



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 004.622

## БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННЫМ КЛАСТЕРОМ

И. В. НОВИКОВА, В. В. СМЕЛОВА, А. Д. ТОМКО

*Белорусский государственный технологический университет (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 23.03.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Рассмотрена задача планирования валового объема продукции, производимой участниками инновационно-промышленного кластера (объединение субъектов хозяйствования с целью повышения эффективности совместной деятельности) на основе балансовой модели Леонтьева. Применение модели продемонстрировано на примере гипотетического инновационно-промышленного кластера, участники которого производят продукцию, взаимодействуют между собой и осуществляют инновационную деятельность. Результатом решения задачи является план валового объема конечной и промежуточной продукции, производимой участниками кластера. Рассмотрены примеры решения задачи планирования. Приведены результаты вычислительного эксперимента, позволяющие оценить трудоемкость вычисления плана.

**Ключевые слова:** инновационно-промышленный кластер, цифровая платформа, планирование производства продукции, балансовая модель Леонтьева.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Новикова, И. В. Балансовый метод планирования производства продукции инновационно-промышленным кластером / И. В. Новикова, В. В. Смелова, А. Д. Томко // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14>.

## BALANCE METHOD FOR PLANNING PRODUCTION BY AN INNOVATION AND INDUSTRIAL CLUSTER

IRINA V. NOVIKOVA, VALERIA V. SMELOVA, ANASTASIA D. TOMKO

*Belarusian State Technological University (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 23.03.2023*

**Abstract.** The article is devoted to the problem of planning the gross volume produced by the participants of the innovation-industrial cluster (association of business entities in order to increase the efficiency of joint activities) based on the Leontiev balance model. The application of the model is considered on the example of a hypothetical innovation-industrial cluster, whose members produce products and carry out innovative activities. The result of solving the problem is a plan for the gross volume of final and intermediate products produced by cluster members. Examples of solving the planning problem are considered. The results of a computational experiment are presented, which make it possible to estimate the complexity of calculating the plan.

**Keywords:** innovative industrial cluster, digital platform, production planning, Leontiev balance model.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Novikova I. V., Smelova V. V., Tomko A. D. (2023) Balance Method for Planning Production by an Innovation and Industrial Cluster. *Digital Transformation*. 29 (4), 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14> (in Russian).

## Введение

Инновационно-промышленный кластер (ИПК) – объединение субъектов хозяйствования с целью их эффективного взаимодействия и совместного устойчивого развития на основе включения в структуру отношений между предприятиями крупных научно-исследовательских и опытно-экспериментальных центров и учреждений образования, обеспечивающих в совокупности создание единой технологической цепочки по созданию, производству и выводу на рынок высокотехнологичного инновационного продукта. Цель деятельности инновационно-промышленных кластеров заключается в стимулировании инновационной активности путем углубления взаимодействия между участниками, которые делятся возможностью обмена теоретическими и практическими знаниями, тем самым внося серьезный вклад в развитие выбранной технологии, усиливая сетевое и информационное взаимодействие внутри участников кластера. Данный кластер предназначен для ускорения процессов в цепочке инновация-технология-производство-прибыль. Структуру инновационно-промышленного кластера составляют следующие субъекты-организации:

– производящие и реализующие инновации крупные, средние и малые предприятия: на этапе формирования кластера новых технологий предприятия-производства могут находиться в стадии создания, в стадии зрелости предприятия-производители могут иметь сложившуюся систему связей между собой;

– обеспечивающие условия осуществления инновационной деятельности: бизнес-инкубаторы, технопарки, венчурные фонды, центры инновационного развития, научно-исследовательские и образовательные учреждения и др.;

– оказывающие сопутствующие инновационным процессам услуги: инжиниринговые, кредитные, страховые, аудиторские, консалтинговые и т. д.

В условиях цифровизации экономики важной компонентой кластера становится цифровая платформа. В [1] предложена концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера (ЦППК), являющаяся компонентой специализированной инфраструктуры кластерного развития, предназначенная для поддержки деятельности кластера на протяжении всего его жизненного цикла и инструментария. Создание ЦППК позволит формулировать и решать принципиально новые задачи, повышающие эффективность деятельности субъектов хозяйствования – участников ИПК. В частности, рассмотрение проблем организации многостороннего клиринга дает возможность предложить данный инструмент в качестве метода взаиморасчетов между участниками кластера [2].

