экономика), включающей отчетную и технологическую информацию организации производства. Построение математической и цифровой модели корпорации, в которой вектор критериев, с одной стороны, отражает цели ее функционирования, а с другой – дает возможность построения стратегии развития корпорации с учетом

* О промышленных кластерах и специализированных организациях промышленных кластеров: Постан. Правительства РФ № 779 от 31.07.2015 г. (ред. от 26.09.2016 г.). URL: http://base.consultant.ru/; Методические рекомендации по реализации кластерной политики в субъектах Российской Федерации (утв. Минэкономразвития РФ № 20615-ак/д19 от 26.12.2008 г.). URL: http://www.consultant.ru/

экстенсивных и интенсивных факторов. Реализацию модели мы представили на числовом примере разработки стратегии кластера.

Методика и результаты исследования. При реализации поставленной цели мы сформировали исходные данные (экономические, технологические) для построения модели кластера, которые по сути представляют «Техническое задание» для разработки стратегического плана развития корпорации.

Также сформирована математическая модель кластера, которая отражает цели и задачи корпорации на будущий период; разработана цифровая математическая модель на базе бухгалтерских показателей и технологической информации в виде векторной задачи линейного программирования (ВЗЛП); проведены моделирование годового плана корпорации и анализ результатов решения; принято окончательное решение. Эти этапы работы в целом представляет «Методология принятия решений в задаче моделирования стратегического плана кластера», где ее развитие показано в динамике на несколько лет, с учетом экстенсивных и интенсивных факторов.

Постановка проблемы. Исходные данные для организации управления и стратегического развития корпорации («Техническое задание»)

Формирование исходных данных. Рассматривается кластер, сформированный как холдинг [5], состоящий из пяти самостоятельных производств $q = 1, ..., 5$, которые поставляют полуфабрикаты головному предприятию (индекс $q = 6$), т. е. множество предприятий, входящих в кластер, $\boldsymbol{Q} = 6$. Каждое предприятие поставляет по одному виду продукции (полуфабрикат) головному предприятию. Третье, четвертое и пятое предприятия $q = 3, 4, 5$ дополнительно выпускают по одному изделию для продажи, т. е. выпускают продукцию двух видов, $j = \overline{1, N_q}$, $N_q = 2$, $q = 3, 4, 5$. Головное предприятие выпускает продукцию четырех видов, $j = \overline{1, N_q}$, $N_q = 4$, $q = 6$. Всего кластер выпускает двенадцать видов неоднородной продукции $j = \overline{1, N}$, $\boldsymbol{N} = 12$. Информация о производстве корпорации (кластера) за прошлый период представлена данными бухгалтерской отчетности и технологическими данными о производстве изделий.

Бухгалтерская отчетность представлена статистическими данными за пять лет. Данные отчетности включают экономические показатели объема производства соответственно дохода (тыс. долл.), ресурсные затраты по фирме в целом и прибыли. Данные представлены в табл. 1.

Анализ статистических данных о производстве корпорации за предыдущий период показал: управленческие затраты составили 35 % от производственной себестоимости одного изделия, коммерческие затраты – 20 %; амортизация составила 6 %. Налоги включают 20 % прибыли до налогообложения.

Технологические данные (на конец текущего года) представлены стоимостными показателями одной единицы продукции и ресурса (норма расхода ресурсов). Она показывает, какое количество единиц ресурса идет на производство единицы соответствующего вида продукции. Планируемые объемы ресурсов в текущем периоде сформированы в последней графе табл. 2. Все эти показатели в совокупности представляют технологическую матрицу производства и сформированы в табл. 2.

Требуется: 1) сформировать производственный план корпорации, включающий показатели по видам изделий (номенклатура) и по объему, другими словами, сколько изделий соответствующего вида следует изготовить каждому предприятию с тем, чтобы доход, прибыль, а также валовая добавленная стоимость при их реализации были как можно выше. Стратегический период планирования $T = 5$ лет; 2) решить задачу распределения глобальных ресурсов между шестью предприятиями.

При решении проблемы в целом необходимо:

– построить математическую модель производственного плана корпорации, в котором указанные экономические показатели были оптимальными;

– разработать методы решения задачи, которые лежат в основе математической модели производственного плана корпорации;

– составить цифровую модель производственного плана предприятия, в которой учитываются экстенсивные и интенсивные факторы;

Таблица 1

Статистические и экономические показатели объема производства по годам (2011—2015)

Statistical and economic indicators of production volume by years (2011—2015)

Технико-экономические показатели	Статистика по годам, тыс. руб.				
	2011	2012	2013	2014	2015
Выручка от реализации продукции, тыс. руб.	429117	423073	453293	537907	580214
Сырье и материалы	27200	26817	28733	34096	36778
Затраты на оплату труда	161507	159232	170606	202452	218375
Топливо	12066	11896	12745	15125	16314
Электроэнергия	40541	39970	42825	50818	54815
Производственная себестоимость	241313	237914	254908	302491	326282
Управленческие расходы	84460	83270	89218	105872	114199
Хозяйственные расходы	48263	47583	50982	60498	65256
Прочие расходы	14479	14275	15294	18149	19577
Накладные расходы	147201	145128	155494	184519	199032
Совокупная стоимость проиводства	388514	383042	410402	487010	525314
Прибыль (до налогообложения)	40603	40031	42891	50897	54900
Налоги	8121	8006	8578	10179	10980
Прибыль (чистая)	32483	32025	34313	40718	43920
Добавленная стоимость	401917	396256	424560	503811	543437

Таблица 2

Технологическая матрица производства кластера

Technological matrix of cluster production

Экономические показатели		Продукция, разделенная по пяти предприятиям кластера												Стоимость 1 ед.	Ресурсы
		1		2		3		4		The parent company					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Стоимость одного изделия	1	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	2	0	690	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	3	0	0	320	320	0	0	0	0	0	0	0	0		
	4	0	0	0	0	700	980	0	0	0	0	0	0		
	5	0	0	0	0	0	0	200	350	0	0	0	0		
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	410	760	420	660		
Материальные ресурсы	1	0.805	1.135	0.032	0.026	0.039	0.026	0.039	1.109	0.0011	0.034	0.12	0.235	60.0	660
	2	0.396	0.198	0.002	0.0011	0.0008	0.001	0.0040	0.037	0	0	0.016	0.033	7.0	166
	3	0.132	0.264	0.013	0.003	0.015	0.085	0.014	0.211	0.304	0.528	1.188	1.452	6.0	745
	4	0.008	0.024	0.002	0.003	0	0	0.001	0.004	0.014	0.215	0.001	0.001	391.0	40
Труд	5	19.853	37.22	15.84	20.196	23.8	26.73	13.6	27.1	14.52	27.21	22.44	37.0	3.0	29318
	6	2.046	2.904	2.904	1.769	1.135	1.32	0.66	1.373	1.32	2.98	1.32	2.772	2.8	3300
Энергия	7	29.3	31.41	18.22	18.61	35.24	35.9	2.11	2.76	2.376	5.67	8.184	8.05	5.0	20224
Тепловая энергия	8	0.396	0.528	0.528	0.264	1.98	3.49	0.92	0.17	1.294	1.37	1.32	2.64	53.0	1927
Предпр. 1	9	0.026	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55.0	72
Предпр. 2	10	0	0.158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55.0	103
Предпр. 3	11	0	0	0.0026	0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	7.0	21
Предпр. 4	12	0	0	0	0	0.132	1.06	0	0	0	0	0	0	108.0	176
Предпр. 5	13	0	0	0	0	0	0	0.026	0.33	0	0	0	0	55.0	221
Предпр. 6	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1.06	1.72	0.396	0.528	88.0	552

Примечание. Представленный кластер можно трактовать, во-первых, как отрасль, которая имеет Q предприятий, во-вторых, как регион, который включает Q отраслей, т. е. различные социально-экономические системы.

