



УДК 004.94;303.732  
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143  
EDN KXVSPQ

## Структурный синтез материальных систем

<sup>1</sup> Коптелова Л.В., <sup>2</sup> Маторин С.И.

<sup>1</sup> Белгородский университет кооперации, экономики и права,  
Россия, 308023, г. Белгород, ул. Садовая, д. 116А

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85  
koptelov2a@mail.ru, matorin@bsuedu.ru

**Аннотация.** Создание и эксплуатация производственно-технологических систем связаны с разработкой производственных и технологических цепочек, а также цепей поставок. Несмотря на проводимые в данном направлении исследования, в том числе в рамках теории систем, а также существование множества систем автоматизации проектирования, процесс проектирования таких цепочек остается в значительной степени ручным творческим процессом. При этом обеспечение даже частичной автоматизации проектирования таких структур требует использования сложного и дорогого ПО и высокой квалификации специалистов его использующих. Анализ современного состояния показывает, что несмотря на обилие публикаций по отдельным направлениям синтеза цепочек, задача совершенствования процедур их проектирования остается в настоящее время актуальной как в общесистемном, так и в техническом плане. Целью данного исследования является разработка способа структурного синтеза цепочек материальных систем с использованием системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект». В результате проведенного исследования предложен способ обеспечения синтеза цепочек материальных объектов с использованием библиотеки (базы знаний) специальной конструкции. Полученные результаты вносят вклад в теорию систем в виде формального описания принципа совместимости как общесистемной закономерности и могут служить основой для автоматизации процедуры сборки цепочек систем различной природы, в том числе производственных и технологических, а также логистических.

**Ключевые слова:** принцип совместимости, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», исчисление объектов, условия соединения материальных систем, библиотека материальных систем, производственные и технологические цепочки

**Для цитирования:** Коптелова Л.В., Маторин С.И. 2026. Структурный синтез материальных систем. *Экономика. Информатика*, 53(1): 136–143. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143. EDN KXVSPQ

---

## Structural Synthesis of Material Systems

<sup>1</sup> Liliya V. Koptelova, <sup>2</sup> Sergey I. Matorin

<sup>1</sup> Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod 308023, Russia

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia  
koptelov2a@mail.ru, matorin@bsuedu.ru

**Abstract.** The creation and operation of production and technological systems involve the development of production and process chains, as well as supply chains. Despite ongoing research in this area, including that within the systems theory, and the existence of numerous design automation systems, construction of such chains remains largely a manual, creative process. Even its partial automation requires complex and expensive software and highly-skilled specialists. An analysis of the current state shows that, despite the abundance of publications on specific areas of chain synthesis, the task of improving design procedures remains relevant both in general system and technical terms. The aim of this study is to develop a method for the structural

© Коптелова Л.В., Маторин С.И., 2026

synthesis of material system chains using the "Unit-Function-Object" system-object approach. This study proposes a method for synthesis of material object chains using a specially designed library (knowledge base). The results obtained contribute to the systems theory in the form of a formal description of the compatibility principle as a system-wide regularity and may serve as a basis for automating the procedure for assembling chains of systems of various natures, including production, technological, and logistical ones.

**Keywords:** compatibility principle, system-object approach "Unit-Function-Object", calculus of objects, conditions for connecting material systems, library of material systems, production and technological chains

**For citation:** Koptelova L.V., Matorin S.I. 2026. Structural Synthesis of Material Systems. *Economics. Information technologies*, 53(1): 136–143 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-136-143. EDN KXVSPQ

## Введение

Создание и эксплуатация производственно-технологических систем связаны с разработкой производственных и технологических цепочек (ПТЦ), а также логистических цепей / цепей поставок (ЛЦ). Например, в работе [Шиянов, Неженец, 2010, с. 51] утверждается, что «формирование технологической цепочки является одной из важнейших задач при организации производства, в равной степени актуальной на всех уровнях и этапах производственного процесса». При проектировании таких цепей возникает множество проблем, одной из которых является проблема их сборки (структурного синтеза) из конкретных материальных объектов (технических и организационных систем) [Шиянов, Неженец, 2010; Самгородская, 2012; Григорьев, 2015; Любященко, 2024; Капранова и др., 2024]. «Известен ряд концептуальных подходов к решению проблемы синтеза структур технологических цепочек и процессов. Однако, каждый из них обладает рядом принципиальных недостатков, которые делают невозможным создание на их основе эффективно работающих систем автоматизированного проектирования» [Агроник и др., 2016, с. 255].