В статье рассматривается еще одна задача, которая может быть решена в рамках ЦППК – планирование валового объема производимой участниками ИПК продукции. В качестве основы для решения этой задачи предлагается применить балансовый метод Леонтьева [3]. В соответствии с данным методом вычисление валового объема продукции взаимодействующих в рамках ИПК субъектов хозяйствования сводится к решению матричного уравнения  $(\mathbf{E} - \mathbf{A})\bar{X} = \bar{Y}$ , где  $\mathbf{E}$  – единичная матрица;  $\mathbf{A}$  – матрица технологических коэффициентов;  $\bar{Y}$  – планируемый выпуск конечной продукции. При известных  $\mathbf{A}$  и  $\bar{Y}$  решением уравнения является вектор-столбец, элементы которого – искомые плановые валовые объемы продукции:

$$\bar{X} = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\bar{Y}. \quad (1)$$

## Решение задачи планирования валового объема продукции

Рассмотрим систему  $B \equiv \langle C, P, A, Y \rangle$ , где  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  – перечень участников ИПК;  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  – номенклатура продукции, производимой участниками ИПК;  $R = \{r_i\}_h$  – бинарное отношение  $R \subseteq CP$ , элементы которого  $r_i = \langle c_k, p_s \rangle$ ,  $i = \overline{1, h}$ ,  $1 \leq k \leq n$ ,  $1 \leq s \leq m$  (далее – продукты  $r_i$ ) соответствуют продукции  $p_s \in P$ , выпускаемой участниками  $c_k \in C$ ;  $\mathbf{A} = \{a_{i,j}\}_h$  – квадратная матрица размерности  $h$ , каждый элемент  $a_{i,j}$  которой отражает количество продук-

та  $r_j$ , необходимого для производства продукта  $r_i$ ;  $\bar{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_h \end{pmatrix}$  – вектор-столбец, элементы  $y_i$ ,  $i = \overline{1, h}$

которого равны величине планируемого выпуска продукта  $r_i$ ,  $i = \overline{1, h}$ , для внешних потребителей.

На рис. 1–3 представлен пример описания модели  $B$  гипотетического ИПК с именем  $ABC$ , включающего семь участников (множество  $C$ ) и производящего продукцию восьми наименований (множество  $P$ ). Стрелками на рис. 1 соединены участники  $ABC$  с выпускаемой ими продукцией (отношение  $R$ ). Каждая стрелка соответствует одному продукту.



Рис. 1. Пример построения множеств  $C$ ,  $P$  и отношения  $R$  модели  $S$   
Fig. 1. An example of constructing sets  $C$ ,  $P$  and relation  $R$  of model  $S$

Будем предполагать, что взаимодействие участников кластера  $ABC$  осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