– доработать программное обеспечение для решение задачи, которая лежит в основе математической модели (например, в системе Matlab);

– выполнить моделирование и сформировать прогноз развития корпорации и ее предприятий на соответствующий период планирования.

В совокупности эти шаги определяют организацию управления кластером.

Построение математической модели производственного плана

Сначала построим математическую модель корпорации в стандартном виде с векторным критерием, затем – математическую модель корпорации в виде векторной задачи линейного программирования, в которой учитываются экстенсивные и интенсивные факторы развития производства.

Построение математической модели корпорации с векторным критерием. Для построения математической модели развития корпорации определим вектор неизвестных, цели (критерии) развития кластера и его предприятий, ограничения по материальным, трудовым ресурсам.

В векторе переменных,

$$X(t) = \{X_q(t) = \{x_j(t), j = \overline{1, N_q}\}, \ q \in \boldsymbol{Q}\}, \quad (1)$$

каждая компонента $x_j(t)$ определяет вид $j = \overline{1, N_q}$, $\boldsymbol{N_q} \subset \boldsymbol{N}$ и объем $x_j(t)$ изделий, включаемых в производство в планируемом году $t \in \boldsymbol{T}$. $\boldsymbol{N_q}$, $\boldsymbol{N}$ – множество видов изделий, работ, услуг, выполняемых каждым предприятием $q \in \boldsymbol{Q}$ и корпорацией в целом. На объемы изделий $x_j(t)$, $j \in N$ наложены ограничения u_j, $j \in N$, которые определяют вероятностный объем продукции j-го вида. Ограничения u_j, $j \in \boldsymbol{N}$ получены службой маркетинга при исследовании рынка товаров, производящихся фирмой, т. е. $x_j(t) \le u_j(t), j = \overline{1, N}$.

Векторный критерий $F(X(t)) = \{f_k(X(t)),$ $k = \overline{1, K}\}$ характеризует цели функционирования $\boldsymbol{Q}$ предприятий (подсистем) и всю экономическую систему е в целом. $F(X(t))$ включает два подмножества критериев: первое подмножество $F_q(X(t))$ – это векторный критерий, определяющий цели функционирования $\boldsymbol{Q}$ подразделений (1); второе подмножество $F_1(X(t))$ характеризует системные показатели $\forall q \in \boldsymbol{Q}$, $f_{kq}(X(t)) = \sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t)$, которые определяют цели отдельного предприятия (c_j^k – величина k-го показателя единицы j-го вида продукции). Подмножество системных показателей $F_1(X(t))$ включает три критерия:

1) доход предприятия:

$$f_k(X(t) = \sum_{j=1}^{N} p_j x_j, \ k \in \boldsymbol{K}, \quad (2)$$

где p_j, $j = \overline{1, N}$ – стоимость единицы продукции j-го вида;

2) прибыль от реализации продукции по предприятию:

$$\pi = f_k(X(t)) = \sum_{j=1}^{N} \pi_j x_j, \ k \in \boldsymbol{K},$$

$$\pi_j = p_j - a_j\,(t), j = \overline{1, N}, \quad (3)$$

где π_j, $j = \overline{1, N}$ – прибыль от единицы изделия j-го вида, a_j – его себестоимость;

3) добавленная стоимость единицы изделия определяется как разность добавленной стоимости $p_j^{\text{доб}}$ и материальных затрат продукции $a_j^{\text{мат}}(t)$:

$$p_j^{\text{доб}} = p_j - a_j^{\text{мат}}(t), \ \ j = \overline{1, N}. \quad (4)$$

В целом, векторный критерий характеризует все экономические показатели:

$$F(X(t)) = \{f_k(X(t)) = \sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t), \quad (5)$$
$$k = \overline{1, K}\}, \ \ \boldsymbol{K} = \boldsymbol{Q} + 3.$$

Ограничения на ресурсы подразделяются на глобальные (для корпорации в целом) и локальные (для каждого предприятия) – множество ресурсов $\boldsymbol{M}$; подмножество трудовых ресурсов $\boldsymbol{M}_{\text{тр}} \subset \boldsymbol{M}$; множество материально-технических ресурсов $\boldsymbol{M}_{\text{мат}} \subset \boldsymbol{M}$; производственные мощности $\boldsymbol{M_f} \subseteq \boldsymbol{M}$:

$$\sum_{j=1}^{N} a_{ij}(t) x_j(t) \le b_i(t), \quad i = \overline{1, M},$$
$$\sum_{j=1}^{N_q} a_{ij}^q(t) x_j(t) \le b_i^q(t), \ \ i = \overline{1, M_q}, \ \ q = \overline{1, Q}, \quad (6)$$

где $a_{ij}(t)$, $a_{ij}(t)$, $i = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, N}$ – объем i-го ресурса, необходимый для производства j-го вида изделия (технологическая информация); $b_i(t)$, b_i^q – объем i-го ресурса на планируемый период по фирме в целом и на q-м подразделении; $\boldsymbol{M_q}$ представляет множество видов ресурсов q-го подразделения.

Целенаправленность корпорации (2), (3), (4) и ее подразделений (5) с учетом (6) представим векторной задачей линейного программирования, [17, 18]:

$$\text{opt } F(X(t)) = \{F_q(X(t)) = \{\{\max f_{kq}(X(t)) \equiv$$

$$\equiv \sum_{j=1}^{N_q} c_j^k x_j(t),\ k = \overline{1, K_q},\ q = \overline{1, Q}\}, \quad (7)$$

$$F_1(X(t)) = \{\max f_k(X(t)) \equiv$$

$$\equiv \sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t),\ k = \overline{1, K_1}\}, \quad (8)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{N} a_{ij}(t) x_j(t) \le b_i(t),\ i = \overline{1, M},$$

$$\sum_{j=1}^{N_q} a_{ij}^q(t) x_j(t) \le b_i^q(t),\ i = \overline{1, M_q},\ q = \overline{1, Q}, \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t) \ge b_k(t),\ k \in K, \quad (10)$$

$$x_{jv}(t) = x_{jg}(t),\ j_v \in K,\ j_g \in K,\ x_j(t) \le u_j(t),$$
$$j = \overline{1, N_q},\ q = \overline{1, Q},\ t = \overline{1, T}, \quad (11)$$

где (10) – ограничения по экономическим показателям; $x_{jv}(t) = x_{jg}(t)$, $j_v \in K$, $j_g \in K$ – равенства, определяют взаимосвязь продукции $x_{jv}(t)$, выпускаемой вспомогательными (v) и головным предприятием (g) $x_{jg}(t)$, [8];

$x_j(t) \le u_j(t)$, $j = \overline{1, N_q}$, $q = \overline{1, Q}$ – ограничения по маркетинговым исследованиям, $u_j(t)$, $j = \overline{1, N}$, $t = \overline{1, T}$ характеризуют объемы товаров предполагаемо востребованных рынком за $t = \overline{1, T}$ лет [17, 18].

