EMC 2025

Financial innovation and risk management

Санкт-Петербург, 2025

Каузальные векторные модели для проведения квазиэкспериментов на основе макроэкономических данных

Войтов Николай
НИУ ВШЭ
НУЛ финансовых инноваций и риск-менеджмента

План

1. **Ключевые темы и структура**
   - Контрфактуальная (каузальная) парадигма и ее отличия от классического КРЭ
   - Метод экономических близнецов и контрфактуальное моделирование
   - Платформенная экономика и платформизация потребительских рынков
2. **Источники данных и методология**
   - World Development Indicators (период: 1991 – 2022 гг.)
   - Авторский набор данных
3. **Исследовательский вопрос и гипотеза**
   - Ключевой: каково причинное воздействие платформизации на экономический рост, и дифференцируется ли оно по типам экономик?
   - Вспомогательный: какие модели являются наиболее эффективными с точки зрения робастности полученных результатов?

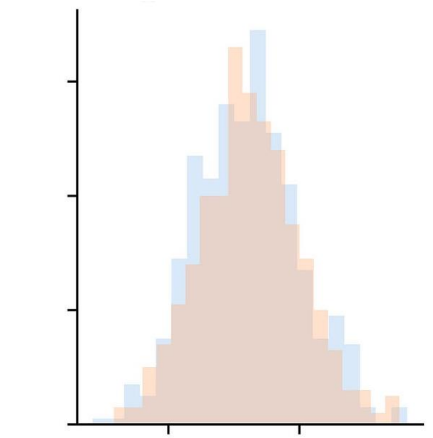
Условия предпочтения квазиэксперимента - эксперименту

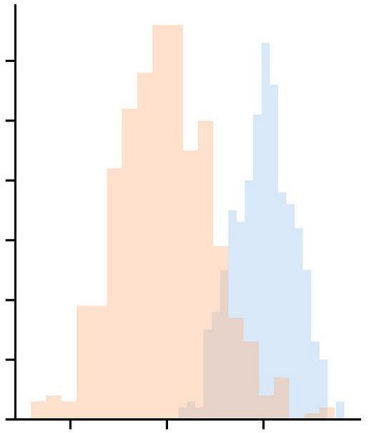
В случае, если:

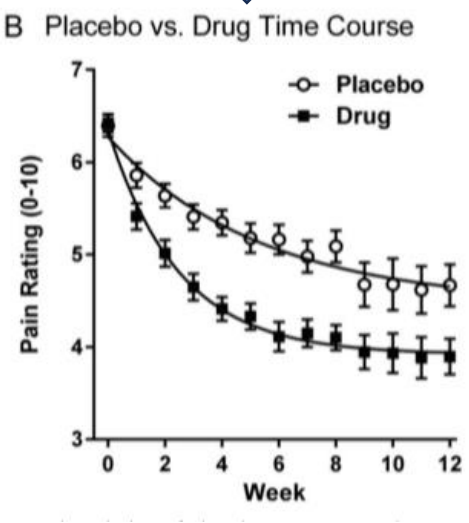
- независимый и случайных характер деления объектов на группы
- Возможность контролировать воздействие на объекты тестовой группы (SUTVA)

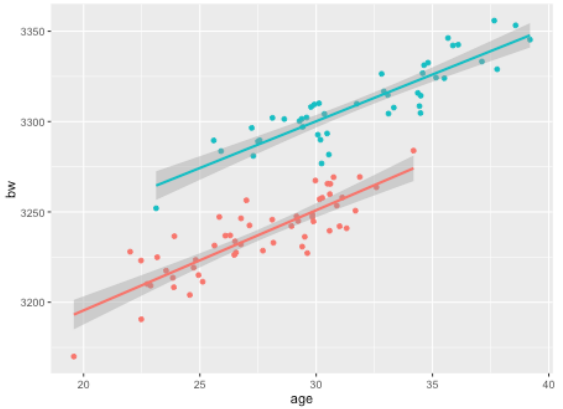
Нарушаются, проведение классического эксперимента не представляется возможным.

Поэтому для решения проблемы *selection bias* применяются различные методы повышения чувствительности.









Источники:

Tuttle AH, Tohyama S, Ramsay T, Kimmelman J, Schweinhardt P, Bennett GJ, Mogil JS. Increasing placebo responses over time in U.S. clinical trials of neuropathic pain. Pain. 2015 Dec;156(12):2616-2626.

Cattaneo, Matias D. "Efficient semiparametric estimation of multi-valued treatment effects under ignorability." Journal of econometrics 155.2 (2010): 138-154.