Несмотря на проводимые в данном направлении исследования, в том числе в рамках теории систем (см., например, работу [Крылов, 2003]), а также существование множества систем автоматизации проектирования [Агроник и др., 2016; Поляков и др., 2024; Вертикаль], процесс проектирования ПТЦ и ЛЦ остается в значительной степени ручным творческим процессом [Агроник и др., 2016; Капранова и др., 2024; Головина, 2025]. При этом обеспечение даже частичной автоматизации проектирования таких структур требует использования сложного и дорогого ПО и высокой квалификации специалистов его использующих.

«Анализ современного состояния показывает, что, несмотря на обилие публикаций по отдельным направлениям синтеза технологических цепочек и процессов, теоретические исследования, объединяющие различные подходы в единую интеллектуальную технологию, составляют их малую часть» [Агроник и др., 2016, с. 265]. Таким образом, задача совершенствования процедур проектирования ПТЦ и ЛЦ остается в настоящее время актуальной как в общесистемном, так и в техническом плане.

Данная проблема, в рамках системного подхода, представляет собой частный случай общесистемной задачи синтеза или агрегации материальных систем (или систем-явлений [Теория систем..., 2021]) в какую-либо структуру.

### Системно-объектный подход к решению задачи синтеза систем-явлений

В теории систем в качестве общесистемной закономерности, связанной с синтезом систем, рассматривается *принцип совместимости* [Сетров, 1969], определяющий условия взаимодействия между системами: *наличие у них относительной совместимости, то есть относительной качественной и организационной однородности*. В данном случае этот общесистемный принцип можно проинтерпретировать технически следующим образом. Системы-явления (материальные системы) могут быть соединены (собраны в какую-либо структуру) при условии, что (рис. 1):

1. Интерфейсы (порты) соединяющихся систем должны быть предназначены для связей (потоков элементов) одного и того же конкретного вида.

2. Пропускные способности интерфейсов (портов) соединяющихся систем одинаковы. Другими словами, интенсивность потока элементов из выходного интерфейса предшествующей системы должна быть равна интенсивности потока элементов того же вида во входном интерфейсе последующей системы.

3. Интерфейсы (порты) соединяющихся систем должны быть «конгруэнтны» (соответствовать друг другу), т. е. выход предшествующей системы может быть физически присоединен ко входу последующей системы или непосредственно, или с помощью соединителя.