Математическая модель корпорации с учетом экстенсивных и интенсивных факторов развития производства. Задача (7)–(11) рассматривает управление доходами в статике (на 1 год). При стратегическом развитии корпорации в динамике (на несколько лет) в задаче (7)–(11) должны учитываться, во-первых, экстенсивные факторы [17]:

$$b_i(t+1) = b_i(t) + \Delta b_i(t+1),\ i \in M_p,$$
$$(t,\ t+1) \in T. \quad (12)$$

Во-вторых, интенсивные факторы [17, 18] развития производства:

$$\Delta a_{ij}(t+1) = a_{ij}(t) - a_{ij}(t+1),$$
$$j = \overline{1, N},\ i = \overline{1, M}_{\text{тр}},\ M_{\text{тр}} \subset M,\ t \in T. \quad (13)$$

Факторы интенсивного роста – производительности труда, снижения материалоемкости, увеличения фондоотдачи определяют инновационное развитие.

При развитии производства (мощностей) необходимо учитывать износ $\Delta b_i^{\text{ф изн}}(t+1)$, $i = \overline{1, M}_{\text{фонд}}$, $M_{\text{фонд}} \subset M$. Увеличение производственных мощностей осуществляется за счет амортизационных отчислений $\Delta b_i^{\text{аморт}}(t+1)$, инвестиций $\Delta b_i(t+1)$ в производственные мощности. Предполагаем в дальнейшем, что износ основных фондов покрывается за счет амортизационных отчислений:

$$\Delta b_i^{\text{ф изн}}(t+1) = \Delta b_i^{\text{аморт}}(t+1),\ i = \overline{1, M}_{\text{фонд}}.$$

Мы используем экономические показатели (2)–(4), которые определяют целенаправленность корпорации в качестве критерия. Учитывая как экстенсивные (12), так и интенсивные факторы роста производительности труда, материалоемкости изделия, увеличения фондоотдачи (13), преобразуем модель (7)–(11) в динамическую математическую модель на период времени $t = \overline{1, T}$ лет.

Математическую модель стратегического плана инновационного развития кластера представим векторной задачей линейного программирования [17, 18]:

$$\text{opt } F(X(t)) = \{F_q(X(t)) = \{\{\max f_{kq}(X(t)) \equiv$$

$$\equiv \sum_{j=1}^{N_q} c_j^k x_j(t),\ k = \overline{1, K}_q\},\ q = \overline{1, Q}\}, \quad (14)$$

$$F_1(X(t)) = \{\max f_k(X(t)) \equiv \sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t),$$

$$k = \overline{1, K_1}\}, \quad (15)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{N}(a_{ij}(t)x_j(t)) - \Delta a_{ij}(t+1))\ x_j(t) \le (b_i(t) +$$

$$+ \Delta b_i(t+1)),\ i = \overline{1,M},\ M_{\text{тр}} \subset M,\ M_{\text{мат}} \subset M, \quad (16)$$

$$\sum_{j=1}^{N}(a_{ij}^{f}(t)x_j(t) - \Delta a_{ij}^{f}(t+1))\ x_j(t) \le (b_i^{f}(t) -$$

$$- \Delta b_i^{f\,\text{ф изн}}(t+1) + \Delta b_i^{f}(t+1)),\ i = \overline{1,M}_{\text{фонд}}, \quad (17)$$

$$\sum_{j=1}^{N_q}(a_{ij}^{q}(t) - \Delta a_{ij}(t+1))x_j(t) \le (b_i^{q}(\text{t}) + \Delta b_i(t+1)),$$

$$i = \overline{1,M_q},\ q = \overline{1,Q}, \quad (18)$$

$$\sum_{j=1}^{N} c_j^k x_j(t) \ge b_k(t),\ k \in K, \quad (19)$$

$$x_{jv}(t) = x_{jg}(t),\ j_v \in K,\ j_g \in K,\ x_j(t) \le u_j(t),$$
$$j = \overline{1,N_q},\ q = \overline{1,Q},\ t = \overline{1,T}. \quad (20)$$

Математическая модель (14)–(20), таким образом, по существу является моделью стратегического плана инновационного развития кластера. Для решения векторной задачи (14)–(20) используются методы, основанные на нормализации критериев и принципе гарантированного результата [18].

Решение векторной задачи математического программирования

Решим векторную задачу (14)–(20) при равнозначных критериях.

Метод основан на использовании нормализации критериев и принципа гарантированного результата [17, 18], который включает ряд шагов.

1. Решаем задачу по каждому критерию отдельно (14)–(15).

Результат: точка оптимума X_k^*, $k = \overline{1,K}$, и критерии $f_k^* = f_k(X_k^*)$, $k = \overline{1,K}$.

2. Определяем антиоптимум (наихудшую величину критерия):

$$f_k^{\text{o}},\ k = \overline{1,K}.$$

3. Выполняем системный анализ оптимальных точек X_k^*, $k = \overline{1,K}$. Определяются матрицы критериев $\Phi(X^*) = \left\| f_q(X_k^*) \right\|_{q=\overline{1,K}}^{k=\overline{1,K}}$ и относительных оценок: $\Lambda(X^*) = \left\| \lambda_q(X_k^*) \right\|_{q=\overline{1,K}}^{k=\overline{1,K}}$,

где $\lambda_k(X) = \dfrac{f_k(X) - f_k^o}{f_k^* - f_k^o}$, $k = \overline{1,K}$, $X \in \boldsymbol{S}$.

4. Построение λ-задачи, которое осуществляем в два этапа. На первом этапе строим максиминную задачу оптимизации с нормализованными критериями:

$$\lambda^{\text{o}} = \max_x \min_k \lambda_k(X),\ G(X) \le B,\ X \ge 0, \quad (21)$$

которая на втором этапе преобразуется в λ-задачу, см. [18]:

$$\lambda^{\text{o}} = \max \lambda, \quad (22)$$

$$\lambda - \frac{f_k(X(t)) - f_k^0}{f_k^* - f_k^0} \le 0,\ k - \overline{1,K}, \quad (23)$$

$$G(X) \le B,\ X \ge 0, \quad (24)$$

где вектор неизвестных $X = \{\lambda, x_1, \dots, x_N\}$ имеет размерность $N + 1$.