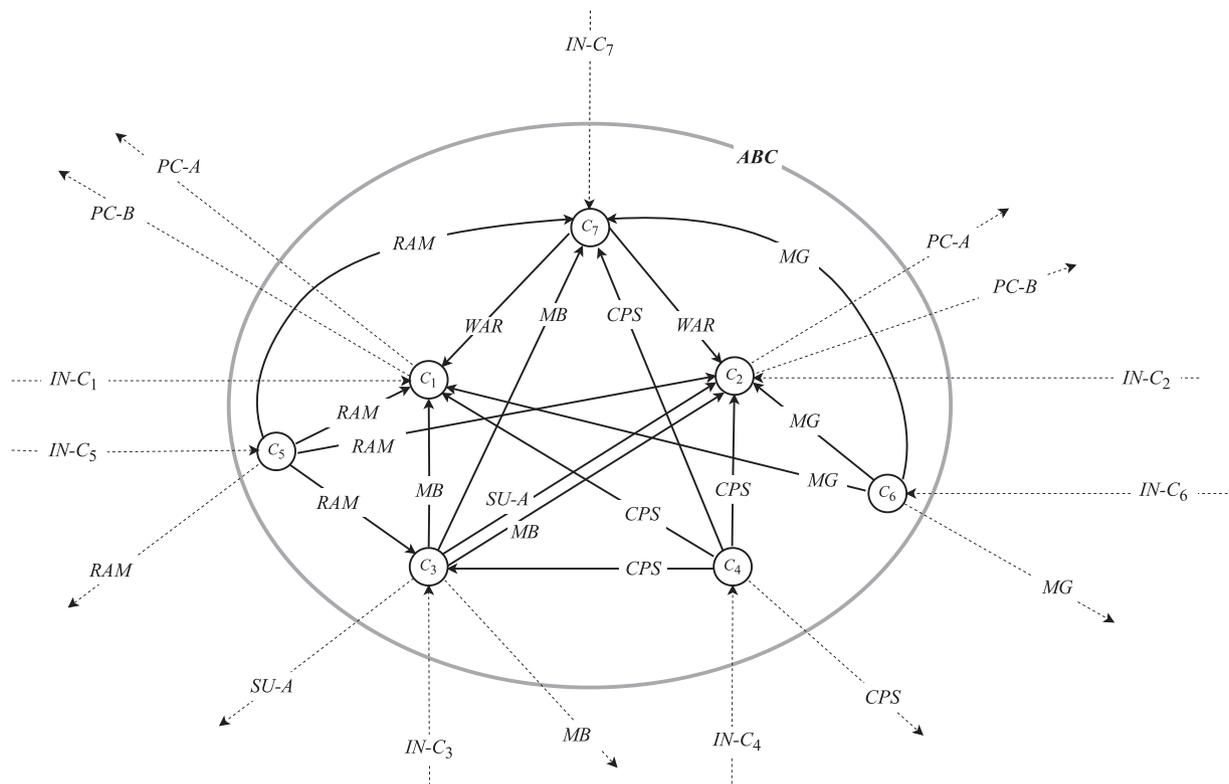


Рис. 2. Пример схемы взаимодействия участников кластера  
Fig. 2. An example of a diagram of interaction between cluster participants

Внешний контур на рис. 2 очерчивает границу кластера  $ABC$ , а помеченные внутри контура окружности обозначают участников ИПК. Сплошные стрелки указывают движение продукции

между участниками кластера. Направленные за пределы внешнего контура штриховые стрелки обозначают поставку продукции внешним потребителям, а обратные – поступление продукции от внешних поставщиков. Наименование продукции, поступающей от внешних поставщиков, имеет префикс *IN*, движение этой продукции в модели *B* не учитывается. Продолжая рассматривать пример о кластере *ABC*, зададим матрицу **A** и вектор  $\bar{Y}$  модели *B* (рис. 3).

Продукт	A										
	<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>	<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>	<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>	<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>	<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>	<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>											
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>											
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>											
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>											
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>			1								
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	1	1		1	1					0,001	
<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	1	1		1	1					0,01	
<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	2	4		4	2					0,001	
<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	1	1	1	1						0,005	
<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	1	1	1	1							

$\bar{Y}$	
Продукт	Выпуск продукта
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>	10000
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>	15000
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>	20000
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>	10000
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>	5000
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	1000
<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	2000
<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	10000
<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	5000
<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	0

**Рис. 3.** Пример построения матрицы **A** и вектора  $\bar{Y}$   
**Fig. 3.** An example of constructing **A** matrix and a  $\bar{Y}$  vector

Рассмотрим столбец матрицы **A** с меткой *C*<sub>2</sub>/*PC-A*, описывающий перечень и количество комплектующих (производимых участниками ИПК), входящих в состав продукта. *C*<sub>2</sub>/*PC-A* – персональный компьютер типа *A* (производимый участником *C*<sub>2</sub>): один системный блок типа *A* (*C*<sub>3</sub>), один монитор (*C*<sub>6</sub>) и одна услуга по гарантийному обслуживанию (*C*<sub>7</sub>). Заметим, что в таблице рис. 3 (в матрице **A**) отображены только компоненты, производимые участниками ИПК. В общем случае состав комплектующих продукта *C*<sub>2</sub>/*PC-A* может быть значительно шире, но в исследуемом варианте эти комплектующие не производятся участниками кластера и поэтому не рассматриваются в модели *B*. Смысл значений элементов строк матрицы **A** поясним на примере строки *C*<sub>3</sub>/*MB* (*C*<sub>3</sub>/*MB* – материнская плата, произведенная участником *C*<sub>3</sub>). Значения элементов строки *C*<sub>3</sub>/*MB* равны количеству материнских плат, входящих в соответствующие столбцам продукты. Например, при изготовлении каждой единицы продуктов *C*<sub>1</sub>/*PC-A*, *C*<sub>1</sub>/*PC-B*, *C*<sub>2</sub>/*PC-B* и *C*<sub>3</sub>/*SU-A* используется по одному продукту *C*<sub>3</sub>/*MB*, а на каждые 1000 выданных гарантий *C*<sub>7</sub>/*WAR* участник *C*<sub>7</sub> приобретает одну материнскую плату. На рис. 3 вектором  $\bar{Y}$  задается планируемый выпуск продуктов для внешних потребителей.

Пример решения уравнения баланса (1) по определению валового объема  $\bar{X}$  произведенных кластером *ABC* продуктов приведен на рис. 4.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01 \\ 2 & 4 & 0 & 4 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,005 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 10000 \\ 15000 \\ 20000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 1000 \\ 2000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 0 \end{pmatrix} \times$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10000 \\ 15000 \\ 20000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 1000 \\ 2000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Продукт	Валовой объем
$C_1 / PC-A$	10000
$C_1 / PC-B$	15000
$C_2 / PC-A$	20000
$C_2 / PC-B$	10000
$C_3 / SU-A$	25000
$C_3 / MB$	61055
$C_4 / CPS$	62550
$C_5 / RAM$	180165
$C_6 / MG$	60275
$C_7 / WAR$	55000

Рис. 4. Пример решения уравнения баланса  
Fig. 4. An example of solving the balance equation

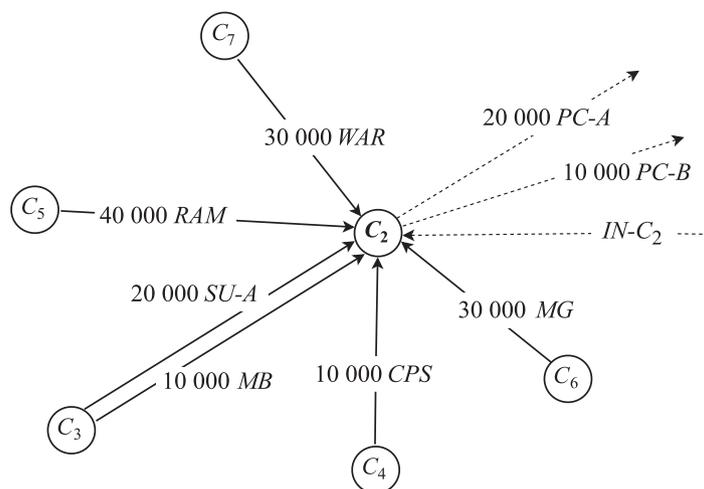
Перемножив элементы строк матрицы  $A$  на соответствующие элементы вектора  $\vec{X}$ , получим планируемые валовые объемы продуктов, перемещаемых между участниками кластера  $ABC$  (рис. 5).

Продукт	$C_1 / PC-A$	$C_1 / PC-B$	$C_2 / PC-A$	$C_2 / PC-B$	$C_3 / SU-A$	$C_3 / MB$	$C_4 / CPS$	$C_5 / RAM$	$C_6 / MG$	$C_7 / WAR$	$Y$	$X$	$X-Y$
$C_1 / PC-A$											10000	10000	
$C_1 / PC-B$											15000	15000	
$C_2 / PC-A$											20000	20000	
$C_2 / PC-B$											10000	10000	
$C_3 / SU-A$			20000								5000	25000	20000
$C_3 / MB$	10000	15000		10000	25000					55	1000	61055	60055
$C_4 / CPS$	10000	15000		10000	25000					550	2000	62550	60055
$C_5 / RAM$	20000	60000		40000	50000					165	10000	180165	170165
$C_6 / MG$	10000	15000	20000	10000						275	5000	60275	55275
$C_7 / WAR$	10000	15000	20000	10000								55000	55000

Рис. 5. Валовые объемы перемещаемых в кластере продуктов  
Fig. 5. Gross volumes of products moved in the cluster

Рассмотрим схему плана перемещения продукции для участника  $C_2$  (рис. 6). Схема построена на основе двух столбцов и двух строк с метками  $C_2/PC-A$  и  $C_2/PC-B$  таблицы на рис. 5. Столбцы содержат планируемые валовые объемы продуктов, поступающих участнику  $C_2$  в качестве комплектующих, а строки – валовые объемы продуктов, планируемых к производству самим участником  $C_2$ . При этом значения в столбце  $Y$  равны объемам продукта, отправляемого участни-

ком  $C_2$  за пределы кластера, а в столбце  $X-Y$  приведен объем продуктов, произведенных участником  $C_2$  для других участников кластера. На схеме рис. 6 видно, что участник  $C_2$  планирует произвести 20 000 персональных компьютеров типа  $A$  ( $PC-A$ ) и 10 000 персональных компьютеров типа  $B$  ( $PC-B$ ), при этом потребители этой продукции находятся за пределами кластера. Для производства своей продукции участник  $C_2$  планирует получить: от  $C_3$  20 000 системных блоков  $SU-A$  и 10 000 материнских плат  $MB$ , от  $C_4$  – 10 000 корпусов с блоком питания  $CPS$ , от  $C_5$  – 40 000 микросхем оперативной памяти  $RAM$ , от  $C_6$  – 30 000 мониторов  $MG$  и от  $C_7$  – 30 000 гарантийных талонов для персональных компьютеров.



**Рис. 6.** Схема плана перемещения продукции для участника  $C_2$  кластера  $ABC$   
**Fig. 6.** Scheme of the product movement plan for participant  $C_2$  of the  $ABC$  cluster

Основным признаком инновационно-промышленного кластера является наличие в его составе участников ИПК, специализирующихся на разработке инновационных продуктов и/или технологий. Рассмотрим один из возможных сценариев инновационной деятельности участников ИПК и планирование их взаимодействия с помощью балансовой модели.

Будем предполагать, что в составе гипотетического ИПК  $ABC$  появился новый участник  $C_8$ , специализирующийся на разработке архитектуры серверного оборудования вычислительных систем. Участник  $C_8$  имеет только опытное производство, не предназначенное для массового выпуска продукции, поэтому было принято решение о размещении на предприятии  $C_2$  заказа о производстве 500 серверов типа  $SRV$ . Каждый сервер  $SRV$  (далее – продукт  $C_2/SRV$ ) хотя и изготавливается из однотипных компонентов, но имеет специфические особенности, обусловленные требованиями заказчика. Это приводит к необходимости выполнения дополнительных работ, связанных с конструкторскими решениями, доводкой и настройкой оборудования, установкой дополнительного программного обеспечения, нагрузочным тестированием и т. п. Предполагается, что дополнительные работы будут проводиться силами  $C_2$  на основе технологий, которые будут ему переданы (в качестве инвестиции) предприятием  $C_8$ . При этом бесконтрольное распространение переданных технологий будет ограничиваться с помощью лицензионных соглашений, выданных  $C_8$  для правомочного использования продукта  $C_2/SRV$  конечным пользователем.

На рис. 7 приведены содержимое матрицы  $A$  и вектора  $\bar{Y}$ , отражающих промежуточное и конечное потребление продуктов после добавления участника  $C_8$ , использующего инфраструктуру кластера  $ABC$  для производства инновационного продукта  $C_2/SRV$ . Строки и столбцы, отражающие внутреннее и внешнее потребление новых продуктов, выделены серым цветом. В табл. 1 пояснены используемые на рис. 7 обозначения новой продукции.

На рис. 8 приведены таблицы с валовыми объемами продуктов, перемещаемых в кластере  $ABC$  и применяемых для производства инновационного продукта  $C_2/SRV$ . Таблицы содержат данные только о новой продукции и дополняют таблицу, представленную на рис. 7.

На рис. 9 представлена схема перемещения продукции и инвестиций в кластере  $ABC$ , дополняющая схему, изображенную на рис. 6, данными из таблиц на рис. 8.

Продукт	$C_1 / PC-A$	$C_1 / PC-B$	$C_2 / PC-A$	$C_2 / PC-B$	$C_2 / SRV$	$C_3 / SU-A$	$C_3 / MB$	$C_3 / MB-S$	$C_3 / SU-S$	$C_4 / CPS$	$C_4 / CPS-S$	$C_5 / RAM$	$C_6 / MG$	$C_7 / WAR$	$C_8 / WAR-S$	$C_8 / LIC$	$C_8 / INV$	Выпуск продукта
$C_1 / PC-A$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
$C_1 / PC-B$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000
$C_2 / PC-A$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20000
$C_2 / PC-B$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
$C_2 / SRV$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_3 / SU-A$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5000
$C_3 / MB$	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	1000
$C_3 / MB-S$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0
$C_3 / SU-S$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_4 / CPS$	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	2000
$C_4 / CPS-S$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0
$C_5 / RAM$	2	4	0	4	0	2	0	0	16	0	0	0	0	0,003	0,002	0	0	10000
$C_6 / MG$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0	0	0	5000
$C_7 / WAR$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / WAR-S$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / LIC$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / INV$	0	0	0	0	400	0	0	100	100	0	50	0	0	0	0	0	0	0

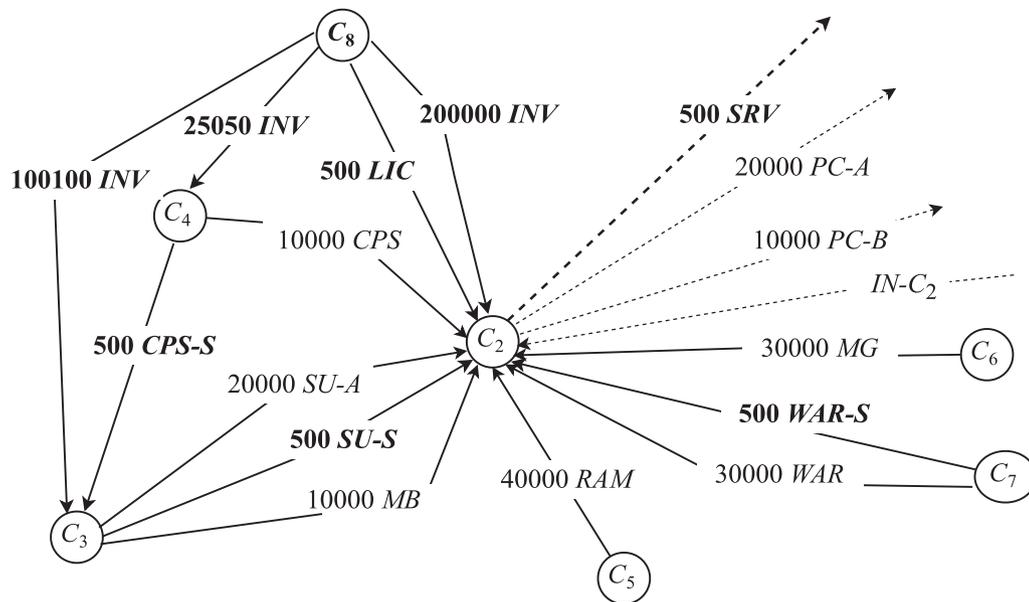
Рис. 7. Пример матрицы  $A$  и вектора  $\bar{Y}$  после добавления нового участника  $C_8$   
Fig. 7. Example of matrix  $A$  and vector  $\bar{Y}$  after adding a new participant  $C_8$

Таблица 1. Обозначение новой продукции, производимой участниками кластера  $ABC$   
Table 1. Designation of new products produced by members of the  $ABC$  cluster

Обозначение	Продукция
$SRV$	Компьютер-сервер
$SU-S$	Системный блок типа $S$
$MB-S$	Материнская плата типа $S$
$CPS-S$	Корпус системного блока с блоком питания типа $S$
$WAR-S$	Гарантия на компьютеры-серверы типа $S$
$LIC$	Лицензия на использование сервера $SRV$
$INV$	Инвестиция (в у. е.)

