

УДК: 338.012

# СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ОБМЕНА ЗАТРАТ СЕКТОРОВ ЭКОНОМИКИ ФРАНЦИИ

**И.В. Десятников**

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*  
Россия, 109028, Москва, Покровский б-р, д. 11  
E-mail: idesyatnikov@hse.ru

**Е.А. Сергеева**

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*  
Россия, 109028, Москва, Покровский б-р, д. 11  
E-mail: eaolifirenko@edu.hse.ru

**Д.С. Ткачев**

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»*  
Россия, 109028, Москва, Покровский б-р, д. 11  
E-mail: dstkachev2506@gmail.com

**Ключевые слова:** сетевой анализ, сектора экономики Франции, уязвимость секторов экономики.

**Аннотация:** Рассматривается сеть взаимных затрат между секторами экономики Франции на основе официальных данных OECD за 2020 год. С использованием классических и новых индексов центральности мы определили наиболее уязвимые к различным шоковым явлениям экономики секторы. Получены новые результаты об уязвимых секторах экономики при различных параметрах новых индексов центральности.

## 1. Введение

Организация экономического сотрудничества и развития (OECD) предоставляет таблицы Input-output (ICIO) за период 1995–2020 годов. Данные охватывают 76 стран (включая все страны ОЭСР, Европейский союз, АСЕАН и страны G20) и 45 отраслей промышленности. В таблицах Input-output представлены данные о транзакциях промежуточными товарами с затратами между секторами экономики различных стран, значения которых представлены в миллионах долларов США. В данной статье мы рассматриваем транзакции между секторами экономики Франции за 2020 год [1].

Для моделирования сети транзакций между секторами экономики мы используем взвешенный ориентированный граф  $G^0$ . Взвешенный ориентированный граф  $G^0$  представляет собой набор двух множеств  $(V, W^0)$ , где  $V$  – множество вершин,  $W^0$  – множество направленных ребер из вершины  $i$  в вершину  $j$  с весом  $w_{ij}$ . В нашем случае вершины соответствуют секторам экономики, а ребра направлению и величине затраты.

Например, рассмотрим сеть на рис. 1.

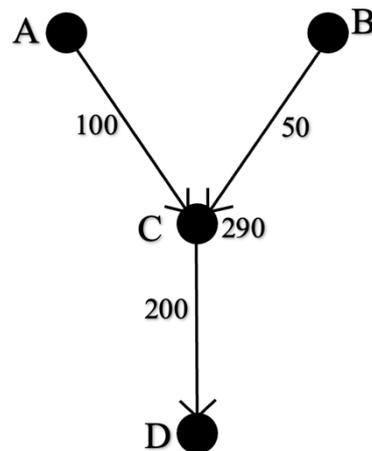


Рис. 1. Пример сети.

В данной сети представлено 4 сектора экономики – A, B, C, D. Сектор A и сектор B затрачивают на сектор C 100 и 50 миллионов долларов соответственно. Сектор C затрачивает на сектор D 200 миллионов долларов.

## 2. Индексы центральности

Для выявления зависимости секторов экономики от затрат других секторов могут быть использованы индексы центральности [2]. Нами рассматриваются классические (PageRank, Eigenvector, Betweenness, Closeness, In-degree) [3] и новые индексы центральности (индекс группового влияния, индекс ключевого участника) [4].

Индекс In-degree определяется для каждого сектора экономики  $i$  по формуле:

$$CI^0(i) = \sum_j w_{ji},$$

где  $w_{ji}$  – величина затрат от сектора  $j$  в сектор  $i$ . Иными словами, индекс In-degree  $CI^0(i)$  для каждого сектора  $i$  равен величине суммарных затрат от других секторов. Для сети на рис.1 значения индекса In-degree следующие:

$$\begin{aligned} CI^0(A) &= 0, \\ CI^0(B) &= 0, \\ CI^0(C) &= w_{AC} + w_{BC} = 150, \\ CI^0(D) &= 200. \end{aligned}$$

Для определения группового влияния секторов рассматривается понятие критической группы. Группу секторов  $S$  называют критической для сектора  $i$ , если в  $S$  входит не более  $k$  секторов и их суммарная затрата на сектор  $i$  не меньше установленной квоты для сектора  $i$   $q_i$ . Более формально, группа секторов  $S$  называется критической для  $i$ , если выполнено следующее:

$$|S| \leq k, \sum_{j \in S} w_{ji} \geq q_i.$$

Предположим, что для сети на рис. 1 значения квоты  $q_i$  для секторов экономики следующие -  $q_A = q_B = 200, q_C = 90, q_D = 150$ , а величина  $k = 3$ . Тогда, для сектора C существует две критические группы –  $\{A, B\}, \{A\}$ . Для сектора D одна -  $\{C\}$ .