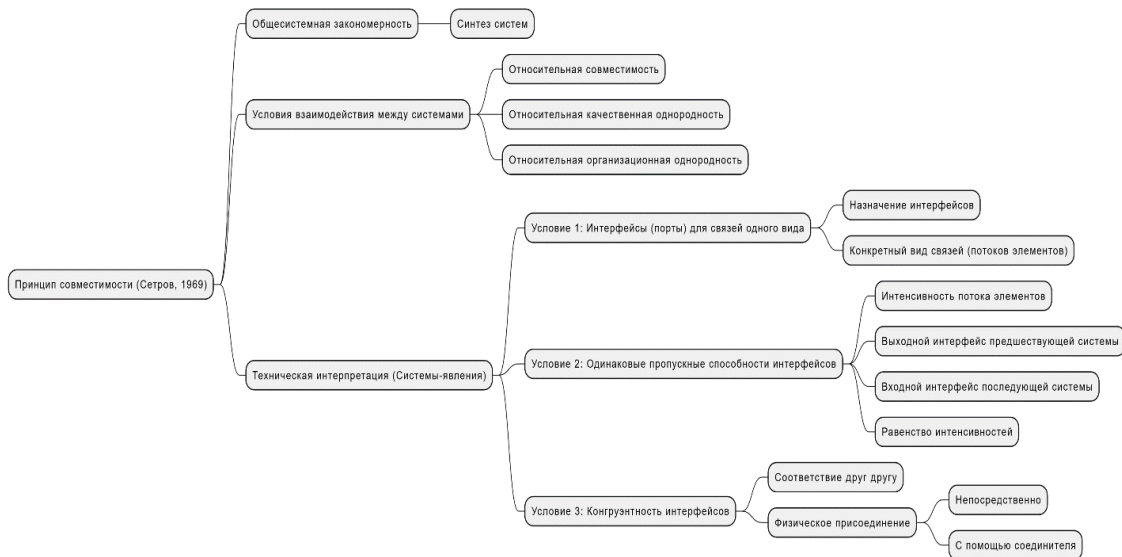


Рис. 1. Представление принципа «Совместимость» в решении задачи синтеза систем-явлений  
 Fig. 1. Presentation of the “Compatibility” principle of in solving the problem of synthesizing phenomenon-type systems

Источник: составлено авторами на основе исследований М.И. Сетрова [Сетров, 1969]  
 Source: compiled by the authors based on the research of M.I. Setrov [Setrov, 1969]

Таким образом, возможность синтеза или агрегации систем-явлений обусловлена, в первую очередь, внешними, эмерджентными, объектными характеристиками этих систем.

Для формального описания названных выше условий соединения (сборки) систем целесообразно использовать представление системы в рамках системно-объектного подхода в виде конструкции «Узел-Функция-Объект». Данное представление позволяет описать систему в виде специального объекта исчисления объектов Абади-Кардели [Теория систем..., 2021]:

$$s_i = [(L_i^?, L_i!); f(L_i^?)L_i!; (O_i^?, O_i!, O_i f)],$$

где  $L_i^?$  – поле специального объекта для описания множества входящих интерфейсных потоков, соответствующих входящим связям системы  $s_i$ ,  $L_i!$  – поле специального объекта для описания множества исходящих интерфейсных потоков, соответствующих выходящим связям системы  $s_i$ . Причем  $L_i^? \subset L$  и  $L_i! \subset L$ , т. е. относятся к множеству всех связей  $L$ ;

– $f$  – метод специального объекта, описывающий функцию системы  $s_i$ , т. е. процесс преобразования входящих интерфейсных потоков (входящих связей системы)  $L_i^?$  в выходящие  $L_i!$ . В соответствии с принятой в теории объектов манерой обозначений, метод объекта представляется в следующем виде:  $f(L_i^?)L_i!$ , где  $f$  – метод объекта (функция/процесс системы  $s_i$ ) с областью определения  $L_i^?$  и областью значений  $L_i!$ , соответственно;

– $O_i^?$  – множество полей, которое содержит интерфейсные входные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ),  $O_i!$  – множество полей, которое содержит интерфейсные

выходные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ),  $O_i^f$  – множество полей, которое содержит внутренние передаточные характеристики специального объекта (системы  $s_i$ ). При этом множество полей для описания объектных характеристик системы  $O_i = O_i^? \cup O_i^! \cup O_i^f$ ,

Для решения задачи синтеза представление системы как специального объекта исчисления объектов может быть уточнено с учетом упомянутых выше условий соединения систем-явлений (материальных систем). В данном случае метод объекта  $f$ , описывающий функцию системы, и поле объекта  $O_i^f$ , содержащие внутренние передаточные характеристики системы, не играют никакой роли для понимания возможности соединения систем друг с другом. Это обусловлено тем фактом, что внутренние, в том числе функциональные, характеристики определяются внешними функциональными связями, которые учтены в полях, описывающих входящие и выходящие связи. Таким образом, материальная система, в данном случае, может быть представлена следующим образом:

$$s_i = [(L_i^?, L_i^!); (O_i^?, O_i^!)]$$

С учетом результатов, представленных в работе [Маторин и др., 2024], множество  $L$  можно конкретизировать как наборы входных и выходных связей функциональных узлов:  $L = \{V, VE, VI, VEI, E, EV, EI, EVI, I, IV, IE, IVE\}$ , где  $V$  – поток вещества;  $E$  – поток энергии;  $I$  – поток информации.

Входные и выходные объектные характеристики можно представить в виде кортежа, содержащего параметры интенсивности и физические характеристики интерфейсов:  $O_i^? = \langle \beta L_i^?, mL_i^? \rangle$ ;  $O_i^! = \langle \beta L_i^!, mL_i^! \rangle$ , где  $\beta L$  – интенсивность потока (пропускная способность интерфейса);  $mL$  – механическая характеристика интерфейса.