Продукт	$C_2 / SRV$	$C_3 / MB-S$	$C_3 / SU-S$	$C_4 / CPS-S$	$C_7 / WAR-S$	$C_8 / LIC$	$C_8 / INV$	Выпуск продукта	Валовой выпуск продукта
$C_2 / SRV$	0	0	0	0	0	0	0	500	500
$C_3 / MB-S$	0	0	500	0	1	0	0	0	501
$C_3 / SU-S$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_4 / CPS-S$	0	0	500	0	1	0	0	0	501
$C_5 / RAM$	0	0	8000	0	1	0	0	10000	188166
$C_7 / WAR-S$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_8 / LIC$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_8 / INV$	200000	50100	50000	25050	0	0	0	0	325150

Рис. 8. Валовые объемы перемещаемых в кластере новых продуктов при производстве конечного продукта  $C_2/SRV$   
Fig. 8. Gross volumes of new products moved in the cluster during the production of the final product  $C_2/SRV$



**Рис. 9.** Измененная схема плана перемещения продукции и инвестиций в кластере *ABC* при появлении нового участника  $C_8$   
**Fig. 9.** Changed diagram of the plan for moving products and investments in the *ABC* cluster when a new member  $C_8$  appears

Выделенными линиями на рис. 9 изображены новые элементы схемы. Новый участник  $C_8$  осуществляет инвестиции: 200 000 *INV* – участнику  $C_2$  для производства серверов (500  $C_2/SRV$ ); 100 100 *INV* – участнику  $C_3$  для производства новых 500 системных блоков ( $C_3/SU-S$ ) и 501 материнской платы ( $C_3/MB-S$ ); 25 050 *INV* – участнику  $C_4$  для производства 501 корпуса с блоком питания ( $C_3/SU-S$ ). Участник  $C_3$  для участника  $C_2$  производит 500 системных блоков ( $C_3/SU-S$ ), используя для этого 500 корпусов с блоком питания ( $C_4/CPS-S$ ), получаемых от участника  $C_4$ . Для каждого выпускаемого участником  $C_2$  сервера  $C_2/SRV$  инвестор  $C_8$  выдает лицензию (*LIC*), стоимость которой покрывает вложенные инвестиции и обеспечивает планируемую доходность. Гарантийное обслуживание продуктов  $C_2/SRV$  осуществляется участником  $C_7$ , который продает участнику  $C_2$  500 гарантийных талонов ( $C_7/WAR-S$ ). Следует отметить, что схема не является полной (например, не указано движение 1  $C_4/CPS-S$  из  $C_4$  в  $C_7$ , 1  $C_3/MB-S$  из  $C_3$  в  $C_7$ , внутреннее движение 501  $C_3/MB-S$  в  $C_3$ ), в том смысле, что она не отражает все движение продуктов, а призвана продемонстрировать планирование производства инновационной продукции.

Считается, что применение балансовой модели ограничивается вычислительной мощностью современных компьютерных систем, которые не позволяют рассчитать за требуемое (ограниченное) время план [4] с помощью балансового метода Леонтьева. Действительно, решение задач планирования на государственном уровне может привести к необходимости решения системы линейных уравнений размерностью в несколько тысяч. Предполагается, что применение предлагаемого метода для промышленного кластера не выведет размерность системы уравнений за 2000.

Для оценки подолжительности решения систем линейных уравнений выполнили вычислительный эксперимент. Расчеты проводили на компьютере с четырехъядерным процессором и объемом оперативной памяти 16 ГБ с применением библиотеки математических функций Math.NET Numerics [5]. В результате решения 600 построенных случайным образом систем линейных уравнений с размерностями от 100 до 2000, разреженностью матриц коэффициентов от 50 до 80 % (доля нулевых элементов) и с погрешностью решений, не превышающей  $10^{-6}$ , можно сделать следующее заключение: вычисление плана валового производства продукции с номенклатурой до 2000 ед. не превышает 16 с на компьютере средней мощности.

### Заключение

1. Одна из моделей, которая может быть использована для планирования производственной деятельности инновационно-промышленного кластера, – балансовая модель Леонтьева. С ее по-

мощью можно вычислить валовой объем производимой участниками продукции, перемещаемой внутри кластера или предназначенной для внешних потребителей. Применение балансовой модели целесообразно при глубокой кооперации участников кластера и высоком уровне замкнутости их производственной деятельности. Взаимная изолированность участников кластера и большое количество внешних связей (поставщиков и потребителей продукции) снижают эффективность планирования этим методом.

2. Применение балансовой модели Леонтьева требует глубокого понимания принципов кооперации между участниками кластера, а построение матрицы технологических коэффициентов – понимания технологии производимой продукции.

3. Балансовая модель позволяет планировать выпуск инновационной продукции, учитывать и планировать инвестиционную деятельность участников кластера.

4. В результате вычислений с помощью балансовой модели можно оценить только валовой объем продукции, который должен быть произведен каждым участником кластера для получения заданной конечной продукции. Поэтому данная модель может быть использована лишь на первом этапе планирования. Для построения календарных планов, очевидно, требуется применение методов сетевого планирования, учитывающих сроки поставки конечным потребителям продукции, технологические и производственные цепочки, производительность предприятий участников кластера, емкость складов и т. п.

5. Представленная модель может быть трансформирована в условиях интеграционных процессов для организации кросс-кластерных взаимодействий в инновационной сфере в интеграционной группировке [4].

### Список литературы

1. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера / И. В. Новикова [и др.] // Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения – 2022», г. Минск, 7–9 декабря 2022 г., в 3 т. Минск: Белор. госуд. технолог. ун-т, 2022. Т. 2. С. 3–7.
2. Новикова, И. В. Клиринговая система взаиморасчетов между участниками инновационно-промышленного кластера / И. В. Новикова, В. В. Смелова, Д. В. Сазонова // Цифровая трансформация. 2023. 29 (3). С. 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-5-14>.
3. Ведута, Е. Н. Межотраслевой-межсекторный баланс: механизм стратегического планирования экономики / Е. Н. Ведута. М.: Академический проект, 2020. 239 с.
4. Новикова, И. В. Кросс-кластерное взаимодействие между Российской Федерацией и Республикой Беларусь: новые подходы и возможности / И. В. Новикова, Н. А. Масилевич // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 5. Экономика и управление. 2021. Т. 244, № 1. С. 5–12. <https://doi.org/10.52065/2520-6877-2021-244-1-5-12>.
5. Math.NET Numerics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://numerics.mathdotnet.com>. Дата доступа: 05.01.2023.

### References

1. Novikova I. V., Smelova V. V., Timofeeva U. A., Shiman D. V. (2022) The Concept of the Digital Platform of the Innovation-Industrial Cluster. *Import substitution, Scientific, Technical and Economic Security, Sat. Art. V Intern. Sci.-Tech. Conf. "Minsk Scientific Readings – 2022"*, Minsk, Decem. 7–9, 2022. In 3 vol. Minsk, Belarusian State Technological University. 2, 3–7.
2. Novikova I. V., Smelova V. V., Sazonova D. V. (2023) The Clearing System of Mutual Settlements Between Participants of the Innovation-Industrial Cluster. *Digital Transformation*. 29 (3), 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-5-14>.
3. Veduta E. N. (2020) *Intersectoral-Intersectoral Balance: a Mechanism for Strategic Planning of the Economy*. Moscow, Academic Project Publ. 239.
4. Novikova I. V., Masilevich N. A. (2019) Cross-Cluster Interaction Between the Russian Federation and the Republic of Belarus: New Approaches and Opportunities. *Proceedings of Belarusian State Technological University. Series 5. Economics and Management*. (1), 5–12.
5. *Math.NET Numerics*. Available: <https://numerics.mathdotnet.com> (Accessed 5 January 2023).

### **Вклад авторов**

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

### **Authors' contribution**

The authors contributed equally to the writing of the article.

### **Сведения об авторах**

**Новикова И. В.**, д. э. н., профессор, заведующая кафедрой менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития Белорусского государственного технологического университета

**Смелова В. В.**, магистрант Белорусского государственного технологического университета

**Томко А. Д.**, магистрант Белорусского государственного технологического университета

### **Адрес для корреспонденции**

220006, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Свердлова, 13а  
Белорусский государственный  
технологический университет  
Тел.: +375 17 343-94-32  
E-mail: smw@belstu.by  
Смелова Валерия Владимировна

### **Information about the authors**

**Novikova I. V.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development of the Belarusian State Technological University

**Smelova V. V.**, Master's Student at the Belarusian State Technological University

**Tomko A. D.**, Master's Student at the Belarusian State Technological University

### **Address for correspondence**

220006, Republic of Belarus,  
Minsk, Sverdlova St., 13a  
Belarusian State  
Technological University  
Tel.: +375 17 343-94-32  
E-mail: smw@belstu.by  
Smelova Valeria Vladimirovna