5. Решение λ-задачи (22)–(24). λ-задача – это стандартная (однокритериальная) задача линейного программирования.

В результате решения λ-задачи получим:

1) точку оптимума $X^{\text{o}} = \{X_q^{\text{o}} = \{x_j, j = \overline{1,N_q}$, $q = \overline{1,Q}\}$, характеризующую номенклатуру и объемы продукции по фирме в целом и Q предприятий:

$$F_q^p = \{f_q(X^o(t)) = f_{kq}(X_q^o(t)) \equiv$$
$$\equiv \sum_{j=1}^{N_q} c_j^k x_j(t),\ k = \overline{1,K_q}\},\ q = \overline{1,Q},$$

где $f_q(X^{\text{o}}(t))$ – экономические показатели планируемых объемов продукции X_q^{o} подразделений; $F_1(X^{\text{o}}(t))$ – системные экономические показатели по фирме в целом;

2) λ^{o} – максимальную относительную оценку, для которой выполняются неравенства

$$\lambda^{\text{o}} \le \lambda_k(X^{\text{o}}(t)),\ k = \overline{1,K_1},$$
$$\boldsymbol{K}_1 \subset \boldsymbol{K},\ X(t) \subset S. \quad (25)$$

λ^{o} является также максимальным нижним уровнем для всех оценок $\lambda_k(X^{\text{o}}(t))$, $k = \overline{1,K}$, измеренных в относительных единицах:

$$\lambda^{\text{o}} = \max_x \min_k \lambda_k(X^{\text{o}}). \quad (26)$$

Таблица 3

Затраты: по материальным, трудовым ресурсам и мощностям (руб.)

Costs: for material, labor and capacity (rub.)

Экономические показатели	Стоимость, затраты по ресурсам на одно изделие											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Стоимость	510.0	690.0	320.0	320.0	700.0	980.0	200.0	350.0	410.0	760.0	420.0	660.0
Затраты полные	465.64	634.35	285.8	282.4	599.6	908.8	171.4	315.0	367.1	694.6	372.7	593.8
Прибыль (до налогообложения)	44.360	55.640	34.180	37.620	100.42	71.180	28.610	35.030	42.910	65.430	47.260	66.16
Налоги 20 %	8.87	11.128	6.836	7.525	20.084	14.237	5.722	7.008	8.582	13.088	9.452	13.233
Прибыль (чистая)	35.4870	44.514	27.345	30.103	80.335	56.95	22.889	28.033	34.33	52.352	37.82	52.94
Добавленная стоимость	455.01	609.54	317.20	317.24	697.56	977.92	197.15	280.37	402.64	670.72	405.23	636.56

Точка X^o оптимальна по Парето в соответствии с теоремой 5 [18].

В векторной задаче линейного программирования (25)—(30) подмножества критериев $\boldsymbol{Q} \subset \boldsymbol{K}$ являются независимыми [18], отсюда выполняются равенства

$$\lambda^o = \lambda_q(X^o(t)),\ q = \overline{1,Q},\quad Q \subset K,\ X(t) \subset S. \tag{27}$$

Создание числовой модели производственного плана кластера

Формирование численных значений экономических показателей корпорации (*цифровая экономика*). Для формирования математической модели корпорации в виде векторной задачи (14)—(20) необходимы числовые значения экономических показателей: стоимостей всех изделий, ресурсных затрат на эти изделия, чистой прибыли, добавочной стоимости. Эти экономические показатели с использованием данных табл. 2 сформированы в табл. 3.

Численные значения экономических показателей: стоимостей, ресурсных затрат, чистой прибыли, добавочной стоимости используем при построении математической модели кластера.

Построение численной модели инновационного развития кластера (*цифровая постановка задачи*). Перед управляющим корпорации стоит задача выбора оптимальной номенклатуры и объемов продукции с оптимальными экономическими показателями как для вспомогательных $q = \overline{1,5}$, так и для головного $q = 6$ предприятий. Эту целенаправленность с учетом рассчитанных критериев (см. табл. 3) сформируем как векторную задачу линейного программирования (14)—(20) для кластера:

$$\text{opt } F(X(t)) = \{\max f_1(X_1(t)) \equiv 510.0x_1(t), \tag{28}$$

$$\max f_2(X_2(t)) \equiv 690.0x_2(t), \tag{29}$$

$$\max f_3(X_3(t)) \equiv 320.0x_3(t) + 320.0x_4(t), \tag{30}$$

$$\max f_4(X_4(t)) \equiv 700.0x_5(t) + 980.0x_6(t), \tag{31}$$

$$\max f_5(X_5(t)) \equiv 200.0x_7(t) + 350.0x_8(t), \tag{32}$$

$$\max f_6(X_6(t)) \equiv 410.0x_9(t) + 760.0x_{10}(t) + 420.0x_{11}(t) + 660.0x_{12}(t), \tag{33}$$

$$\max f_7(X(t)) \equiv 510.0x_1(t) + 690x_2(t) + 320.0x_3(t) + 320x_4(t) + 700x_5(t) + 980x_6(t) + 200.0x_7(t) + 350x_8(t) + 410x_9(t) + 760.0x_{10}(t) + 420x_{11}(t) + 660.0x_{12}(t), \tag{34}$$

$$\max f_8(X(t)) \equiv 35.49x_1(t) + 44.512x_2(t) + 27.35x_3(t) + 30.11x_4(t) + 80.34x_5(t) + 56.941x_6(t) + 22.89x_7(t) + 28.03x_8(t) + 34.33x_9(t) + 52.35x_{10}(t) + 37.81x_{11}(t) + 52.94x_{12}(t)\}, \tag{35}$$

$$\max f_9(X(t)) \equiv 455.1x_1(t) + 609.5x_2(t) + 317.2x_3(t) + 317.2x_4(t) + 697.5x_5(t) + 978x_6(t) + 197.2x_7(t) + 280.3x_8(t) + 402.6x_9(t) + 670.7x_{10}(t) + 405.3x_{11}(t) + 636.51x_{12}(t)\}, \tag{36}$$

при ограничениях

$$0.805x_1(t) + 1.136x_2(t) + 0.033x_3(t) + 0.0261x_4(t) + 0.04x_5(t) + 0.026x_6(t) + 0.0391x_7(t) + 1.109x_8(t) + 0.0011x_9(t) + 0.0341x_{10}(t) + 0.121x_{11}(t) + 0.236x_{12}(t) \le 660.0, \quad (37)$$

$$0.396x_1(t) + 0.199x_2(t) + 0.0021x_3(t) + 0.0012x_4(t) + 0.0008x_5(t) + 0.0011x_6(t) + 0.004x_7(t) + 0.0371x_8(t) + 0x_9(t) + 0.0x_{10}(t) + 0.016x_{11}(t) + 0.0331x_{12}(t) \le 166.0, \quad (38)$$

$$0.133x_1(t) + 0.2643x_2(t) + 0.013x_3(t) + 0.0031x_4(t) + 0.015x_5(t) + 0.0876x_6(t) + 0.0141x_7(t) + 0.212x_8(t) + 0.305x_9(t) + 0.529x_{10}(t) + 1.189x_{11}(t) + 1.453x_{12}(t) \le 745.0, \quad (39)$$

$$0.008x_1(t) + 0.0241x_2(t) + 0.002x_3(t) + 0.0031x_4(t) + 0.0x_5(t) + 0.0x_6(t) + 0.001x_7(t) + 0.0041x_8(t) + 0.0141x_9(t) + 0.215x_{10}(t) + 0.0011x_{11}(t) + 0.0011x_{12}(t) \le 40.0, \quad (40)$$

$$19.85x_1(t) + 37.21x_2(t) + 15.8x_3(t) + 20.21x_4(t) + 23.8x_5(t) + 26.74x_6(t) + 13.61x_7(t) + 27.1x_8(t) + 14.51x_9(t) + 27.22x_{10}(t) + 22.44x_{11}(t) + 37.1x_{12}(t) \le 29318, \quad (41)$$

$$2.046x_1(t) + 2.905x_2(t) + 2.905x_3(t) + 1.77x_4(t) + 1.136x_5(t) + 1.321x_6(t) + 0.66x_7(t) + 1.373x_8(t) + 1.321x_9(t) + 2.99x_{10}(t) + 1.321x_{11}(t) + 2.773x_{12}(t) \le 3300.0, \quad (42)$$

$$29.31x_1(t) + 31.42x_2(t) + 18.22x_3(t) + 18.62x_4(t) + 35.24x_5(t) + 35.91x_6(t) + 2.12x_7(t) + 2.761x_8(t) + 2.376x_9(t) + 5.671x_{10}(t) + 8.184x_{11}(t) + 8.051x_{12}(t) \le 20224, \quad (43)$$

$$0.396x_1(t) + 0.529x_2(t) + 0.529x_3(t) + 0.264x_4(t) + 1.981x_5(t) + 3.5x_6(t) + 0.921x_7(t) + 0.171x_8(t) + 1.294x_9(t) + 1.371x_{10}(t) + 1.321x_{11}(t) + 2.641x_{12}(t) \le 1927.0, \quad (44)$$

$$0.026x_1(t) \le 72.0,\ 0.158x_2(t) \le 103.0,\ 0.0026x_3(t) + 0.005x_4(t) \le 21.0,\ 0.132x_5(t) + 1.06x_6(t) \le 176.0,\ 0.026x_7(t) + 0.33x_8(t) \le 221.0,\ 1.061x_9(t) + 1.721x_{10}(t) + 0.396x_{11}(t) + 0.528x_{12}(t) \le 552.0, \quad (45)$$

$$-1x_1(t) + 1x_9(t) = 0.0,\ -1x_2(t) + 1x_{10}(t) = 0.0,\ -1x_3(t) + 1x_{10}(t) = 0.0,\ -1x_5(t) + 1x_{11}(t) = 0.0,\ -x_7(t) + 1x_{12}(t) = 0.0, \quad (46)$$

$$10.0 \le x_1(t) \le 2500,\ 10.0 \le x_2(t) \le 2500,\ ...,\ 10.0 \le x_{11}(t) \le 2500,\ 10.0 \le x_{12}(t) \le 2500, \quad (47)$$

где в последних строках приведены ограничения, связанные с кластерными связями между пятью и головным предприятиями; маркетинговыми ограничениями, минимальными и максимальными значениями переменных.

В векторной задаче (28)–(47) сформулированно следующее: требуется найти неотрицательные значения переменных $x_1,..., x_{12}$ в системе неравенств (37)–(47) такие, при которых множество критериев $f_1(X),..., f_9(X)$ принимают максимально возможное значение.

Формирование годового плана промышленного кластера. Моделирование и формирование годового плана кластера представляет многократное решение векторной задачи (37)–(47) с равнозначными критериями. Программное обеспечение для решения векторной задачи разработано в системе Matlab, что позволяет решать ВЗЛП (37)–(47) с различными исходными данными (simulation).

Алгоритм решения линейной векторной задачи следующий.

disp(' ***Шаг* 0**. Исходные данные задачи (37)–(47)')

Формируется: c – матрица векторной целевой функции, табл. 1, 3; a – матрица линейных ограничений, табл. 1; b – вектор-столбец, представляет ограничения (b_i), табл. 1; Aeq = [], beq = [] – ограничения типа равенства; lb = [10. 10. ... 10.]; ub = [2500. 2500. ... 2500.] – это нижние и верхние границы переменных соответственно;

disp(' ***Шаг*** 1. Оптимальное решение по каждому критерию ').

$[x1, f1] = linprog(c(1,:),a,b,Aeq,beq,lb,ub)$

Как результат решения по первому критерию получим: $x1 = X_1^* = \{x_1 = 411.81, x_2 = 10.0, x_3 = 10.0, x_4 = 10.0, x_5 = 10.0, x_6 = 10.0, x_7 = 10.0, x_8 = 10.0, x_9 = 411.8, x_{10} = 10.0, x_{11} = 10.0, x_{12} = 10.0\}$ – объемы продукции, которые выпускаются первым предприятием; $f1 = f_1^* = 210020$ представляет объем продаж, полученный от реализации объемов продукции X_1^*.

Аналогично представлены расчеты по остальным предприятиям.

disp('***Шаг* 2**. Решение по каждому критерию (антиоптимум) ').

Функция *linprog*(...) представлена следующим образом:

[*X*1min, *F*1min] = *linprog*(-1**c*(1,:),*a*,*b*,*Aeq*, *beq*,*lb*,*ub*). В результате решения получили: $X1\min = X_1^o = \{x_1 = 10.0, ..., x_9 = 10.0, ...\}$, $F1\min = f_1^o = 5100.0$. Также получены результаты решения по остальным критериям $k = \overline{2,9}$.

disp('***Шаг* 3**. Системный анализ критериев векторной задачи').

В точках оптимума $X_1^*, ..., X_9^*$, полученных на первом шаге, определяются величины критериев $F(X^*) = \{\{f_q(X_k^*),\ k = \overline{1,K}\},\ q = \overline{1,K}$, $\boldsymbol{K} = 9\}$, а также относительных оценок $\lambda(X^*) = \{\{\lambda_q(X_k^*),\ k = \overline{1,K}\},\ q = \overline{1,K}\}$.

В точках оптимума $X_1^*, ..., X_9^*$ относительные оценки по диагонали равны единице (100 %): $\lambda_k(X_k^*) = 1,\ k = \overline{1,K}$. Отсюда задача состоит в том, чтобы найти точку X^o, которая представляет объемы продаж, при которых нижний относительный уровень λ был как можно ближе к единице (к оптимуму по каждому критерию). На решение этой проблемы направлена λ-задача.

disp('***Шаг* 4**. Формирование, решение λ-задачи').