Данное уточненное формальное представление системы позволяет описать процедуру и результат синтеза систем-явлений следующим образом:

Две системы  $s_i = [(L_i^?, L_i^!); (\beta L_i^?, mL_i^?; \beta L_i^!, mL_i^!)]$  и  $s_j = [(L_j^?, L_j^!); (\beta L_j^?, mL_j^?; \beta L_j^!, mL_j^!)]$  могут быть соединены, если:  $L_i^! = L_j^?$ ;  $\beta L_i^! = \beta L_j^?$ ;  $mL_i^! \Rightarrow mL_j^?$ . Результат соединения:  $s_{ij} = [(L_i^?, L_j^!); (\beta L_i^?, mL_i^?; \beta L_j^!, mL_j^!)]$ .

### Библиотека материальных систем

Представленная интерпретация принципа совместимости позволяет предложить способ решения практических задач сборки (структурного синтеза) материальных систем. Так как решение данной задачи непосредственно зависит от наличия знаний об элементах, из которых осуществляется сборка, то целесообразным является создание и использование специальной библиотеки (как базы знаний) таких систем, описываемых показанным выше способом, для соответствующей предметной области.

Предлагаемая структура библиотеки представлена ниже.

1. Для каждой  $L_i^?$  и  $L_i^!$  хранятся наборы конкретных видов вещественных ( $V$ ), энергетических ( $E$ ) и информационных ( $I$ ) связей в соответствии с упомянутыми выше входами и выходами функциональных узлов (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Конкретные виды входных и выходных связей  
Specific types of input and output connections

V	VE	VI	VEI	E	EV	EI	EVI	I	IV	IE	IVE
$v_1$	$ve_1$	$vi_1$	$vei_1$	$e_1$	$ev_1$	$ei_1$	$evi_1$	$i_1$	$iv_1$	$ie_1$	$ive_1$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$v_k$	$ve_k$	$vi_k$	$vei_k$	$e_k$	$ev_k$	$ei_k$	$evi_k$	$i_k$	$iv_k$	$ie_k$	$ive_k$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить виды конкретных входных и выходных связей (например,  $v_k, ve_k, \dots, vei_k, \dots$  и т. д.), распределенные по классам входов и выходов функциональных узлов, определенных и описанных в работе [Маторин и др., 2024].

При этом отдельно взятая, например, вещественная связь  $v_k$  (так же как энергетическая связь  $e_k$  и информационная связь  $i_k$ ) и, например, вещественная связь в конструкции  $ve_k$  или конструкции  $vei_k$  – это разные связи, так как данные конструкции представляют собой единое целое. Индекс  $k$  определяет количество конкретных видов связей в каждом классе связей функциональных узлов, которое может быть различным. Кроме того, входной комплекс связей (например,  $ve_k?$ ) включает в себя связи отличные от связей выходного комплекса (например,  $ve_k!$ ).

2. Для каждого конкретного вида входных и выходных связей хранятся характеристики интенсивности потоков элементов по этим связям  $\beta L_i?$  и  $\beta L_i!$  (табл. 2).

Таблица 2  
Table 2

Характеристики интенсивности потоков элементов по связям  
 Characteristics of the intensity of element flows along links

$v_k$	$ve_k$	$vi_k$	$vei_k$	$e_k$	$ev_k$	$ei_k$	$evi_k$	$i_k$	$iv_k$	$iek$	$ive_k$
$\beta v_{k1}$	$\beta ve_{k1}$	$\beta vi_{k1}$	$\beta vei_{k1}$	$\beta e_{k1}$	$\beta ev_{k1}$	$\beta ei_{k1}$	$\beta evi_{k1}$	$\beta i_{k1}$	$\beta iv_{k1}$	$\beta iek_{k1}$	$\beta ive_{k1}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$\beta v_{kn}$	$\beta ve_{kn}$	$\beta vi_{kn}$	$\beta vei_{kn}$	$\beta e_{kn}$	$\beta ev_{kn}$	$\beta ei_{kn}$	$\beta evi_{kn}$	$\beta i_{kn}$	$\beta iv_{kn}$	$\beta iek_{kn}$	$\beta ive_{kn}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить характеристики интенсивности потоков элементов по входным и выходным связям (например,  $\beta v_{kn}, \beta ve_{kn}, \dots, \beta evi_{kn}, \dots$  и т. д.), распределенные по конкретным видам связей.