Квазиэкспериментальная парадигма и методы синтетического контроля

Проблема: невозможно провести рандомизированный контролируемый эксперимент

Решение: апостериорный подбор синтетической контрольной группы для каждой страны с «вмешательством» и создание на ее основе умозрительного «близнеца» страны с вмешательством (контрфактуала)

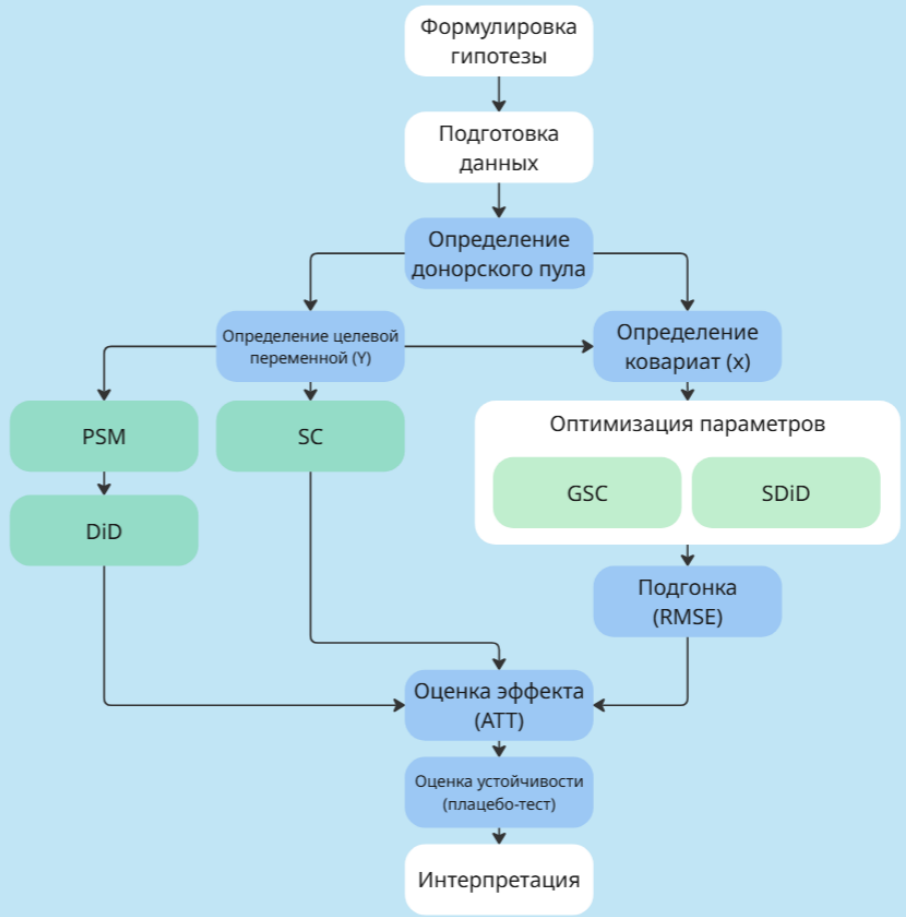
$$\tau_i = Y_{factual} - Y_{counterfactual}$$

Порядок:

1. **Формирование тестовой группы** - стран с платформизированными экономиками
2. **Формирование группы синтетического контроля –** алгоритмический подбор «похожих» стран без вмешательства
3. **Оценка эффекта**: разница между фактиеским и контрфактуальным значением темпа роста ВВП

Преимущества: оцененный эффект является следствием вмешательства.

Источники: Архангельский (2019), Всемирный банк



Метод	Эффект
Синтетический контроль (SC)	$\sum_{t=T_{pre}+1}^{T} Y_{it}$
Разность разностей (DiD)	$\sum_{t=T_{pre}+1}^{T} Y_{it} - \frac{1}{T_{pre}} \sum_{t=1}^{T_{pre}} Y_{it}$
Синтетическая разность разностей (SDiD)	$\sum_{t=T_{pre}+1}^{T} Y_{it} - \sum_{t=1}^{T_{pre}} \hat{\lambda}_t^{sdid} Y_{it}$
Обобщенный синтетический контроль (GSC)	$\sum_{t=T_{pre}+1}^{T} Y_{it} - \left(\hat{x}'_{it}\hat{\beta} + \hat{\lambda}'_i \hat{f}_t\right)$
Сопоставление оценок склонности (PSM)	$\sum_{t=T_{pre}+1}^{T} Y_{it} - \sum_{j \in \mathcal{M}(i)} w_{ij} Y_{jt}$

