



Предсказать непредсказуемое. Как принимать решения в условиях полного отсутствия информации

Ф.Т.Алескеров (НИУ ВШЭ),
С.Дутта (НИУ ВШЭ),
Д.С.Егоров (НИУ ВШЭ),
Д.С.Ткачев (НИУ ВШЭ)

ЛЕКТОРИЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ ФЭН
31.01.2023

Работа выполнена в рамках
стратегического проекта
«Национальный центр научно-технологического
и социально-экономического прогнозирования»

Глубокая неопределенность

Ситуация глубокой неопределенности характеризуется отсутствием каких-либо статистических оценок развития ситуации*.

Для моделирования последствий в условиях глубокой неопределенности используется сценарный анализ.

Основы сетевого анализа

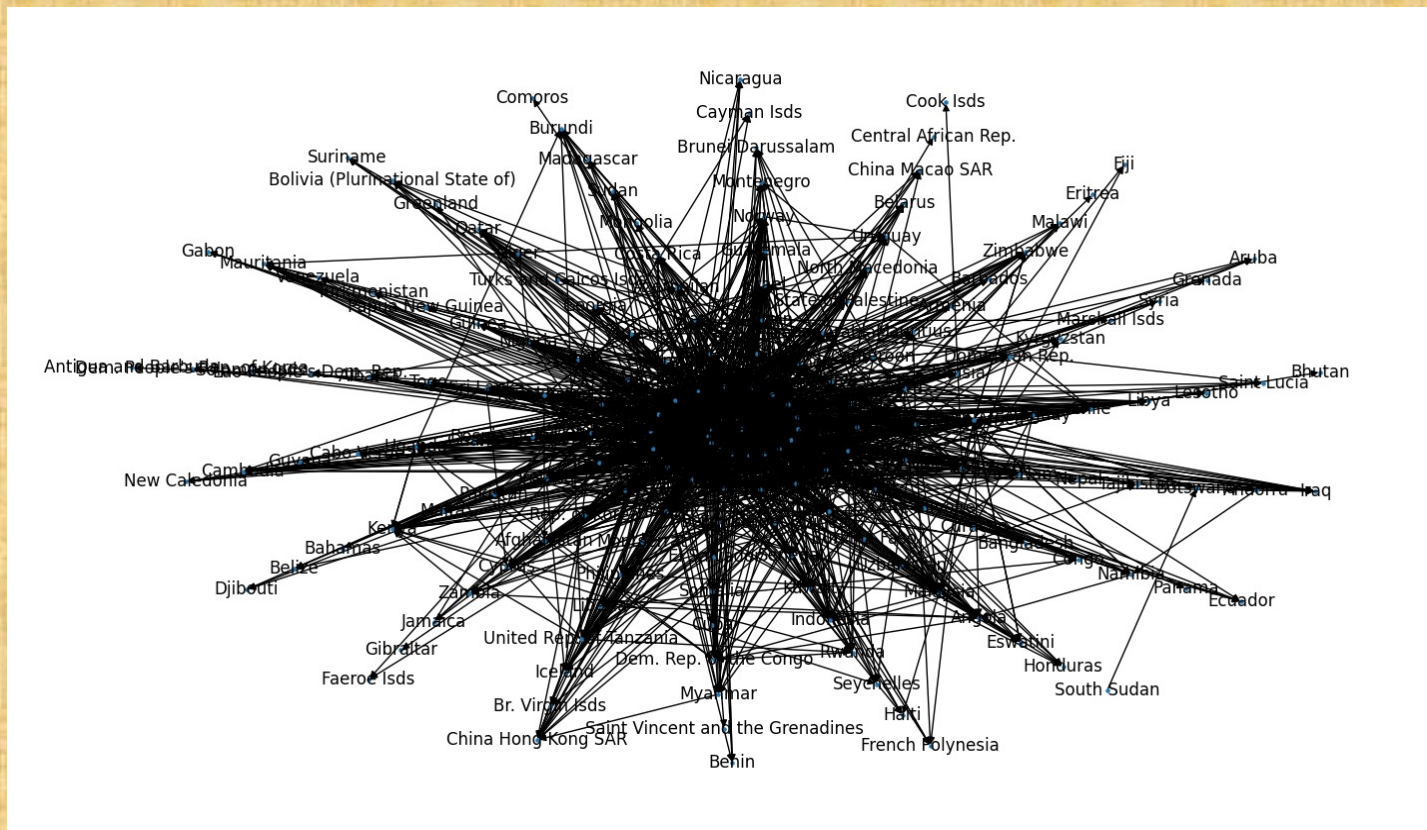
В настоящее время сетевой анализ находит широкое применение в задачах моделирования социальных, экономических, логистических процессов и т. д.

Сеть представляет собой множество вершин, соединенных ребрами. В зависимости от рассматриваемой модели ребра могут иметь направления.