Символ  $\beta$ , например, в конструкции  $\beta ve_{kn}$  означает, что и вещественная связь, и энергетическая имеют каждая свою характеристику интенсивности. Индекс  $n$  определяет количество возможных вариантов характеристик потоков связей для конкретного вида связей, которое может быть различным. Кроме того, характеристики входных связей (например,  $\beta ve_{kn}?$ ), естественно, отличаются от характеристик выходных связей (например,  $\beta ve_{kn}!$ ).

3. Для каждого конкретного вида входных и выходных связей хранятся механические характеристики входного и выходного интерфейса  $m L_i?$  и  $m L_i!$ , позволяющие определить возможность физического присоединения одной системы к другой (табл. 3).

Таблица 3  
Table 3

Механические характеристики интерфейса  
 Mechanical characteristics of the interface

$v_k$	$ve_k$	$vi_k$	$vei_k$	$e_k$	$ev_k$	$ei_k$	$evi_k$	$i_k$	$iv_k$	$iek$	$ive_k$
$m v_{k1}$	$m ve_{k1}$	$m vi_{k1}$	$m vei_{k1}$	$m e_{k1}$	$m ev_{k1}$	$m ei_{k1}$	$m evi_{k1}$	$m i_{k1}$	$m iv_{k1}$	$m iek_{k1}$	$m ive_{k1}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$m v_{kp}$	$m ve_{kp}$	$m vi_{kp}$	$m vei_{kp}$	$m e_{kp}$	$m ev_{kp}$	$m ei_{kp}$	$m evi_{kp}$	$m i_{kp}$	$m iv_{kp}$	$m iek_{kp}$	$m ive_{kp}$
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

В данной таблице (их должно быть две: одна для входов (?) и другая для выходов (!) соответственно) представлено, как предполагается хранить механические характеристики интерфейсов по входным и выходным связям (например,  $m v_{kp}, m ve_{kp}, \dots, m evi_{kp}, \dots$  и т. д.), распределенные по конкретным видам связей. Символ  $m$ , например, в конструкции  $m v_{knekn}$  означает, что и вещественная связь, и энергетическая имеют каждая свою механическую характеристику интерфейса. Индекс  $p$  определяет количество возможных вариантов

механических характеристик интерфейсов для конкретного вида связей, которое может быть различным. Кроме того, характеристики входных интерфейсов (например,  $mve_{кр}?$ ), естественно, отличаются от характеристик выходных интерфейсов (например,  $mve_{кр}!$ ).

### Методика использования библиотеки для сборки материальных систем

Сборка (структурный синтез) материальных систем с использованием предлагаемой библиотеки сводится к следующей процедуре, которую рассмотрим далее на примере.

Пусть имеется некоторая система  $ss1$  как начальный компонент некоторой цепи. При этом данная система может быть представлена в терминах описанной выше библиотеки следующим образом:

$$ss1 = [(v_k?, ve_b!); (\beta v_{kd}?, mv_{kc}?, \beta ve_{br}!, mve_{bt}!).]$$

Для нахождения последующей системы  $ss2$ , которая может быть присоединена к  $ss1$ , необходимо в таблице 1? (для входов) найти входные связи, одноименные с  $ve_b!$ . Затем в таблице 2? (для входов) найти эти связи с характеристиками  $\beta ve_{br}!$ , а затем в таблице 3? (для входов) найти для них интерфейсы, соответствующие  $mve_{bt}!$ .

Для того, чтобы поиск мог быть осуществлен по формальным признакам, индексы одинаковых связей в таблицах входов (?) и выходов (!) должны быть одинаковыми. Кроме того, должны быть одинаковыми индексы идентичных характеристик интенсивности потоков по этим связям, а также одинаковыми должны быть индексы механических параметров интерфейсов, соответствующих друг другу.