В численном виде, используя данные (37)–(47), λ-задача примет вид:

$$\lambda^o = \max \lambda; \tag{48}$$

ограничения:

$$\lambda - \frac{510x_1(t) - f_1^0}{f_1^* - f_1^0} \le 0, \dots \lambda - $$
$$- \frac{455,0x_1(t) + ... + 636,5x_{12}(t) - f_9^0}{f_9^* - f_9^0} \le 0, \tag{49}$$

а также ограничения (40)–(50). (50)

Функция: *linprog*(...): [*x*0,*L*0] = *linprog*(*c*0,*ao*, *bo*,*Aeq*,*beq*,*lbo*,*ubo*).

Как результат решения получим:

– оптимальную точку: $X^o = x0 = \{L0 = 0.3532$, $x_1 = 151.9$, $x_2 = 64.6$, $x_3 = 64.6$, $x_4 = 301.6$, $x_5 = 10.0$, $x_6 = 132.6$, $x_7 = 41.3$, $x_8 = 220.2$, $x_9 = 151.9$, $x_{10} = 64.6$, $x_{11} = 10.0$, $x_{12} = 41.3\}$, которая характеризует номенклатуру и объемы изделий, предполагаемых к выпуску в планируемом году;

– максимальную относительную оценку: $\lambda^o = L0 = 0.\ 3532$ в точке X^o;

– величины всех критериев в этой точке оптимума $f_k(X^o)$, $k = \overline{1,10}$: $f_1(X^o) = 77480.0$, $f_2(X^o) = 44590.0$, $f_3(X^o) = 117210.0$, $f_4(X^o) = 136960.0$, $f_5(X^o) = 85310.0$, $f_6(X^o) = 142830.0$, $f_7(X^o) = 604390.0$, $f_8(X^o) = 45750$, $f_9(X^o) = 151100$, $f_{10}(X^o) = 566080$, где $f_1(X^o)$, ... , $f_6(X^o)$ – объемы продаж по каждому предприятию, $f_7(X^o)$ – объем продаж корпорации в целом, $f_8(X^o)$ – прибыль фирмы, $f_9(X^o)$ – добавленная стоимость фирмы, $f_{10}(X^o)$ – налоги, определяющие социальную направленность для региона;

– величины относительных оценок по каждому критерию $\lambda_k(X^o)$, $k = \overline{1,9}$: $\lambda_1(X^o) = 0.35321$, ... , $\lambda_6(X^o) = 0.35321$, $\lambda_7(X^o) = 0.8475$, $\lambda_8(X^o) = 0.7063$, $\lambda_9(X^o) = 0.8314$.

Относительная оценка $\lambda^o = 0.3532$ показывает, что независимые критерии, (критерии всех предприятий фирмы), измеренные в относительных единицах, подняты до величины $\lambda^o = \min_{k\in K} (\lambda_k(X^o))$ и равны $\lambda_k(X^o)$, $k = \overline{1,5}$. Это подтверждает теорема 1 [20]. Остальные критерии равны или больше λ^o:

$$\lambda^o \le \lambda_k (X^o(t)),\ k = \overline{7,9}:\ \lambda_7(X^o) = 0.74939,$$
$$\lambda_8(X^o) = 0.3772,\ \lambda_9(X^o) = 0.72071.$$

Таким образом, максимальная относительная оценка λ^o является гарантированным результатом, а также выполняет условия теоремы о независимых критериях [18].

Анализ результатов, принятие окончательного решения по годовому плану. Методология анализа результатов представлена в [18].

Моделирование стратегического плана развития предприятия

Этап 1. Формирование годового плана (представлено выше).

Этап 2. Формирование стратегического плана (экстенсивные факторы).

Численное моделирование формирования стратегического плана на основе модели (37)–(47) и соответствующей λ-задачи на период $t = \overline{1,T}$ см. табл. 4.

Модель кластера в виде ВЗМП (37)–(47) и соответствующей λ-задачи (48)–(50) рассчитывалась на пять лет и представлена в виде табл. 5.

Таблица 4

Расчет ресурсов на первый, второй и третий год стратегического плана

Calculation of resources for the first, second and third year of the strategic plan

Ресурс	Первый год			Второй год			Третий год		
	Наличие ресурса b_i	Затраты ресурсов R_i	Остатки ресурсов $\Delta R_i = b_i - R_i$	Наличие ресурса b_i	Затраты ресурсов R_i	Остатки ресурсов $\Delta R_i = b_i - R_i$	Наличие ресурса b_i	Затраты ресурсов R_i	Остатки ресурсов $\Delta R_i = b_i - R_i$
1	660,0	468,0	191,60	660,0	481,0	178,80	660,0	492,0	167,60
2	166,0	83,0	82,6	166,0	86,0	80,3	166,0	88,0	78,3
3	745,0	249	495,6	745	255	489,5	745	261	484,1
4	40,0	21	19,2	40	21	18,6	40	22	18,2
5	29318	28563	754,6	29318	29318	0,0	30783	2,9988	795,6
6	3300,0	2256	1043,6	3300	2316	983,9	3300	2369	930,9
7	20224	20224	0,0	21235	20760	475,6	21235	2,1235	0,0
8	1927,0	1173,0	753,8	1927	1203	723,7	1927	1230	697,0
9	72,0	4,0	68,0	72,0	4,0	67,9	72,0	4,0	67,8
10	103,0	10,0	92,8	103,0	10,0	92,5	103,0	11,0	92,3
11	21,0	2,0	19,3	21,0	2,0	19,2	21,0	2,0	19,2
12	176	141,0	34,6	176,0	145,0	30,8	176,0	149,0	27,4
13	221,0	74,0	147,3	221,0	76,0	145,2	221,0	78,0	143,3
14	552,0	468,0	254,9	552,0	305,0	247,2	552,0	311,0	240,5

Таблица 5

Прогноз объема производства на пять лет (экстенсивные факторы)

Forecast of production volume for five years (extensive factors)

Год	Продажи предприятий $q = \overline{1,Q}$						Фирма в целом			
	1	2	3	4	5	6	Продажи	Налоги	Прибыль	Добавл. стоим.
1	77480	44590	117210	136960	85310	142830	604390	45750	566080	11440
2	79610	45700	120460	140490	87650	146370	620280	46940	580940	11740
3	81500	46680	123350	143620	89730	149500	634390	48000	594140	12000
4	83740	47850	126780	147340	92200	153230	651140	49270	609820	12320
5	85710	48880	12980	15060	94380	156510	665880	50370	623610	12590

Также рассчитывается объем производства в относительных единицах (темпы роста) с учетом экстенсивных факторов. Основные экономические показатели стратегического плана (цифровая экономика) с учетом статистических данных представлены в табл. 6.

Эти данные – объем продаж, чистая прибыль, налоги, добавленная стоимость с учетом статистических данных по кластеру представлены графически на рис. 1.

Этап 3. Формирование стратегического плана кластера с учетом экстенсивных и интенсивных технологий. В стратегическом плане предприятия в модели (31)–(50) примем: $k_{\text{темп}} = 0.05$ (5%), $k_{\text{темп In}} = 0.03$ (3 %). Результат см. табл. 7.