Основы сетевого анализа. Пример

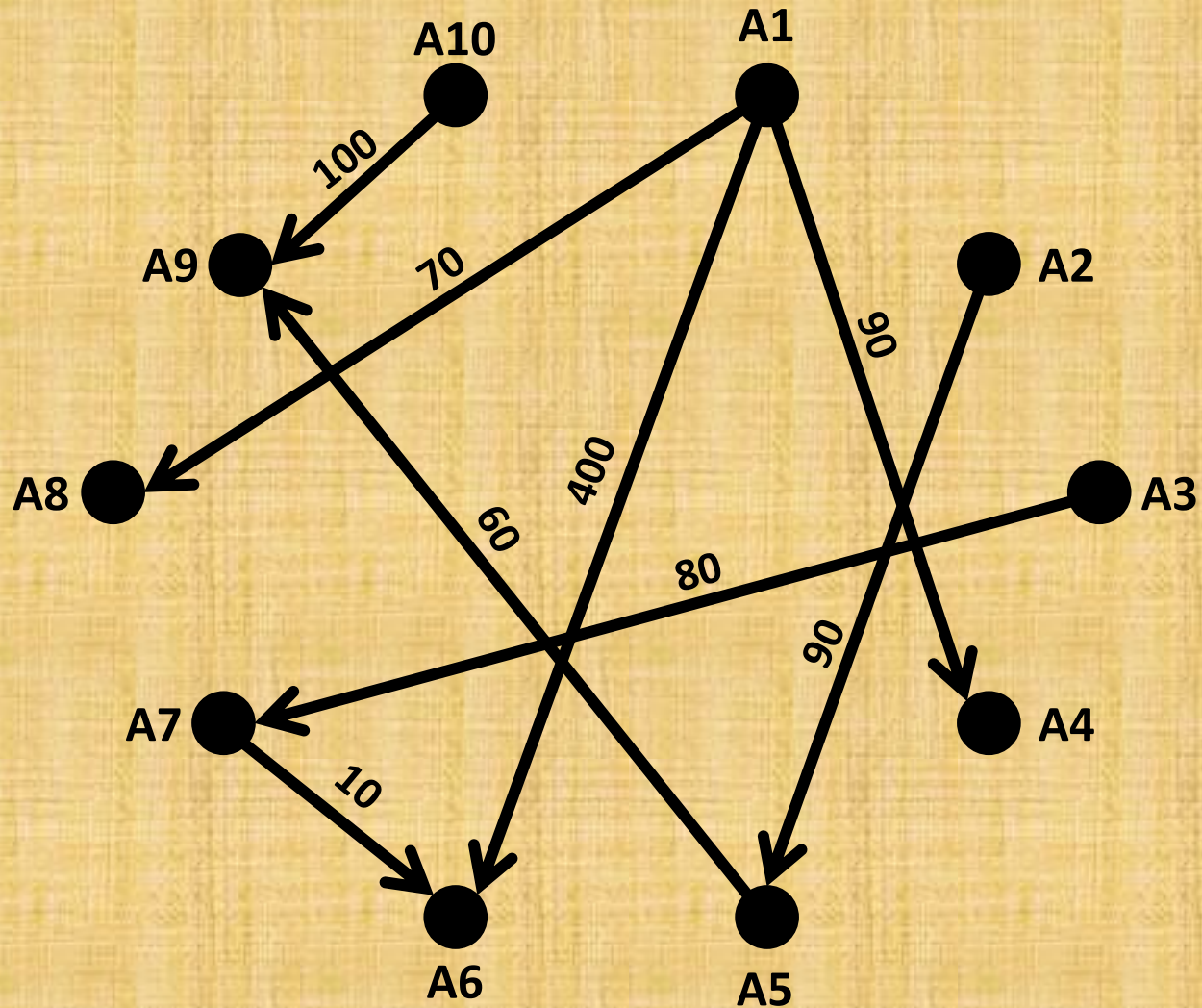
Рассмотрим сеть экспорта продовольствия между странами.

Вершины обозначают страны, стрелки – направление экспорта.