Оценка статистической значимости потенциальных (контрфактуальных) исходов в квазиэксперименте

Вопрос: как понять, что подгонка не «имитирует» нужный результат

Решение:
1. Применить фиктивное вмешательство для стран-доноров;
2. Сгенерировать контрфактуалы тем же методом, что и для страны с вмешательством на основе собственных стран-доноров;
3. Рассчитать долю случаев, для которых отклонение контрфактуала в пост-периоде было более экстремальным, чем в «истинном» тесте.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^{T_0} \frac{\left(\hat{Y}_{jt} - Y_{jt}\right)^2}{n}}$$

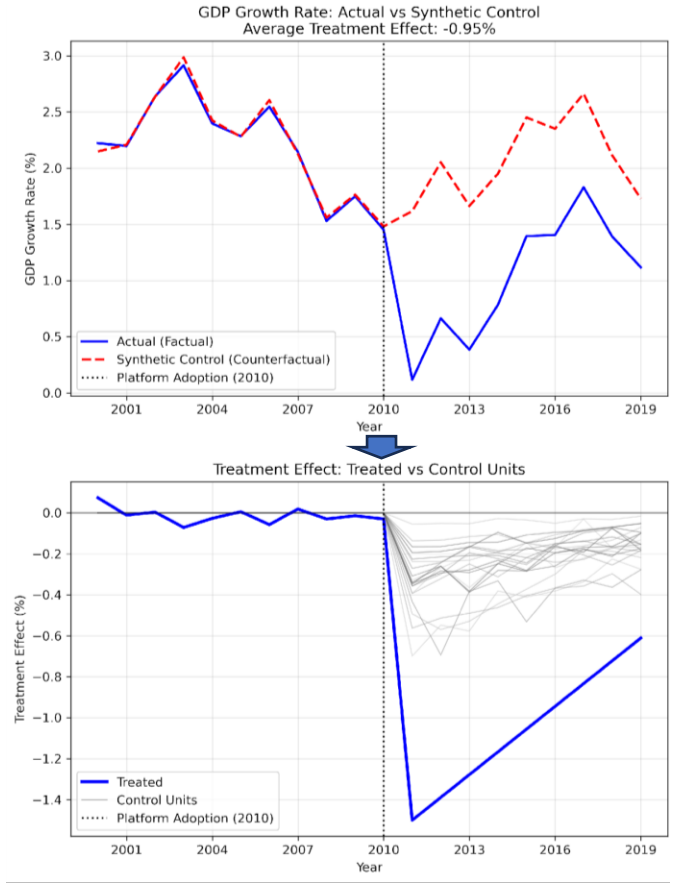
$$Ratio = \frac{RMSE_{post}}{RMSE_{pre}}$$

$$p\text{-}value = \frac{\sum_{j=2}^{J+1} I\left(Ratio_j \geq Ratio_1\right)}{J}$$

Интерпретация:

P-value – это вероятность получить для данной вероятностной модели распределения значений случайной величины такое же или более экстремальное значение статистики (Ratio), по сравнению с ранее наблюдаемым, при условии, что нулевая гипотеза верна.

Источники: Abadie (2015, 2019, 2021)



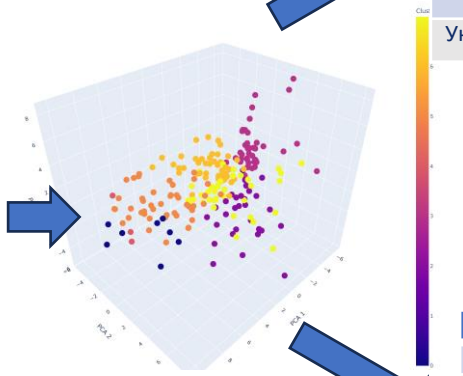
Подготовка данных и методы формирования донорских групп (цепочки и кластеры)

Источники:

1. **56 крупнейших ЦМСП** (фиктивная переменная платформизации экономики), собрано автором на основе открытых данных
2. **WDI**: 264 переменные, 217 стран, 1991-2023 гг.