Если библиотека построена с учетом этого условия, то в ней оперативно можно определить, что к системе  $ss1$  можно присоединить систему

$$ss2 = [(ve_b?, \_\_\_!); (\beta ve_{br}?, mve_{bt}?, \_\_\_!, \_\_\_!).]$$

Выходы данной системы не обозначены специально, так как в общем случае это не единственный вариант, и окончательный выбор будет определяться целями синтеза, которые здесь не оговорены.

### Заключение

Задачи синтеза и анализа систем тесно связаны. Анализ (декомпозиция) системы всегда переходит в синтез (агрегацию, сборку) выявляемых в результате анализа элементов. Поэтому использование разрабатываемой библиотеки для моделирования сборки материальных систем при проектировании ПТЦ или ЛЦ должно предваряться решением задачи анализа некоторой системы, которое должно наметить направление, цель синтеза, сборки ее подсистем.

При этом задача синтеза, как самостоятельная актуальная задача, может решаться описанным выше способом. Данный способ при наличии библиотеки в заданной предметной области позволяет в перспективе автоматизировать структурный синтез ПТЦ или ЛЦ без использования сложного и дорогого ПО для имитационного моделирования.

Использование предлагаемой библиотеки может приводить к нескольким вариантам сборки цепей. Выбор из нескольких вариантов должен осуществляться путем учета дополнительных требований, например, связанных со стоимостью функционирования учтенных в библиотеке систем.

### Список литературы

- Агроник А.Ю., Талалаев А.А., Фраленко В.П., Хачумов В.М., Шишкин О.Г. 2016. Анализ систем проектирования технологических цепочек и процессов. *Онтология проектирования*, 6. 3(21): 255–269.
- «ВЕРТИКАЛЬ». Система автоматизированного проектирования технологических процессов. URL: <https://ascon.ru/products/vertical/>
- Головина Е. 2025. Нормативно-техническая база информационного моделирования требует кардинальных изменений. *САПР И ГРАФИКА*, 2(342): 24–27.



- Григорьев Ю.П. 2015. Модель обслуживания цепей поставок материальных ресурсов. *Ученые записки Санкт-Петербургского им. В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии*, 2 (54): 68–75.
- Капранова Л.Д., Абдикеев Н.М., Бекулова С.Р. 2024. Особенности и проблемы формирования производственно-технологических цепочек в цифровом пространстве промышленности. *Проблемы экономики и юридической практики*, 20. 5: 123–133.
- Крылов С.М. 2003. Формально-технологические модели в общей теории систем. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 5. 1: 83–90.
- Любященко С.Н. 2024. Моделирование функционирования производственно-хозяйственной цепи. *Идеи и идеалы*, Т. 16, № 1, ч. 2: 333–350.
- Маторин С.И., Песоцкий С.А., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2024. Усовершенствованный алфавит для графоаналитического моделирования процессов с использованием системно-объектного анализа. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2: 95–108.
- Поляков Е.Ю., Кондусов Д.В., Кондусова В.Б. 2024. Использование модулей инженерных знаний при автоматизированном проектировании технологических процессов. *Автоматизация в промышленности*, 2: 12–14.
- Самгородецкая О.В. 2012. Формирование технологических цепочек инновационно-ориентированных обрабатывающих производств в условиях интеграции российских предприятий в мировые научно-технологические циклы. *Экономические науки*, 10(95): 213–216.
- Сетров М.И. 1969. Степень и высота организации систем. Системные исследования. Ежегодник. М., Наука, 159 с.
- Теория систем и системный анализ. 2021. Под ред. С.И. Маторина, А.Г. Жихарев, О.А. Зимовец, М.Ф. Тубольцев, А.А. Кондратенко. М., КНОРУС, 455 с.
- Шиянов Б.А., Неженец В.С. 2010. Анализ моделей и методов формирования технологических цепочек на основе территориально-распределенных объектов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 6.12: 51–58.