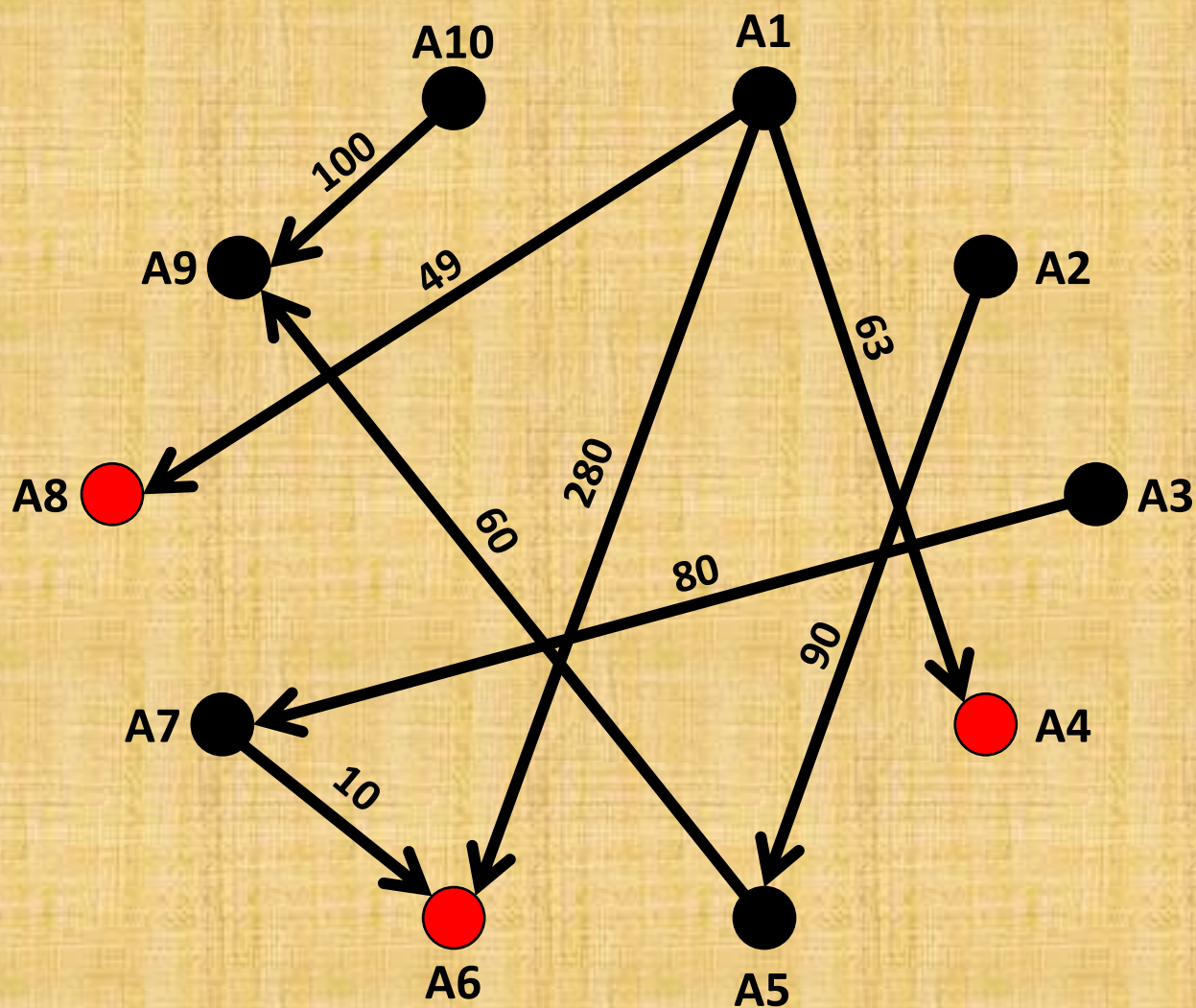
Пример сети экспорта пшеницы в 2020 году

Пример: 10 стран



| | Потребление | Минимальное потребление с учетом рекомендуемой нормы | Экспорт |
|-----------|-------------|--|----------|
| A1 | 600 | 400 | 560 |
| A2 | 400 | 300 | 90 |
| A3 | 150 | 100 | 80 |
| A4 | 120 | 150 | 0 |
| A5 | 350 | 300 | 0 |
| A6 | 500 | 500 | 0 |
| A7 | 500 | 350 | 10 |
| A8 | 250 | 250 | 0 |
| A9 | 450 | 400 | 0 |
| A10 | 400 | 350 | 100 |

A1 сократил экспорт на 30%



| | Потребление | Минимальное потребление с учетом рекомендуемой нормы | Экспорт |
|-----|-------------|--|---------|
| A1 | 600 | 400 | 392 |
| A2 | 400 | 300 | 90 |
| A3 | 150 | 100 | 80 |
| A4 | < 93 | 150 | 0 |
| A5 | 350 | 300 | 0 |
| A6 | < 500 | 500 | 0 |
| A7 | 500 | 350 | 10 |
| A8 | < 250 | 250 | 0 |
| A9 | 450 | 400 | 0 |
| A10 | 400 | 350 | 100 |

Сеть экспорта/импорта

В данной работе рассматривается сеть экспорта основных зерновых культур (пшеница, рис, кукуруза, просо, сорго, рожь, овес, гречиха, ячмень).

Проанализированы данные по экспорту, производству основных зерновых культур, численности населения стран за 2018, 2019, 2020 годы.

Данные по экспорту/импорту

Для анализа объёма импорта были использованы данные из базы данных Организации Объединенных Наций (UN Comtrade)*, которая ведётся статистическим отделом ООН. База данных UN Comtrade содержит детальную статистику импорта и экспорта различных товаров от статистических служб различных стран и территорий.

| | Year | From | To | Quantity (tons) |
|---|------|-------------|----------------------|-----------------|
| 1 | 2018 | Afghanistan | Pakistan | 2 |
| 2 | 2018 | Albania | North Macedonia | 27 |
| 3 | 2018 | Albania | United Arab Emirates | 0.97 |

Пример данных об экспорте/импорте пшеницы (в тоннах)

*UNComtrade Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://comtrade.un.org/data/>

Данные по производству

Данные по производству (выращиванию зерновых культур) были получены из базы данных Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO).

| Area | Quantity (millions of tons) |
|-------------|-----------------------------|
| Afghanistan | 5.19 |
| Albania | 0.23 |
| Algeria | 3.1 |

Пример данных о производстве пшеницы в 2020 году (в миллионах тонн)

Данные по населению

Данные по численности населения получены с сайта ООН*

| | Area | 2018 (millions) | 2019 (millions) | 2020 (millions) |
|----------|-------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | Afghanistan | 36.69 | 37.77 | 38.97 |
| 2 | Albania | 2.88 | 2.88 | 2.86 |
| 3 | Algeria | 41.93 | 42.71 | 43.45 |

Пример данных о населении (в млн чел) стран с 2018 по 2020

Углеводы

Углеводы играют важную роль в обеспечении энергией мозга и тела. Без них организм не может функционировать должным образом, так как углеводы являются основным источником энергии в рационе.

В нашем исследовании минимальное рекомендуемое потребление углеводов принимается равным 47.45 кг в год на человека (130 грамм в день)*.

*European Food Safety Authority (EFSA). Dietary reference values for nutrients summary report. Vol. 14. No. 12. 2017.

Содержание углеводов в зерновых культурах без тепловой обработки*

100 грамм риса содержит 79.95 грамм углеводов.

100 грамм пшеницы содержит 72.57 грамм углеводов.

100 грамм кукурузы содержит 76.85 грамм углеводов.

100 грамм ячменя содержит 73.48 грамм углеводов.

100 грамм просо содержит 72.85 грамм углеводов.

100 грамм сорго содержит 74.63 грамм углеводов.

100 грамм ржи содержит 69.76 грамм углеводов.

100 грамм овса содержит 66.27 грамм углеводов.

100 грамм гречихи содержит 71.5 грамм углеводов.

Модель

Для того чтобы учитывать экспорт и производство всех зерновых культур, мы рассматриваем величины экспорта и производства каждого продукта в количестве углеводов.

Например, Афганистан поставил в Пакистан в 2018 году 327 тонн просо, 2 тонны пшеницы. Тогда будем считать, что экспорт из Афганистана в Пакистан составляет чуть более 239.67 ($0.7285 * 327 + 0.7257 * 2$) тонн углеводов, представленных 327 тоннами просо и 2 тоннами пшеницы.

Зависимость страны от импорта

Страна А зависит от импорта страны В, если в стране А будет наблюдаться нехватка потребления рассматриваемого продукта без импорта из В.

Для выявления данной зависимости вводятся индексы группового влияния, ключевого участника, учитывающие потребление.

Индексы центральности

Для выявления зависимости стран от импорта рассматриваются классические и новые индексы центральности

- Классические*:
 - In-degree
- Новые**:
 - Индекс группового влияния, учитывающий дефицит потребления
 - Индекс ключевого участника, учитывающий дефицит потребления

*Newman M. E. J. The structure and function of complex networks //SIAM review. – 2003. – Т. 45. – №. 2. – С. 167-256.

**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.

Потребление углеводов

Рассмотрим величину FC_i (Food consumption) потребления углеводов на душу населения в стране i .

$$FC_i = \frac{P_i + I_i - E_i}{Pop_i},$$

где P_i – производство продовольствия страны i в углеводах,

I_i – величина импорта продовольствия в i (в углеводах),

E_i – величина экспорта продовольствия из i (в углеводах),

Pop_i - численность населения страны i .

In-degree

Индекс In-degree (CI^0) для каждой страны i равен величине суммарного импорта на душу населения.

Предположим, что население A – 800 ($Pop_A = 800$), B – 1600, C – 1000, D – 1600.

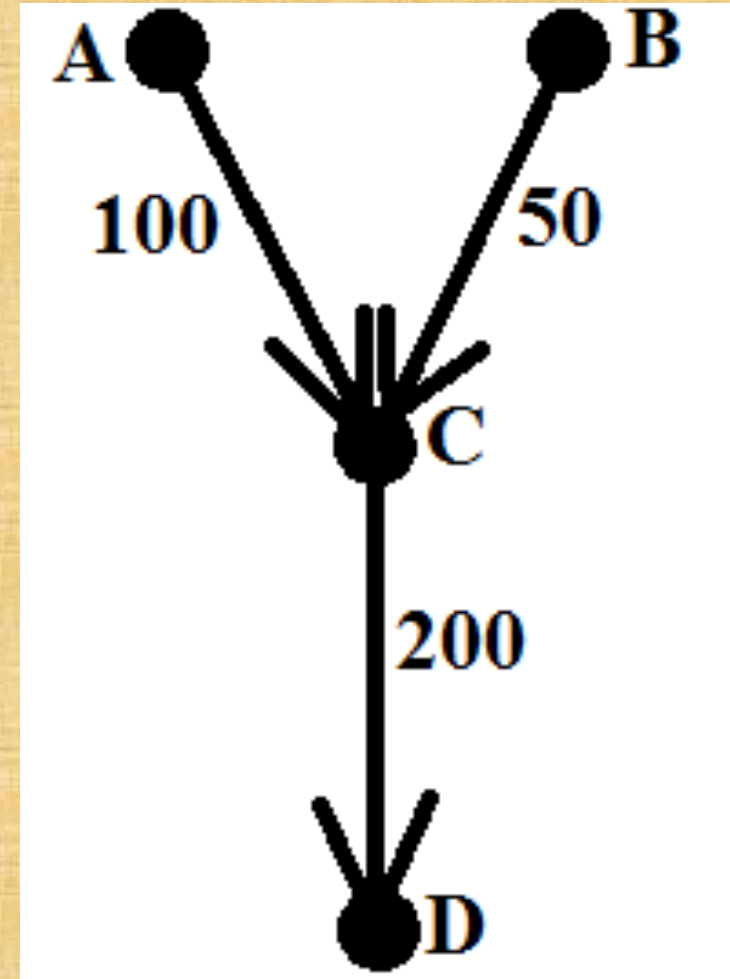
Тогда, для сети на рисунке,

$$CI^0(A) = 0,$$

$$CI^0(B) = 0,$$

$$CI^0(C) = \frac{100+50}{1000} = 0.15,$$

$$CI^0(D) = \frac{200}{1600} = 0.125.$$



Дефицит потребления

Если $FC_i < q$, то в i наблюдается нехватка потребления углеводов на душу населения (величина потребления FC_i ниже установленной нормы q).

Для каждой страны i определим величину дефицита потребления углеводов D_i (deficit) в стране i следующим образом

$$D_i = FC_i - q,$$

где FC_i – величина потребления углеводов на душу населения в i ,
 q – значение минимальной рекомендуемой нормы потребления углеводов на человека.

Дефицит и потребление. Пример

Предположим, что А, В, С, D имеют производство рассматриваемого продукта. Производство в стране А равняется 200 ($P_A = 200$), в В - 210, в С - 290, в D - 40.

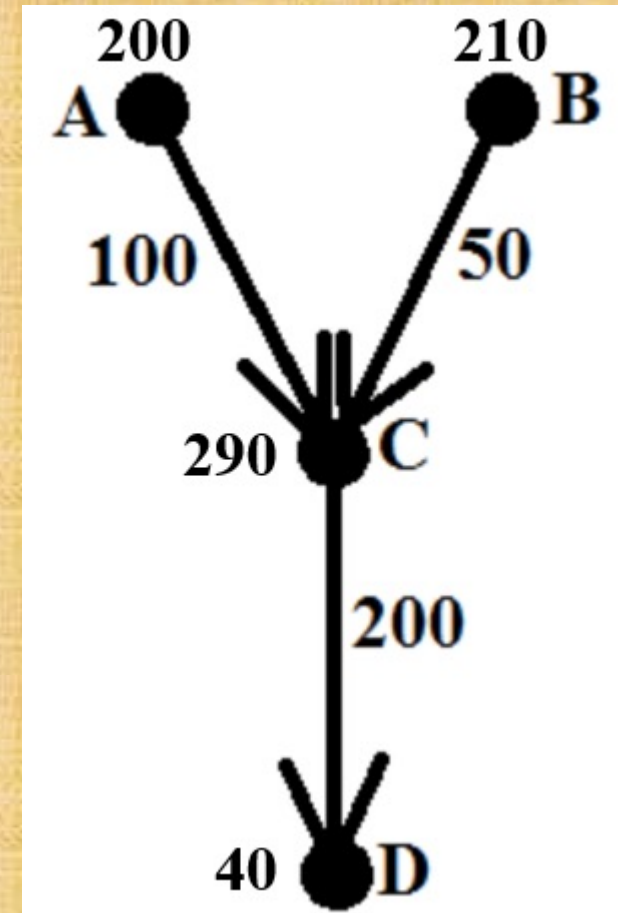
Тогда,

$$FC_A = \frac{200+0-100}{800} = 0.125, D_A = 0.125 - 0.06 = 0.065,$$

$$FC_B = \frac{210+0-50}{1600} = 0.1, D_A = 0.1 - 0.06 = 0.04,$$

$$FC_C = \frac{290+150-200}{1000} = 0.24, D_A = 0.24 - 0.06 = 0.18,$$

$$FC_D = \frac{40+200-0}{1600} = 0.15, D_A = 0.15 - 0.06 = 0.09.$$



Дефицит и потребление. Пример

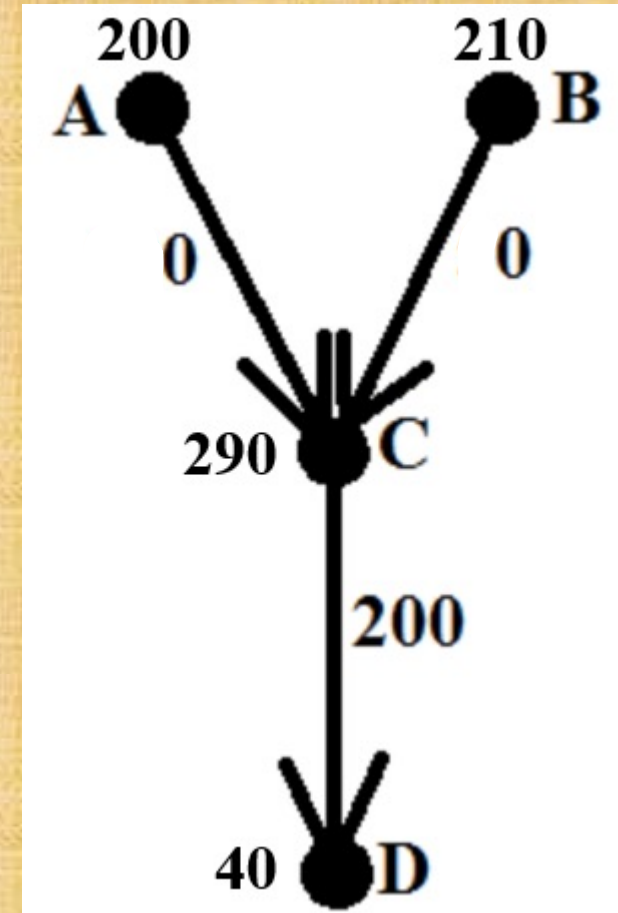
Предположим, что А и В полностью остановят экспорт в С. Тогда,

$$FC_A = \frac{200+0-0}{800} = 0.25, D_A = 0.25 - 0.06 = 0.19,$$

$$FC_B = \frac{210+0-0}{1600} \approx 0.13, D_A = 0.13 - 0.06 = 0.07,$$

$$FC_C = \frac{290+0-200}{1000} = 0.09, D_A = 0.09 - 0.06 = 0.03,$$

$$FC_D = \frac{40+200-0}{1600} = 0.15, D_A = 0.15 - 0.06 = 0.09.$$



Страна С не зависит от импорта.

Дефицит и потребление. Пример

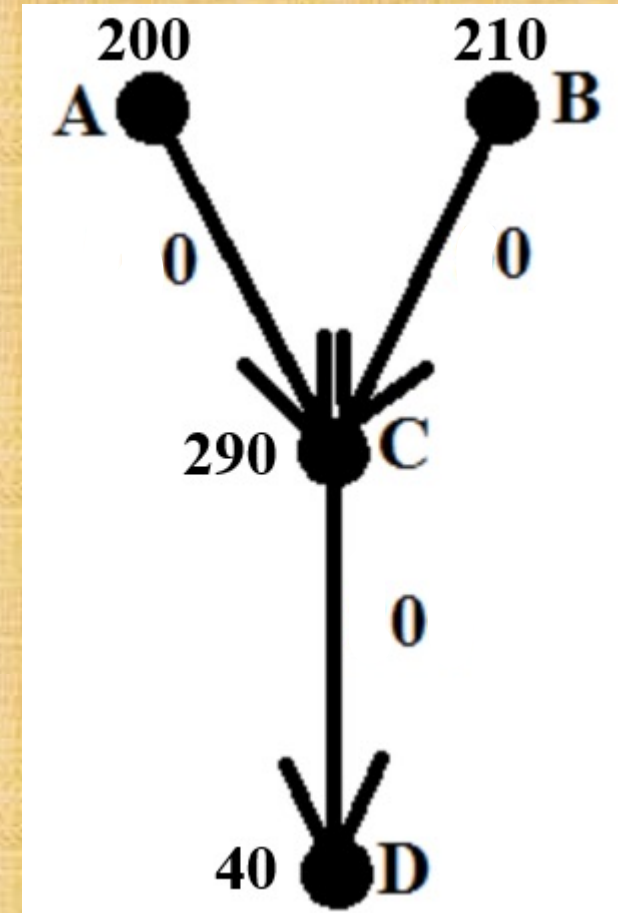
Предположим, что А и В полностью остановят экспорт в С, С также остановит экспорт в D.

$$FC_A = \frac{200+0-0}{800} = 0.25, D_A = 0.25 - 0.06 = 0.19,$$

$$FC_B = \frac{210+0-0}{1600} \approx 0.13, D_A = 0.13 - 0.06 = 0.07,$$

$$FC_C = \frac{290+0-0}{1000} = 0.29, D_A = 0.29 - 0.06 = 0.23,$$

$$FC_D = \frac{40+0-0}{1600} = 0.025, D_A = 0.025 - 0.06 = -0.035.$$



Страна D зависит от импорта.

Индекс группового влияния, учитывающий дефицит потребления

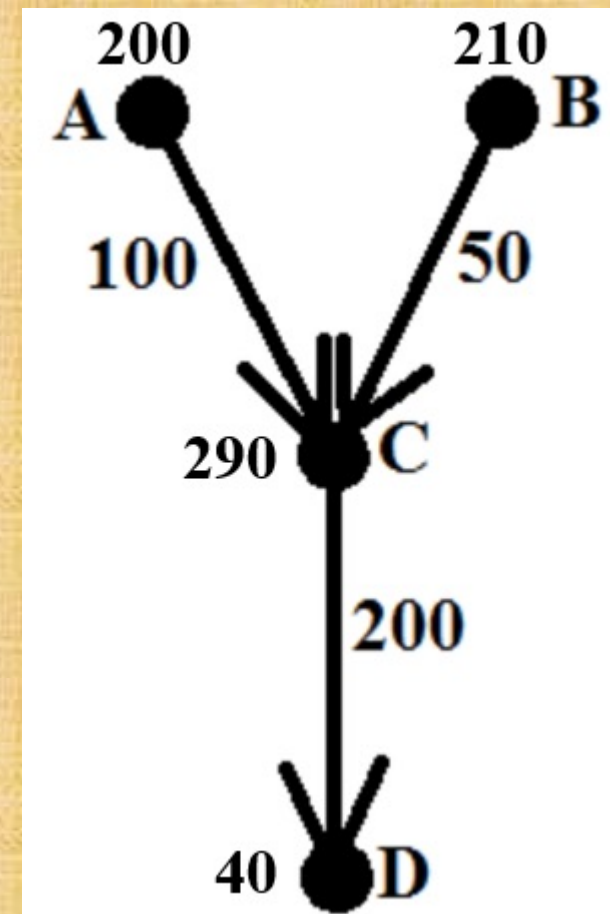
Индекс группового влияния, учитывающий дефицит потребления в i $^{cd}BI^0$ равен количеству групп экспортеров, суммарный экспорт на душу населения которых не меньше D_i .

Для данного примера,

$$^{cd}BI^0(A) = 0, ^{cd}BI^0(B) = 0,$$

У страны С нет групп стран-экспортеров, у которых суммарный экспорт на душу населения не меньше 0.23, $^{cd}BI^0(C) = 0$.

У страны D отсутствие экспорта из С приводит к нехватке потребления, $^{cd}BI^0(D) = 1$.



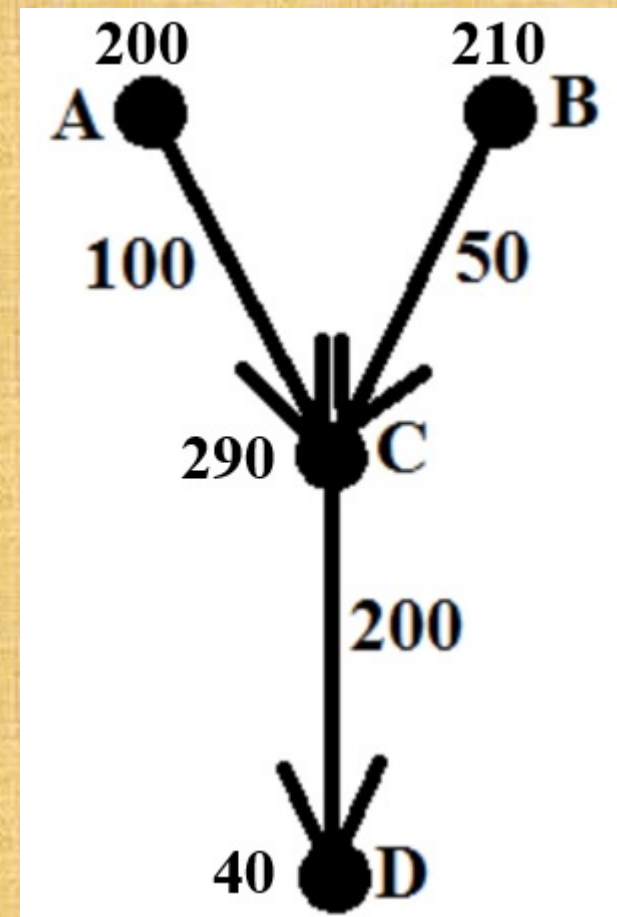
Индекс ключевого участника, учитывающий дефицит потребления

Страна является j является ключевой для страны i в группе S , если суммарный экспорт из S в i меньше D_i без j . Если $D_i < 0$ считаем, что все страны в S ключевые.

Индекс ключевого участника, учитывающий дефицит потребления в i ${}^{cd}PI^0$ равен сумме произведения количества экспортеров в S на количество ключевых экспортеров для страны i по всем группам S .

Для данного примера,

$${}^{cd}PI^0(A) = 0, {}^{cd}PI^0(B) = 0, {}^{cd}PI^0(C) = 0, {}^{cd}PI^0(D) = 1.$$



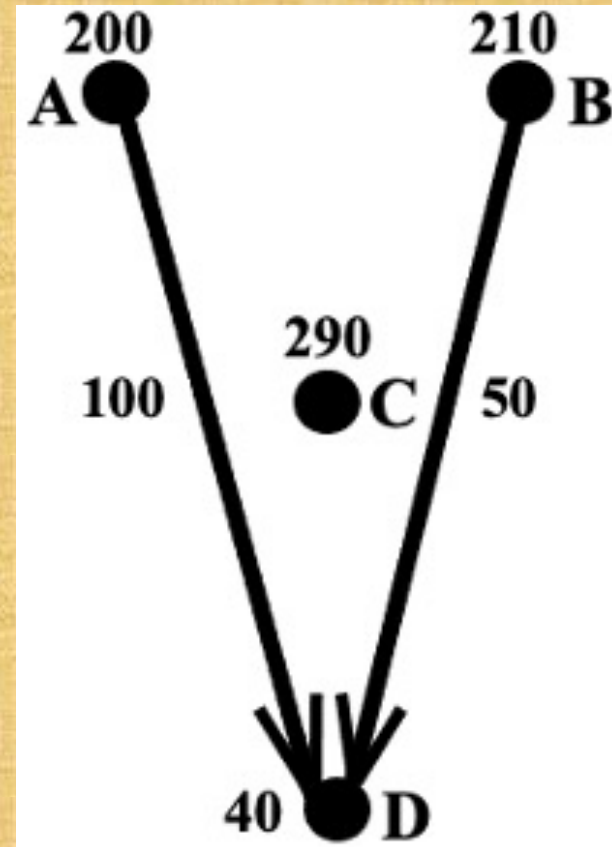
Непрямое влияние в сети

Рассматривая предыдущий пример, можно предположить, что сокращение экспорта из страны j в i может также повлиять на экспорт из i . В этом случае говорят о непрямом влиянии длины 2 страны j на импортеров страны i .

В общем случае, для цепи поставок длины d из j в i говорят о непрямом влиянии страны j на i .

Для того чтобы определить влияние страны j на i длины d рассматриваются всевозможные цепи поставок из j в i длины d . Затем, для каждой цепи определяется наименьшее величина экспорта среди стран цепи и выбирается наибольшее значение среди всех цепей.

Для непрямого влияния длины d индексы центральности $(CI^{d-1}, {}^{cd}BI^{d-1}, {}^{cd}PI^{d-1})$ вычисляются аналогично.



Сценарный анализ

Для моделирования последствия событий, оказывающих влияние на экспорт в сети мы используем сценарный анализ.

Основная цель заключается в нахождении наиболее уязвимых стран в случае, если какие-то страны по различным причинам не могут экспортировать или импортировать рассматриваемое продовольствие.

Сценарный анализ рассматривается нами как процесс моделирования изменения потоков продовольствия независимо от причин данного процесса.

Для реализации сценарного анализа мы используем данные по экспорту и производству зерновых культур за 2020 год.

Нехватка потребления по годам (2018, 2019, 2020)

Красным цветом выделены значения нехватки потребления углеводов на душу населения.
Черным цветом выделены значения избытка потребления углеводов на душу населения.

| Страны | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------|--------|--------|--------|
| Бурунди | -10.62 | -4.59 | -11.27 |
| Вануату | -40.97 | -27.23 | -18.00 |
| Доминика | -34.68 | -19.82 | -29.06 |
| ДР Конго | -12.33 | -11.93 | -12.30 |
| Зимбабве | 63.32 | -1.57 | 87.74 |
| Конго | 2.79 | -1.99 | 5.06 |
| Лесото | 39.83 | -2.41 | 42.86 |
| Палестина | -15.82 | 24.94 | -16.80 |
| Папуа-Новая Гвинея | -18.86 | -13.19 | -10.79 |
| Сан-Томе и Принсипи | -14.20 | -8.07 | -6.92 |
| Соломоновы о-ва | -23.83 | -24.52 | -4.93 |
| Сомали | -12.91 | -13.53 | -12.49 |
| ЦАР | -23.72 | -25.41 | -25.24 |
| Черногория | 23.81 | 13.90 | -7.43 |

Зависимость от импорта по данным за 2020 год

| | In-degree CI^0 | Группового влияния cd_{VI}^0 | Ключевого участника cd_{PI}^0 |
|---|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Сент-Люсия | ДР Конго | ДР Конго |
| 2 | Нидерланды | Черногория | Черногория |
| 3 | Израиль | Конго | Конго |
| 4 | Виргинские острова | Палестина | Палестина |
| 5 | Бельгия | Бурунди | Бурунди |

Сценарий наводнения в Пакистане

В 2022 году в Пакистане произошло сильнейшее наводнение, экспорт и производство зерновых культур в Пакистане полностью прекратилось.

Согласно информации на сайте UNICEF почти 10 миллионов детей в Пакистане страдают от недостатка еды*.

| Страна | Нехватка - до наводнения (кг/чел) | - после наводнения (кг/чел) |
|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Бурунди | -11.27 | -11.32 |
| Вануату | -18.00 | -18.00 |
| Доминика | -29.06 | -29.06 |
| ДР Конго | -12.30 | -12.39 |
| Пакистан | 92.58 | -38.14 |
| Палестина | -16.80 | -16.83 |
| Папуа-Новая Гвинея | -10.79 | -10.79 |
| Сан-Томе и Принсипи | -6.92 | -6.92 |
| Соломоновы о-ва | -4.93 | -4.93 |
| Сомали | -12.49 | -12.49 |
| Союз Коморских островов | 44.44 | -8.60 |
| ЦАР | -25.24 | -25.24 |
| Черногория | -7.43 | -7.91 |

*UNICEF [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unicef.org/emergencies/devastating-floods-pakistan-2022>

Зависимость от импорта

| | In-degree CI^0 , до сценария | Группового влияния $cdVI^0$, до сценария | Ключевого участника $cdPI^0$, до сценария | In-degree CI^0 , после сценария | Группового влияния $cdVI^0$, после сценария | Ключевого участника $cdPI^0$, после сценария |
|---|--------------------------------------|--|---|--|---|---|
| 1 | Сент-Люсия | ДР Конго | ДР Конго | Сент-Люсия | ДР Конго | ДР Конго |
| 2 | Нидерланды | Черногория | Черногория | Нидерланды | Черногория | Черногория |
| 3 | Израиль | Конго | Палестина | Израиль | Пакистан | Пакистан |
| 4 | Виргинские острова | Палестина | Бурунди | Виргинские острова | Конго | Палестина |
| 5 | Бельгия | Бурунди | Конго | Бельгия | Палестина | Бурунди |

Союз Коморских островов

| | | | | | |
|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 99 место | 19 место | 21 место | 194 место | 12 место | 10 место |
|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|

Выводы

- Создана модель сетевого анализа в условиях глубокой неопределенности.
- Эта модель позволяет рассматривать различные сценарии развития ситуации.
- Предложены новые модели поиска уязвимых стран с точки зрения продовольственной безопасности.
- Выявлены страны, наиболее уязвимые к поставкам зерновых культур в рассмотренных сценариях.
- В дальнейшем планируется применить данные модели в анализе сетей экспорта других стратегических продуктов.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Список литературы

- Bloemen P. J. T. M. et al. DMDU into practice: Adaptive Delta Management in the Netherlands //Decision Making under Deep Uncertainty. – Springer, Cham, 2019. – С. 321-351.
- UNComtrade Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://comtrade.un.org/data/>
- UN Population Division Data Portal. – URL: <https://population.un.org/dataportal/home>
- Fatsecret [Электронный ресурс].– URL: <https://www.fatsecret.com/calories-nutrition/usda/whole-grain-wheatflour?portionid=62482&portionamount=100.000>
- Newman M. E. J. The structure and function of complex networks //SIAM review. – 2003. – Т. 45. – №. 2. – С. 167-256.
- 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.
- UNICEF [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unicef.org/emergencies/devastating-floods-pakistan-2022>
- Aleskerov F. T., Dutta S., Egorov D., Tkachev D. Networks under Deep Uncertainty // Procedia Computer Science. 2022. Vol. 214. P. 1285-1292.