Таблица 6

Статистические данные и прогноз объема продаж, чистой прибыли, добавленной стоимости, налогов

Statistical data and forecast of sales volume, net profit, value added, taxes

Год	Продажи	Чистая прибыль	Добавленная стоимость	Налоги
2011	429116,9	32482,5	401916,8	8128,1
2012	423073,0	32025,0	396256,0	8013,6
2013	453292,5	34312,5	424560,0	8586,0
2014	537907,1	40717,5	503811,2	10188,7
2015	580214,4	43920,0	543436,8	10990,1
2016	**604390**	**45750**	**566080**	**11447,5**
2017	**620280**	**46940**	**580940**	**11735**
2018	**634390**	**48000**	**594140**	**12000**
2019	**651140**	**49270**	**609820**	**12317,5**
2020	**665880**	**50370**	**623610**	**12592,5**

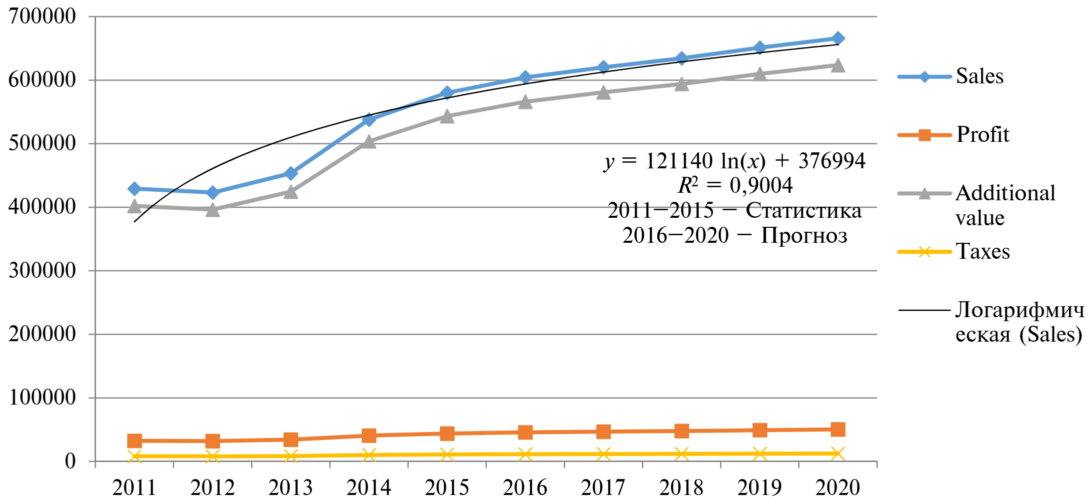

Рис. 1. Прогноз и статистика объема продаж, прибыли, налогов (экстенсивных)
Fig. 1. Forecast and statistics of the volume of sales, profits, taxes (extensive)

Таблица 7

Прогноз объема производства на пять лет (экстенсивные и интенсивные факторы)

Forecast of production volume for five years (extensive and intensive factors)

Год	Продажи предприятий $q = \overline{1,Q}$						Фирма в целом			
	1	2	3	4	5	6	Продажи	Налоги	Прибыль	Добавл. стоимость
1	77480	44590	117210	136960	85310	142830	604390	45750	566080	11440
2	79610	45700	120460	140490	87650	146370	620280	46940	580940	11740
3	84100	48040	127340	147950	92600	153840	653870	49470	612370	12370
4	86420	49240	130890	151790	95160	157680	671180	50770	628570	12690
5	91260	51770	138310	159840	100500	165740	707420	53500	662480	13370

Таблица 8

Объем производства в относительных единицах (темпы роста) с учетом экстенсивных факторов

The volume of production in relative units (growth rates) taking into account extensive factors

Год	Продажи предприятий $q = \overline{1,Q}$						Фирма в целом			
	1	2	3	4	5	6	Продажи	Налоги	Прибыль	Добавл. стоимость
1	0.3532	0.3532	0.3532	0.3532	0.3532	0.3532	0.8475	0.7063	0.8314	0.7063
2	0.3636	0.3636	0.3636	0.3636	0.3636	0.3636	0.8724	0.7271	0.8558	0.7271
3	0.3855	0.3855	0.3855	0.3855	0.3855	0.3855	0.9250	0.7709	0.9074	0.7709
4	0.3968	0.3968	0.3968	0.3968	0.3968	0.3968	0.9521	0.7935	0.9340	0.7935
5	0.4205	0.4205	0.4205	0.4205	0.4205	0.4205	1.0089	0.8408	0.9897	0.8408

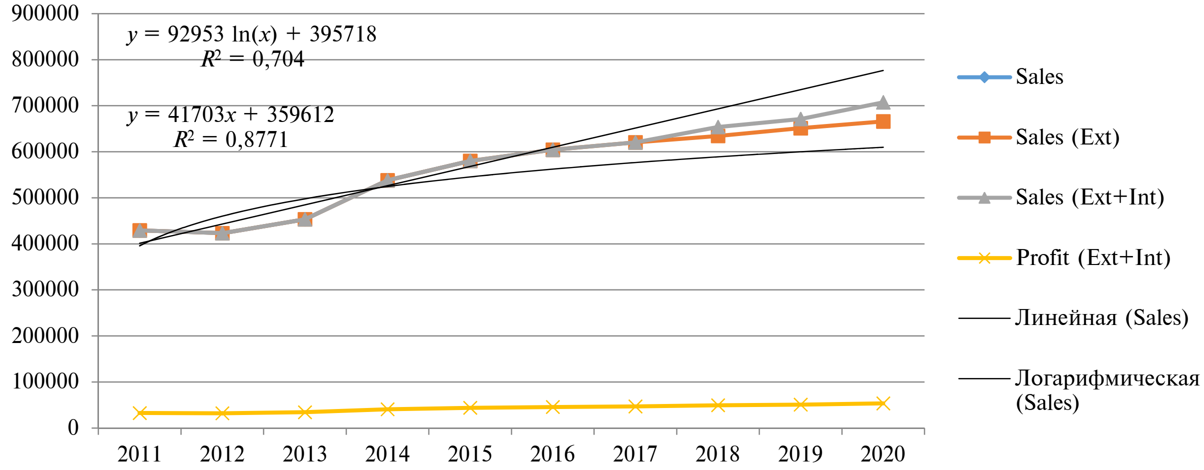

Рис. 2. Прогноз и статистика объема продаж, прибыли, налогов

Fig. 2. Forecast and statistics of sales, profits, taxes

Эти данные – объем продаж с учетом экстенсивных факторов – Sales (Ext), объем продаж с учетом экстенсивных + интенсивных факторов – Sales (Ext + Int), чистая прибыль, с учетом статистических данных по кластеру представлены графически на рис. 2.