Для каждого сектора  $i$  индекс группового влияния  $BI^0(i)$  вычисляется по формуле:

$$BI^0(i) = \sum_S BI_i^0(S),$$

где  $BI_i^0(S) = 1$ , если группа  $S$  критическая для  $i$ ,  $BI_i^0(S) = 0$  в противном случае. Иными словами, величина индекса группового влияния для сектора  $i$  равна количеству его критических групп. Для сети на рис. 1 значения индекса группового влияния равно

$$\begin{aligned} BI^0(A) &= BI^0(B) = 0, \\ BI^0(C) &= 2, \\ BI^0(D) &= 1. \end{aligned}$$

Сектор  $j$  называется ключевым в критической группе  $S$  для сектора  $i$ , если группа  $S$  без сектора  $j$  не является критической для  $i$ . Формально, сектор  $j$  ключевой в группе  $S$  для  $i$ , если выполнено следующее:

$$\sum_{l \in S} w_{li} \geq q_i, \quad \sum_{l \in S \setminus \{j\}} w_{li} < q_i.$$

Для критических групп сети на рис. 1 существуют следующие ключевые секторы. Для критических групп  $\{A, B\}, \{A\} - A$ , для критической группы  $\{C\} - C$ .

Индекс ключевого участника  $PI^0(i)$  для каждого сектора  $i$  равен:

$$PI^0(i) = \sum_S |S| \cdot PI_i^0(S),$$

где  $PI_i^0(S)$  – количество ключевых стран в  $S$  для  $i$ . Иными словами, величина индекса ключевого участника для сектора  $i$  равна суммарному количеству ключевых секторов по всем критическим группам с учетом количества секторов, входящих в каждую критическую группу. Для сети на рис. 1 значения индекса группового влияния равно

$$\begin{aligned} PI^0(A) &= PI^0(B) = 0, \\ PI^0(C) &= |\{A, B\}| \cdot PI_i^0(\{A, B\}) + |\{A\}| \cdot PI_i^0(\{A\}) = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 1 = 3, \\ PI^0(D) &= |\{C\}| \cdot PI_i^0(\{C\}) = 1. \end{aligned}$$

### 3. Результаты

Для вычисления рассмотренных индексов центральности использовались только транзакции между секторами. Транзакции внутри секторов не рассматривались.

Для вычисления наших новых индексов центральности использовалась нормировка значений затрат секторов следующим образом:

$$w'_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_i w_{ij}}.$$

Иными словами,  $w'_{ij}$  – доля величины затрат сектора  $i$  на сектор  $j$  от общей суммы затрат на сектор  $j$ .

Рассматривалось несколько значений квоты:

$$\begin{aligned} q_j &= 0,1, \\ q_j &= 0,2, \\ q_j &= 0,25. \end{aligned}$$

Величина  $k$  принималась равной 3.

В Таблице 1 представлены результаты вычисления классических индексов центральности.

**Таблица 1.** ТОП-5 секторов экономики Франции в 2020 году по убыванию значений классических индексов центральности.

	PageRank	Eigenvector	Betweenness	Closeness	In-degree
1	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles	Mining support service activities	IT and other information services	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles

2	Professional, scientific and technical activities	Construction	Mining and quarrying, energy producing products	Mining support service activities	Professional, scientific and technical activities
3	Construction	Professional, scientific and technical activities	Publishing, audiovisual and broadcasting activities	Computer, electronic and optical equipment	Construction
4	Food products, beverages and tobacco	Food products, beverages and tobacco	Air transport	Wood and products of wood and cork	Food products, beverages and tobacco
5	Public administration and defence; compulsory social security	Financial and insurance activities	Pharmaceuticals, medicinal chemical and botanical products	Postal and courier activities	Financial and insurance activities

В Таблице 2 представлены результаты вычисления новых индексов центральности при различных квотах  $q_i$ .

**Таблица 2.** ТОП-5 секторов экономики Франции в 2020 году по убыванию значений новых индексов центральности при различных параметрах.

	0.1		0.2		0.25	
	$BI^0(i)$	$PI^0(i)$	$BI^0(i)$	$PI^0(i)$	$BI^0(i)$	$PI^0(i)$
1	Air transport	Arts, entertainment and recreation	Financial and insurance activities	Warehousing and support activities for transportation	Rubber and plastics products	Professional, scientific and technical activities
2	Construction	Air transport	Mining and quarrying, energy producing products	Financial and insurance activities	Food products, beverages and tobacco	Other transport equipment
3	Financial and insurance activities	Publishing, audiovisual and broadcasting activities	Warehousing and support activities for transportation	Agriculture, hunting, forestry	Water transport	Water transport
4	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles	Manufacturing nec; repair and installation of machinery and equipment	Rubber and plastics products	Mining and quarrying, energy producing products	Administrative and support services	Mining and quarrying, energy producing products
5	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	Human health and social work activities	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles	Accommodation and food service activities	Food products, beverages and tobacco

## 4. Заключение

В данной работе нами была рассмотрена сеть затрат между секторами экономики Франции по официальным данным за 2020 год. Были выявлены наиболее уязвимые к различным шоковым явлениям экономики секторы с использованием классических и новых индексов центральности, учитывающие групповое влияние секторов. Наиболее уязвимые сектора экономики заметно меняются при различных параметрах новых индексов центральности.

## Список литературы

1. OECD. <https://www.oecd.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm> (дата обращения 23.11.2023).
2. Acemoglu D., et al. The network origins of aggregate fluctuations // *Econometrica*. 2012. Vol. 80, No. 5. P. 1977-2016.
3. Newman M. *Networks*. Oxford university press, 2018.
4. Aleskerov F., Yakuba V. Matrix-vector approach to construct generalized centrality indices in networks // NRU Higher School of Economics. Series WP7 “Mathematical methods for decision making economics, business and politics”. 2020.