Подбор групп синтетического контроля на основе Economic2Vec модели

1. Нейросетевой автоэнкодер панельных данных высокой размерности
2. Создает страновые векторы (эмбеддинги), которые затем могут сравниваться;
3. Размерность данных не понижается, «близнец» определяется на основе всех доступных данных



Страна	K	«Близнец»	Расстояние
Туркмениста	1	Узбекистан	0.6465
Узбекистан	1	Туркменистан	0.6465
Киргизия	1	Таджикистан	0.6127
Таджикистан	1	Киргизия	0.6128
Беларусь	1	Украина	0.6089
Украина	1	Беларусь	0.6089

Страна	«Близнец»	Расстояние
Россия	Украина	0.5533
Россия	Беларусь	0.5313
Россия	Болгария	0.5202
Россия	Бруней	0.5146
Россия	Казахстан	0.5135
Россия	Словения	0.5053
Россия	Румыния	0.5051

Causal Economic2Vec (CE2V) – векторная модель генерации контрфактуалов

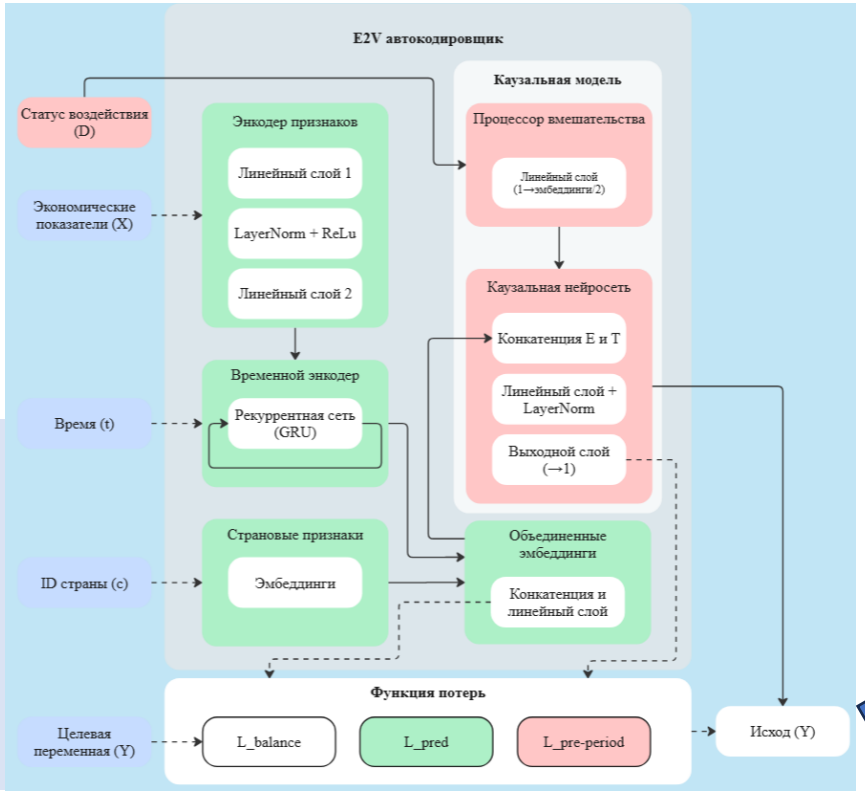
Проблема: рассмотренные контрфактуальные методы либо не учитывают ковариаты, либо используют ковариаты, подобранные на основе эвристик

Решение:

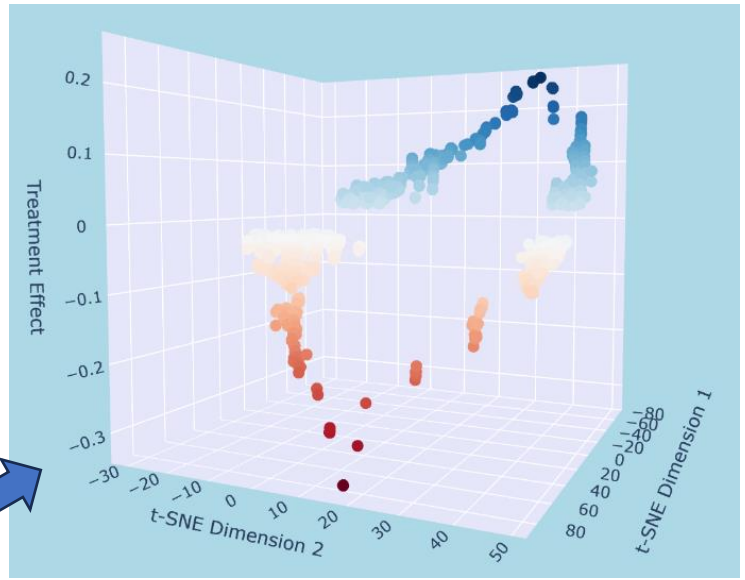
1. Построение векторной модели, обучающейся на полном наборе данных
2. Встроенный балансировочный механизм (по аналогии с PSM)
3. Учитывает эффекты «перелива» из-за рекуррентного модуля при обучении

Архитектура:

1. **Векторизатор**: $E_{it} = f_\theta(X_{it}, i, t)$ - создает итоговый вектор для каждой страны из панельных данных
2. **Каузальная модель**: $Y_{it} = g_\phi(E_{it}, D_{it}, i) + \varepsilon_{it}$ - генерирует контрфактуальное значение для стран с вмешательством в пост-периоде
3. **Функция обучения**: $\mathcal{L} = \mathcal{L}_{pred} + \lambda_1 \mathcal{L}_{balance} + \lambda_2 \mathcal{L}_{pretrain}$ - метрика, которую модель учится минимизировать (в данном случае «темп роста ВВП»)



32-мерные векторы, сниженные до 3-мерных методом t-SNE, на этапе оценки контрфактуалов



Обзор литературы и существующие определения

Можно выделить следующие концептуальные направления исследований в области многосторонних платформ:

- “Многосторонние цифровые платформы” (OECP): “это цифровая услуга, которая облегчает взаимодействие между двумя или более различными, но взаимозависимыми группами пользователей (будь то фирмы или частные лица), которые взаимодействуют с помощью сервиса через Интернет”.
- “Экосистемы, основанные на платформе” (Tiwana, 2014): “Совокупность платформ и приложений, специфичных для ИТ, где платформы представляют собой расширяемую кодовую базу программной инфраструктуры, которая обеспечивает основные функциональные возможности, совместно используемые приложениями, взаимодействующими с ИТ, и интерфейсы, через которые они взаимодействуют”.
- “Экономика цифровых платформ” (Кенни, Зайсман, 2016): “...более нейтральный термин, который охватывает растущее число видов деятельности, связанных с цифровыми технологиями, в бизнесе, политике и социальном взаимодействии”.
- “Matchmaker” (Evans, Schmalensee, 2016): “...работают по другим экономическим правилам. Например, традиционные производственные предприятия покупают сырье, производят товары и продают их клиентам. Но рабочим материалом для «Matchmaker» являются различные группы покупателей, которых они помогают объединить, а не то, что они покупают вообще. И часть того, что они продают членам каждой группы, - это доступ к членам других групп. Все они управляют физическими или виртуальными местами, где собираются члены этих различных групп”
- “Транснациональные мультиплатформенные корпорации” (Zeng, Khan и De Silva, 2019): “...Поскольку ММРС в значительной степени зависят от взаимодействия с внешними ресурсами для создания ценности, необходимо понимание того, как ММРС могут генерировать будущие активы и создавать новые знания для поддержания своей конкурентоспособности на различных рынках”.

Источники данных и географическое распределение экосистем

Ключевыми источниками, использованными в исследовании, являются “World Development Indicators”, которые ежегодно публикуются Всемирным, и авторский датасет, основанный как на существующих исследованиях (Acs, 2021), так и далее сформулированных критериях.

WDI состоят из 1497 макроэкономических показателей и показателей развития стран 197 стран за период с 1961 по 2023 год. Как будет показано далее в презентации, 43 регрессора (признака) были оставлены, остальные опущены из-за высокой доли пропусков и высокой корреляции (>0,5).

Авторский набор данных об экосистемах (56 объектов) в разбивке по регионам, секторам происхождения и количеству:

	Africa	East Asia	Eurasia	Europe	Latin America	Middle East	North America	South Asia	Southeast Asia	Total
Banking				2		2				**7%**
Delivery					2	2	1	2	3	**18%**
E-commerce	1	3	1			4	2	2	1	2 **29%**
Electronics								1	1	**4%**
Finance	1							1	1	1 **7%**
Manufacturing									1	**2%**
Search		3	1					1		**9%**
Social		3	1	2						**11%**
Software								1		**2%**
Telecom	3		1			1		1	1	**13%**
Total	**9%**	**16%**	**11%**	**7%**	**16%**	**5%**	**16%**	**7%**	**13%**	**56**

Источник: авторская разработка

Возможное определение (для) ЦМСП

Итак, для достижения лаконичности названия предлагается следующее определение:

- **Цифровая многосторонняя платформа** - это компания или группа компаний с общей структурой акционеров и технологическим ядром, которые используют платформу для организации многосторонних рынков в нескольких смежных отраслях, чаще всего в потребительском секторе, для установления монопольного положения

То есть эти организации обычно обладают общим брендингом (логотипом), передовыми рекомендательными алгоритмами для всех своих подразделений (новизна экосистемы, которая не подлежит регулированию). В качестве ярких примеров можно назвать такие компании, как **Mercado Libre, Alibaba, Яндекс, GoTo, Sea, платформы Jio и Alphabet** (на данный момент в авторском списке 56 компаний). А экосистему можно рассматривать как объединение многосторонних платформ.

Формальные критерии (определения) цифровой многосторонней платформы

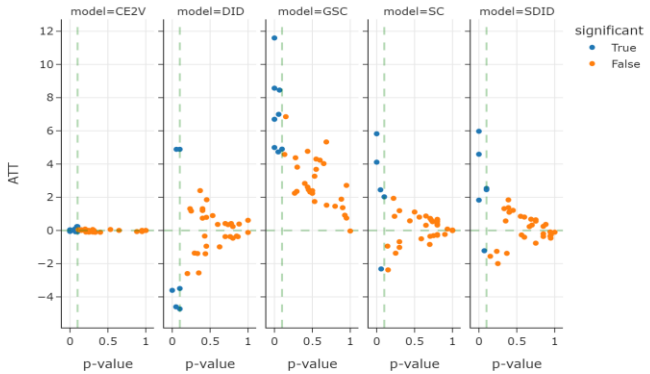
Признак	Значение признака	Комментарий
Кросс-индустриальное присутствие	Не менее трех смежных потребительских отраслей	Подчеркивает возможность экосистемы использовать те же рынки спроса (т.е. тех же участников) для формирования новых рынков предложения
Охват	Не менее 10% населения в регионе присутствия	Подчеркивает охват и универсальный характер экосистемы
Платформенная модель	Общее приложение (сайт) для supply и demand side (могут быть раздельными)	Подчеркивает отсутствие товаров и/или услуг на собственном балансе экосистемы
Платность доступа	С обеих сторон взимается комиссия в виде доли транзакции (как правило, 5-30% от суммы) на платформе	С supply side может также взиматься регулярная плата за право доступа к demand side
Правила пользования	Условия взимания штрафов и ограничения доступа к сервисам платформы при определенных нарушениях	Для уменьшения негативных экстерналий

Источник: авторская разработка

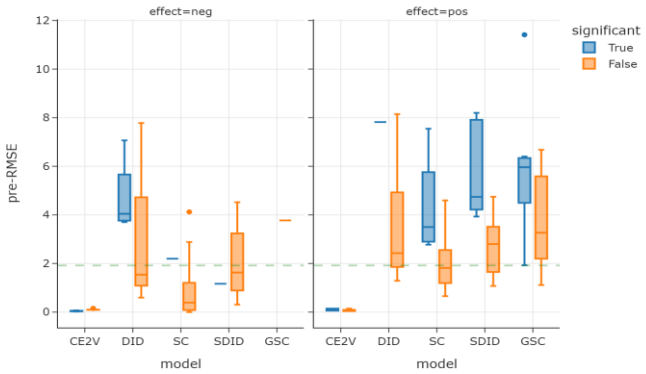
Сравнение полученных модельных оценок (1/2)

Модель	Синт. контроль	Эффект	Пре-ВВП	Пост-ВВП	Пост-ВВП (контр.)	Эффект (п.п.)	Эффект (%)	Значим. (%)	Пре-RMSE	Пост-RMSE	Ratio
DiD	Кластеры	+ (n=8)	3.55	3.44	2.28	1.16	50.6	0	3.38	2.95	1.02
DiD	Кластеры	- (n=10)	4	3.22	5.3	-2.09	-39.4	20	3.03	3.93	1.55
DiD	Цепочки	+ (n=10)	3.84	3.84	2.49	1.35	54.1	0	4.44	3.04	0.88
DiD	Цепочки	- (n=8)	3.55	2.73	3.87	-1.15	-29.6	12.5	3.5	3.16	1.32
SDiD	Кластеры	+ (n=9)	4.86	4.65	2.51	2.14	85.5	0	3.85	3.09	0.92
SDiD	Кластеры	- (n=9)	2.42	2.07	2.76	-0.69	-25	22.2	2	2.34	1.59
SDiD	Цепочки	+ (n=11)	4.18	4.2	2.85	1.35	47.3	0	3.18	2.51	0.85
SDiD	Цепочки	- (n=7)	2.84	2.08	2.75	-0.67	-24.5	28.6	1.7	2.17	1.57
SC	Кластеры	+ (n=10)	3.87	4.38	2.59	1.79	69.2	0	2.9	3.05	1.38
SC	Кластеры	- (n=8)	3.49	2.22	3.05	-0.83	-27.2	12.5	1.4	2.69	7.53
SC	Цепочки	+ (n=12)	4.02	4.19	3.03	1.16	38.4	0	2	3.29	1.67
SC	Цепочки	- (n=6)	2.62	2.13	2.89	-0.76	-26.3	16.7	0.65	2.33	8.93
GSC	Кластеры	+ (n=17)	4.04	3.32	-0.88	4.2	477.6	5.9	3.96	7.31	2.56
GSC	Кластеры	- (n=1)	0.85	1.29	1.32	-0.03	-2.5	0	3.77	3.69	0.98
GSC	Цепочки	+ (n=18)	3.73	3.29	-0.52	3.8	736.2	5.6	4.47	6.45	1.9
GSC	Цепочки	- (n=0)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CE2V	Кластеры	+ (n=7)	4.3	5.07	4.67	0.4	8.6	42.9	0.58	0.87	3.73
CE2V	Кластеры	- (n=11)	3.35	2.19	2.48	-0.29	-11.8	54.5	0.34	0.57	3.17
CE2V	Цепочки	+ (n=3)	6.52	6.11	5.55	0.56	10.1	33.3	1.14	1.01	2.34
CE2V	Цепочки	- (n=15)	3.38	2.52	3.15	-0.63	-20.1	46.7	0.47	0.86	3.08

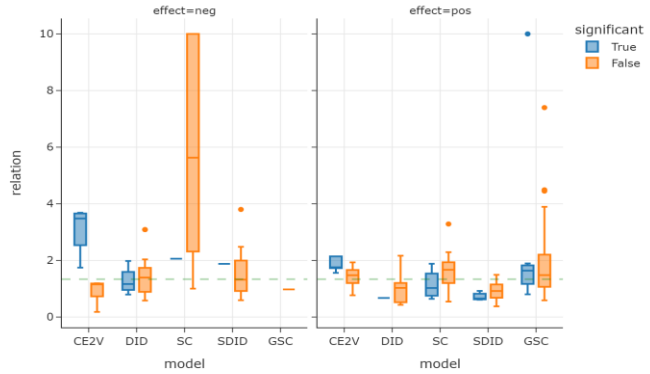
Сравнение полученных модельных оценок (2/2)



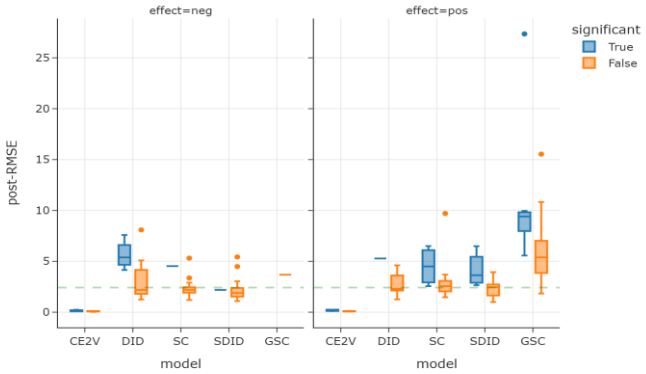
Распределение эффекта в зависимости от p-value стремится к нормальному.



Стат.значимые контрфактуалы аппроксимируют данные в пре-периоде хуже



Ухудшение подгонки для стран с положительным эффектом более выраженное



Качество подгонки в пост-периоде для стат.значимых результатов существенно отличается

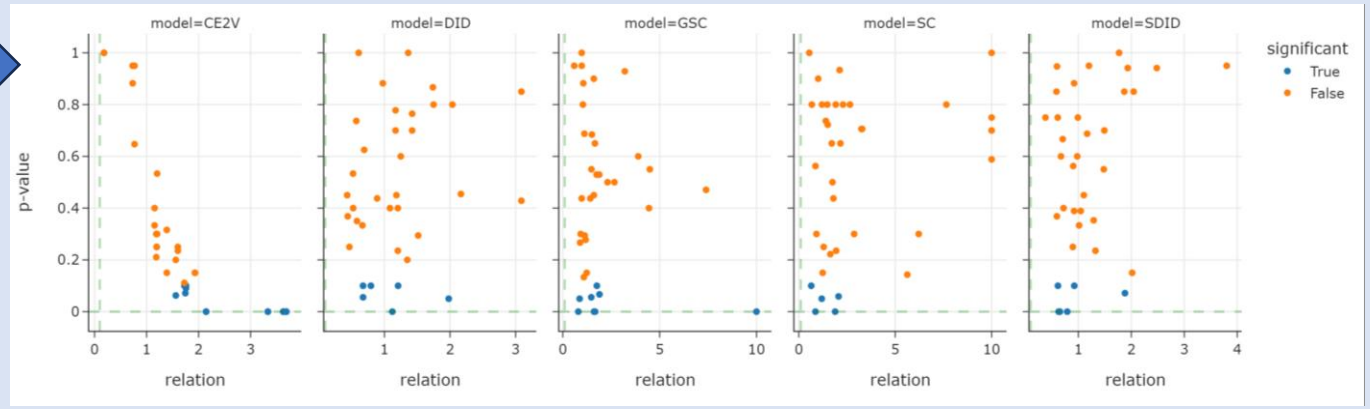
Эмпирические оценки и тестирование гипотез

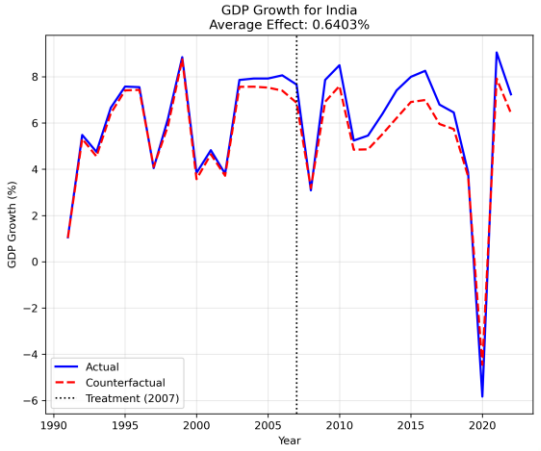
Тестирование гипотез:

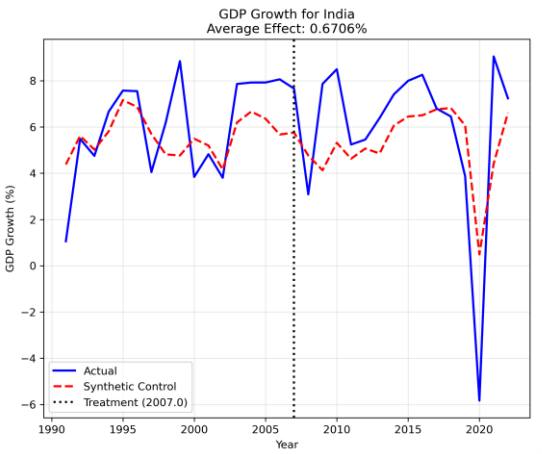
1. ❌ Чем ниже pre-RMSE, тем выше доля стат.значимых результатов
2. ✅ Дифференцированное воздействие по уровню развития
3. ✅ Устойчивость кумулятивного эффекта

Идентифицированные кластеры (паттерны влияния) платформизации:

1. 🟢 (от +0.5 до +1.5 п.п.): азиатские экономики (КНР, Индия, Индонезия) в результате развития цифровой инфраструктуры и новых отраслей
2. 🟡 (от ±0.2 до +0.4 п.п.): развитые экономики (Германия, Нидерланды, Испания) в результате сокращения издержек и незначительного перераспределения благ
3. 🔴 (от -0.7 до -1.0 п.п.): страны с институт.барьерами (Аргентина, Колумбия) в результате формирования «двухскоростной» экономики







Выводы

1

- В результате можно отметить, что модель CE2V продемонстрировала наибольшую долю стат. значимых результатов и позволила идентифицировать три кластера эффектов платформизации
- 1. Положительный эффект (+0.5-1.5 п.п.): Азиатские развивающиеся экономики
- 2. Умеренный эффект (+0.2-0.4 п.п.): Развитые индустриальные страны
- 3. Отрицательный эффект (-0.7-1.0 п.п.): Экономики с институциональными барьерами

2

- Полученные результаты позволяют судить о преимуществах подхода CE2V в сравнении с классическими контрфактуальными моделями в отношении качества подгонки (среднеквадратичная ошибка 0.58 п.п. при среднем значении метрики темпа роста ВВП в 3.65% за наблюдаемый период)

Спасибо за внимание!

Q & A?

Контакты: nvvoitov@gmail.com