Выводы. Исследование направлено на решение проблемы стратегического и инновационного развития кластера (корпорации) на базе цифровой информации, включающей отчетную и технологическую информацию организации производства. Для решения проблемы стратегического и инновационного развития кластера представлена математическая модель функционирования кластера в виде векторной задачи математического программирования. Для решения векторной задачи используется математический аппарат, основанный на нормализации критериев и принципе гарантированного результата. Математический аппарат позволяет, во-первых, решить одну из важнейших проблем теории фирмы – принятия оптимального решения по совокупности экономических показателей (критериев); во-вторых, цифровая модель кластера позволяет оценить динамику развития производства, экономические показатели, относительные темпы роста и в целом оценить инвестиционные вложения, необходимые для такого роста производства; в-третьих, позволяет сформировать стратегический план инновационного развития кластера, учитывающий экстенсивные и интенсивные факторы (технологии) развития производства. Построение математической модели, решение векторной задачи линейного программирования и разработанное программное обеспечение представляют новую информационную технологию (цифровую экономику) принятия оптимального решения по инновационному развитию кластера.

Направления дальнейших исследований связаны с практическим использованием информационной технологии в практике управления промышленными кластерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] **Гелбрейт Дж.** Экономическая теория и цели общества. М.: Прогресс. 1976. 230 с.

[2] **Саймон Г.** Теория принятия решений в экономической теории и науке о поведении // Теория фирмы. СПб., 1995.

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

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

[5] **Хан К.** Контроллинг. М.: Инфра-М, 2004. 572 с.

[6] **Файоль А.** Общее и промышленное управление. М.: Контроллинг, 1992. 342 с.

[7] **Kin Lo, Ramos F., Rogo R.** Earnings management and annual report readability // J. Account. Econ. 2017. No. 63. P. 1–25.

[8] **Бабкин А.В., Уткина С.А.** Формирование инновационно-промышленного кластера на осно-

ве виртуального предприятия // Экономика и управление. 2012. № 10 (84). С. 58–61.

[9] Кластерная экономика и промышленная политика: теория и инструментарий / Budner W.W., Palicki S., Pawlicka K., Анисимов С.Д., Бабкин А.В и др.: моногр. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. 523 с.

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

[11] **Потапенко А.В.** Экономика России и причины ее деиндустриализации // Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием (Санкт-Петербург, 17–22 мая 2017 г.) / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 16–28.

[12] **Семёнов В.П.** Теоретическая модель кластера и ее практические аспекты // Инновационные кластеры в цифровой экономике: теория и практика: тр. науч.-практ. конф. с зарубеж. участием (Санкт-Петербург, 17–22 мая 2017 г.) / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 102–106.

[13] **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 (Санкт-Петербург, 17–22 мая 2017 г.). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 107–114.

[14] Материалы исследования «Цифровая экономика России» РА-ЭК. URL: http://цифровая экономика.рф/#metodika (дата обращения: 11.02.2018).

[15] **Babkin A.V., Muraveva S.V., Plotnikov V.A.** Integrated industrial structures in the economy of russia: organizational forms and typology // Proceedings of the 25th International Business Information Management Association Conference – Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth, 2015. С. 1286–1293.

[16] **Урманцева А.** Цифровая экономика: как специалисты понимают этот термин. URL: https://ria.ru/science/20170616/1496663946.html

[17] **Машунин Ю.К., Машунин К.Ю.** Моделирование и практика инновационного развития промышленного кластера // Научно-технические ведомости СПбПУ. Экономические науки. 2017. Т. 10, № 4. С. 187–197. DOI: 10.18721/JE. 10418

[18] **Машунин Ю.К.** Управление экономикой региона: моногр. М.: РУСАЙНС, 2017. 342 с.

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

Статья поступила в редакцию 20.06.2018

REFERENCES

[1] **Dzh. Gelbrejt,** Jekonomicheskaja teorija i celi obshhestva. M.: Progress. 1976.

[2] **G. Sajmon,** Teorija prinjatija reshenij v jekonomicheskoj teorii i nauke o povedenii, Teorija firmy. SPb., 1995.

[3] **M. Porter,** Konkurencija: per. s angl. M.: Vil'jams, 2003.

[4] **K.K. Sio,** Upravlencheskaja jekonomika: per. s angl. M.: Infra-M, 2000.

[5] **K. Han,** Kontrolling. M.: Infra-M, 2004.

[6] **A. Fajol',** Obshhee i promyshlennoe upravlenie. M.: Kontrolling, 1992.

[7] **Lo Kin, F. Ramos, R. Rogo,** Earnings management and annual report readability, J. Account. Econ, 63 (2017) 1–25.

[8] **A.V. Babkin, S.A. Utkina,** Formirovanie innovacionno-promyshlennogo klastera na osnove virtual'nogo predprijatija, Jekonomika i upravlenie, 10 (84) (2012) 58–61.

[9] Klasternaja jekonomika i promyshlennaja politika: teorija i instrumentarij. Budner W.W., Palicki S., Pawlicka K., Anisimov S.D., Babkin A.V i dr.: monogr. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2015.

[10] **T.V. Kuladzhi, A.V. Babkin,** Matrix microforecasting of the competitiveness of innovative products in a cluster, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 6 (246) (2016) 130–147. DOI:10.5862/JE.256.12

[11] **A.V. Potapenko,** Jekonomika Rossii i prichiny ee deindustrializacii, Innovacionnye klastery v cifrovoj jekonomike: teorija i praktika: tr. nauch.-prakt. konf. s zarubezh. uchastiem (Sankt-Peterburg, 17–22 maja 2017 g.). Ed. d-r jekon. nauk, prof. A.V. Babkin. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, (2017) 16–28.

[12] **V.P. Semjonov,** Teoreticheskaja model' klastera i ejo prakticheskie aspekty, Innovacionnye klastery v cifrovoj jekonomike: teorija i praktika: tr. nauch.-prakt. konf. s zarubezh. uchastiem (Sankt-Peterburg, 17–22 maja 2017 g.). Ed. d-r jekon. nauk, prof. A.V. Babkin. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, (2017) 102–106.

[13] **I.D. Sobjanina, N.V. Frolova, M.S. Oborin,** Klaster predprijatij i ego vlijanie na konkurentosposobnost' jekonomiki regiona, Innovacionnye klastery v cifrovoj jekonomike: teorija i praktika: tr. nauch.-prakt. konf. s zarubezh. uchastiem (Sankt-Peterburg, 17–22 maja 2017 g.). SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, (2017) 107–114.

[14] Materialy issledovanija «Cifrovaja jekonomika Rossii» RA-JeK. URL: http://cifrovajajekonomika.rf/#metodika (data obrashhenija: 11.02.2018).

[15] **A.V. Babkin, S.V. Muraveva, V.A. Plotnikov,** Integrated industrial structures in the economy of russia: organizational forms and typology, Proceedings of the 25th International Business Information Management Association Conference – Innovation Vision 2020: From Regional Development Sustainability to Global Economic Growth, (2015) 1286–1293.

[16] **A. Urmanceva,** Cifrovaja jekonomika: kak specialisty ponimajut jetot termin. URL: https://ria.ru/sci ence/20170616/1496663946.html

[17] **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

[18] **Ju.K. Mashunin,** Upravlenie jekonomikoj regiona: monogr. M.: RUSAJNS, 2017.

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