## References

- Agronik A.YU., Talalaev A.A., Fralenko V.P., Nachumov V.M., SHishkin O.G. 2016. Analiz sistem proektirovaniya tekhnologicheskikh cepochek i processov [Analysis of design systems for technological chains and processes]. *Ontologiya proektirovaniya [Design ontology]*, 6. 3(21): 255–269.
- «VERTIKAL'». Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskikh processov [Automated design system for technological processes]. URL: <https://ascon.ru/products/vertical/>
- Golovina E. 2025. Normativno-tekhnicheskaya baza informacionnogo modelirovaniya trebuets kardinal'nyh izmenenij [The regulatory and technical framework for information modeling requires radical changes]. *SAPR I GRAFIKA [CAD AND GRAPHICS]*, 2(342): 24–27.
- Grigor'ev YU. P. 2015. Model' obsluzhivaniya cepej postavok material'nyh resursov [A model for servicing supply chains of material resources]. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo im. V.B. Bobkova filiala Rossijskoj tamozhennoj akademii [Scientific Notes of the St. Petersburg State University]*, 2 (54): 68–75.
- Kapranova L.D., Abdikeev N.M., Bekulova S.R. 2024. Osobennosti i problemy formirovaniya proizvodstvenno-tekhnologicheskikh cepochek v cifrovom prostranstve promyshlennosti [Features and problems of formation of production and technological chains in the digital space of industry]. *Problemy ekonomiki i yuridicheskoy praktiki [Problems of Economics and Legal Practice]*, 20. 5: 123–133.
- Krylov S.M. 2003. Formal'no-tekhnologicheskie modeli v obshchej teorii system [Formal Technological Models in General Systems Theory]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 5. 1: 83–90.
- Lyubyashchenko S.N. Modelirovanie funkcionirovaniya proizvodstvenno-hozyajstvennoj cepe [Modeling the Functioning of a Production and Economic Chain]. *Idei i idealy [Ideas and Ideals]*, 2024. Т. 16, № 1, ч. 2: 333–350.
- Matorin S.I., Pesockij S.A., ZHiharev A.G., Dmitrieva YU.V. 2024. Usovershenstvovannyj alfavit dlya grafoanaliticheskogo modelirovaniya processov s ispol'zovaniem sistemno-ob'ektnogo analiza [Improved alphabet for graph-analytical modeling of processes using system-object analysis]. *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]*, 2: 95–108.
- Polyakov E.YU., Kondusov D.V., Kondusova V.B. 2024. Ispol'zovanie modulej inzhenernykh znaniy pri avtomatizirovannom proektirovanii tekhnologicheskikh processov [Use of engineering knowledge

modules in automated design of technological processes]. *Avtomatizaciya v promyshlennosti [Automation in industry]*, 2: 12–14.

- Samgorodeckaya O.V. 2012. Formirovanie tekhnologicheskikh cepochek innovacionno-orientirovannykh obrabatyvayushchih proizvodstv v usloviyah integracii rossijskikh predpriyatij v mirovye nauchno-tekhnologicheskie cikly [Formation of technological chains of innovation-oriented manufacturing industries in the context of the integration of Russian enterprises into global scientific and technological cycles]. *Ekonomicheskie nauki [Economic sciences]*, 10(95): 213–216.
- Setrov M.I. 1969. Stepen' i vysota organizacii sistem. Sistemnye issledovaniya [The Degree and Height of System Organization]. *Systems Research. Yearbook. Moscow, Nauka*, 159 p.
- Teoriya sistem i sistemnyj analiz [Systems Theory and Systems Analysis]. 2021. Pod red. S.I. Matorina, A.G. ZHiharev, O.A. Zimovec, M.F. Tubol'cev, A.A. Kondratenko.M., KNORUS, 455 s.
- SHiyarov B.A., Nezhenec V.S. 2010. Analiz modelej i metodov formirovaniya tekhnologicheskikh cepochek na osnove territorial'no-raspredeleennykh ob"ektov [Analysis of models and methods for forming technological chains based on geographically distributed objects]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Technical University]*, 6.12: 51–58.

**Конфликт интересов:** о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

**Conflict of interest:** no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 20.01.2026

Поступила после рецензирования 27.02.2026

Принята к публикации 02.03.2026

Received January 20, 2026

Revised February 27, 2026

Accepted March 02, 2026

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Коптелова Лилия Валерьевна**, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

**Маторин Сергей Игоревич**, доктор технических наук, профессор кафедры информационных и робототехнических систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Liliya V. Koptelova**, Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

**Sergey I. Matorin**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia