

## 1.11. ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ НЕЛИНЕЙНОСТИ КАПИТАЛОВ

Грачёв И.Д., д.э.н., г.н.с. ЦЭМИ РАН, г. Москва,  
 Ноак Н.В., к.п.н., в.н.с. ЦЭМИ РАН, г. Москва  
 Ларин С.Н., к.т.н. в.н.с., ЦЭМИ РАН, г. Москва  
 Волкова А. Д., н.с., ЦЭМИ РАН, г. Москва

*Основная цель настоящего исследования заключается в том, чтобы проверить на цифровых моделях гипотезу, согласно которой влияние нелинейности перераспределения капиталов при имеющих место в реальности больших ошибках оценивания не является значимым для экономических систем в целом. Расширение областей применения модели доказывает, что она становится всё более универсальной. Это заставляет нас пересмотреть точность ее обоснований. В модели рынок рассматривается как новая кооперативная сущность. Для продвижения этой модели как универсальной, желательно снять противоречие нелинейности. Более тонкий анализ предполагает включение в решение основных задач экономики рандомизированных индивидуальных леонтьевских матриц. В ходе проведения опросов обычных людей и профессиональных экономистов было выявлено, что их результаты показывают значительный разброс оценок фундаментальности требования нелинейности перераспределения. В методологическом плане получены эмпирические результаты моделирования воздействия нелинейности доходов на страны с разным уровнем обеспечения капиталом и ресурсами. Для учета огромных случайных колебаний динамики развития экономической системы при больших ошибках оценивания, представляется целесообразным использовать схему конкуренции двух почти тождественных стран, отличающихся по трем факторам: нелинейность перераспределения; уровень случайных ошибок оценивания; обеспеченность природными ресурсами.*

### Введение

В серии предыдущих работ авторами использовалась цифровая модель рыночных и гибридных экономик для решения целого ряда практических и теоретических задач экономики от оптимизации распределения ресурсов по производству сельскохозяйственных культур до оценки негативных эффектов маржинального преобразования в электроэнергетической отрасли [Грачёв и др., 2020а, 2020b, Gertsekovich, 2020]. В связи с расширением области применения модели она становится всё более универсальной. Это заставляет нас ещё раз пересмотреть точность ее обоснований.

### Основная часть

Базовые основы модели просты и логичны. Мы рассматриваем рынок не как механическую сумму взаимодействующих в обменных операциях агентов, а как кооперативную новую сущность, автоматически решающую две основные задачи экономики:

1. Определение (оценивание) рыночных стоимостей;
2. Перераспределение капитала по результатам обмена от неэффективных агентов (оценщиков) к эффективным.

Второе утверждение на языке фондовых рынков формулируется в виде «работаешь (оцениваешь) хуже рынка – теряешь деньги, оцениваешь лучше – получаешь». В самой общей формулировке – «все мы в этом мире оценщики, и от индивидуальных ошибок оценивания зависит изменение нашего состояния». Однако, модель может формулироваться и в обычных терминах соотношения рыночной цены и себестоимости товаров.

При этом с учётом больших по меркам метрологии ошибок (к примеру, себестоимость «зерна», производимого агентами, имеет огромную случайную составляющую) как систематических, так и случайных, мы изначально считали целесообразным моделирование аксиом (1) и (2) в линейном приближении.

Тогда для однотоварной модели они без учёта природных ресурсов сводятся к простейшей формуле изменения капиталов  $A$  за цикл  $i = i+1$ , а именно:

$$A(i+1) = A(i) + A(i) \cdot \langle \xi(i) \rangle - A(i) \cdot \xi(i) \quad (1)$$

где  $i$  – цикл;

$A(i)$  – вектор капиталов агентов, задействованных в обменных операциях на  $i$ -цикле;

$\xi(i)$  – вектор относительных индивидуальных отклонений себестоимостей производства «товара» (более широко относительных ошибок оценивания) агентов от рыночной стоимости;

$\cdot$  – символ поэлементного матричного умножения.

$\langle \xi(i) \rangle$  – оценка рыночной стоимости.

Она определяется как наиболее вероятная цена, а практически находится линейным капиталистическим усреднением.

$$\langle \xi(i) \rangle = (A^t(i)^* \xi(i))^* (A^t(i)^* I)^{-1}. \quad (2)$$

При этом вторая формула реализует первую аксиому в линейном приближении, а первая формула реализует вторую аксиому также в линейном приближении.

Обязательное задействование природных ресурсов, в частности труда, которые собственно и обеспечивают рост по  $i$  проще всего смоделировать дополнительным агентом с доступным к использованию количеством  $A$  и условной себестоимости ( $\mu$ ) равной себестоимости 0-агента, т.е. бесприбыльного и безубыточного агента при данном уровне доступности природных ресурсов  $\Pi$ .

Это выражается формулой (3):

$$Q(i) = A^t(i)^* I \quad (3)$$

где  $Q$  – суммарный капитал системы;

$I$  – единичный вектор.

Приближённый переход к многотоварной (многоотраслевой) модели сводится к построению блочного вектора  $A$ , что мы, в частности, использовали при анализе маржинального ценообразования в электроэнергетике и многоотраслевом сельском хозяйстве [Gertsekovich, и др., 2020].

Более тонкий анализ предполагает включение в выражения (1) и (2) рандомизированных индивидуальных леонтьевских матриц [Грачёв и др., 2021]. Однако для того, чтобы продвигать модель как универсальную, желательнее снять противоречие нелинейности.

Имеют место серьёзные исследования, в частности, нобелевских лауреатов Канемана и др. [Канеман, 2021], которые с использованием реальных пассивных и активных экспериментов доказывают, что в формуле (1) перераспределение является нелинейным.

Также не менее серьёзные исследователи, в частности Маслов [Маслов, 1977], утверждают, что и усреднение по формуле (2) тоже должно быть нелинейным.

В настоящей работе мы не будем проверять нелинейность усреднения, прежде всего потому, что нам неизвестен ни один практический оценщик, который «законным образом» применяет нелинейные усреднения при оценках рыночной стоимости.

1) По формуле (1) картина не столь очевидна.

Так, опросы обычных людей и профессиональных экономистов показывают значительный разброс оценок фундаментальности требования нелинейности перераспределения.

В августе 2022 года на платформе Анкетолог.ру был проведен опрос специалистов, в том числе – экономистов. Выборка составила 70 человек. Из них – 72,9% женщины, 27,10% мужчины. Большинство респондентов (32,9 %) проживают в городе-миллионнике, еще 32,8% респондентов проживают в крупных городах (от 250 тыс. до 1 млн человек). Подавляющее большинство респондентов работают в найме (75,7%).

**№8. Сколько Вам нужно денег в расчете на одного человека в месяце, чтобы жить комфортно?**

Из 68 респондентов, ответивших на вопрос: 33,8% (23 респондента) достаточно в расчете на 1 человека 50 тыс. рублей; 27,9 % (19 респондентов) ответили, что им достаточно менее 50 тыс. рублей (от 15 тыс. рублей до 50 тыс. рублей); 38,2% (26 респондентов) ответили, что им необходимо более 50 тыс. рублей, из них 16,2% (11 респондентов) ответили, что им необходимо 100 тысяч рублей в месяце.

**№9. Какой у Вас среднемесячный доход (зарплата, подработки, доход от сдачи квартиры в аренду и др.)?**

При этом из 68 респондентов среднемесячный доход выше 50 000 рублей имеют 26,5% (18 респондентов), из которых лишь 13% (9 респондентов) выше или равно 100 тыс. рублей; 14,7% (10 человек) имеют доход 50 тыс. рублей; 60,3% (41 человек) имеет доход ниже 50 000 рублей.

**№10. Какие способы преумножения капитала вы используете (помимо основной работы)?** Смотри результаты на рисунке 1.

**№ 11. Какую сумму вы тратите в месяц на обеспечение жизни (аренда квартиры, оплата коммунальных услуг, продукты, оплата одежды, в среднем)**

Из 70 респондентов, ответивших на вопрос – 68,6% тратят в месяц менее 50 тыс. рублей; 12,9% респондентов тратят в месяц 50 тыс. рублей; 18,6% респондентов тратят в месяц более 50 тыс. рублей.

**№ 12. Предположим, Вы выиграли в лотерею 20 000 рублей – Вы можете выиграть еще 5 000 рублей наверняка, либо рискнуть и с вероятностью 50% выиграть еще 10 000 рублей или не выиграть ничего. Что Вы сделаете?**

Из 70 респондентов, ответивших на данный вопрос: 15 готовы рискнуть и выиграть еще 10 000 рублей с 50% вероятностью; 33 хотят выиграть наверняка 5000 рублей; 22 не хотят ничего делать – только забрать уже полученные 20 000 рублей.

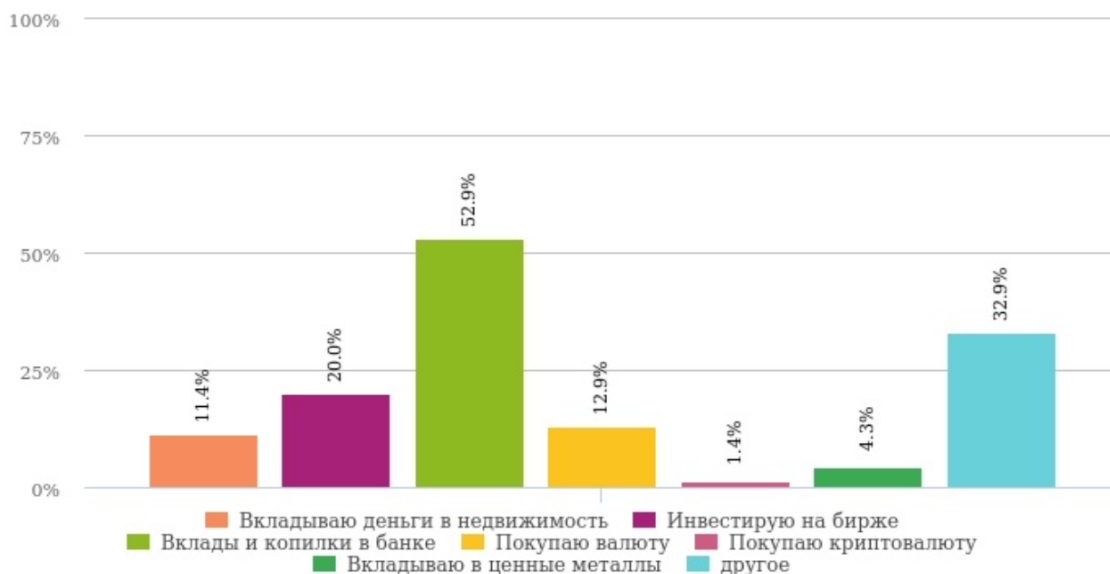


Рис. 1. Способы приумножения капитала.

**№ 13. Изменились ли Ваши траты по сравнению с прошлым годом?**

94,3% респондентов ответили, что их траты увеличились по сравнению с прошлым годом.

**№ 14. Стали ли Вы больше откладывать денег, копить?**

18,6% респондентов стали больше откладывать денег

**№ 15. Предположим, у Вас есть 20 000 рублей – Вы можете либо потерять 5 000 рублей наверняка, либо рискнуть и с вероятностью 50% потерять 10 000 рублей или не потерять ничего. Что вы выберете?**

Из 70 респондентов, ответивших на данный вопрос: 20 респондентов не готовы рисковать; 39 готовы рискнуть; 11 хотят прекратить игру и забрать то, что выиграли.

**Вопросы №№ 17-24.**

**Вы бы предпочли получить гарантированно сумму X, или 50% шанс выиграть сумму Y?**

При ответе на подобные вопросы заметна граница, когда сумма для большинства респондентов становится достаточно большая, чтобы забрать ее без риска. Ориентировочно для данной выборки — это сумма 5 млн рублей. При увеличении выигрыша процент респондентов, готовых рискнуть резко уменьшается. Иллюстрация этого варианта ответов приведена на рисунке 2.

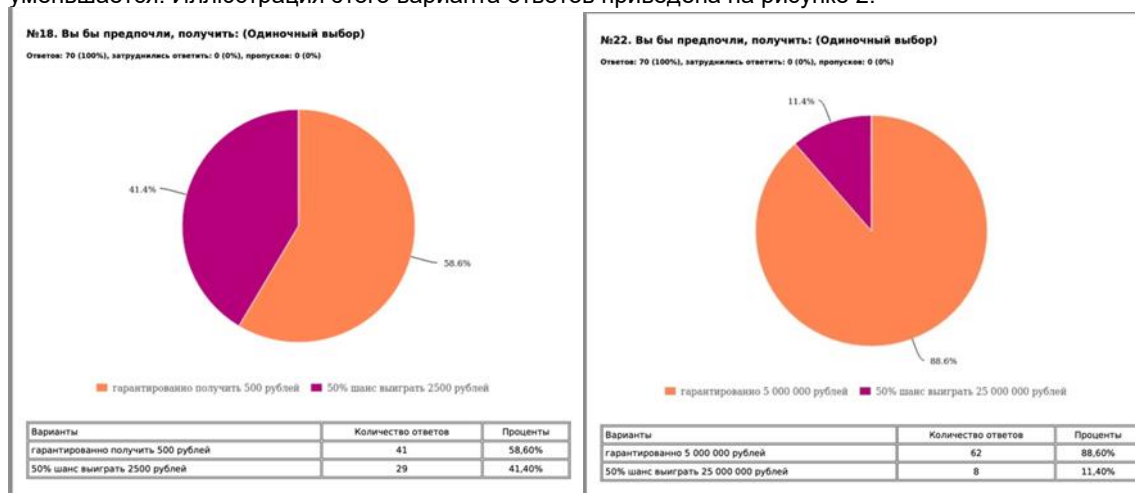


Рис. 2. Ситуация, когда при увеличении выигрыша процент респондентов, готовых рискнуть, резко уменьшается.

**Вопрос №№ 16 и 26.**

Оцените вероятность (от 0% до 100%), что утверждение ниже истинно. "Проигрыш 100 тысячи долларов по долларам по своей психологической "стоимости" много больше, чем выигрыш этой же суммы".

87% респондентов согласились с данным утверждением, 12% не согласились.

Из 47 человек согласны на 100% с данным утверждением 21 человек, двое согласны на 99,9%, 8 респондентов согласны на 90%, пятеро согласны наполовину (50%), двое не согласны (0%).

2) Таким образом, результаты проведённого эмпирического исследования свидетельствуют о том, что налицо наблюдаемая неоднозначность оценивания респондентами предлагаемых альтернатив. Вряд ли испытуемые ставят под сомнение качество исследований нобелевских лауреатов. Скорее, имеет место интуитивное сомнение: «Так ли важна эта нелинейность в целом»? В общем можно сказать, что для получения более убедительных результатов требуется продолжение исследований в этом направлении.

Гипотеза, которую мы формулируем и хотим проверить на цифровых моделях:

Влияние нелинейности перераспределения капиталов при имеющем место в реальности больших ошибках оценивания не является значимым для экономических систем в целом.

Осознавая масштабность проблемы нелинейности, мы для первых цифровых экспериментов ставим весьма скромную задачу сравнения влияния нелинейности перераспределения с влиянием экспериментально наблюдаемых ошибок оценивания рыночных стоимостей агентами.

В методологическом плане, учитывая огромные случайные колебания динамики развития моделируемой экономической системы при больших ошибках оценивания, мы сочли целесообразным использовать схему конкуренции двух почти тождественных стран, отличающихся по трем факторам.

- 1) нелинейность перераспределения;
- 2) уровень случайных ошибок оценивания;
- 3) обеспеченность природными ресурсами.

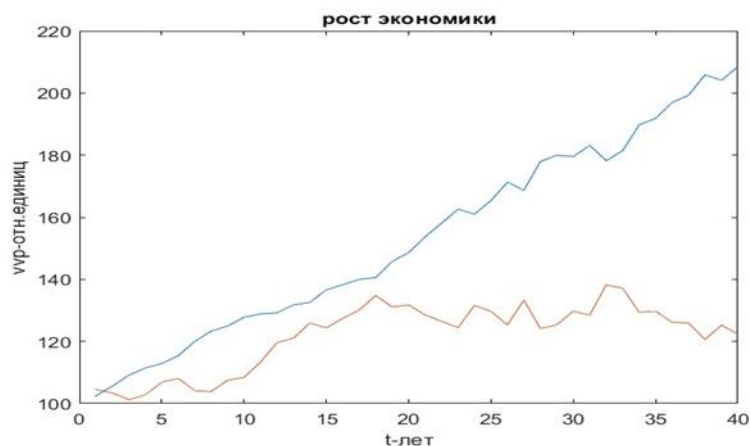
Учитывая то, что это первичное цифровое моделирование в логике планирования экспериментов, мы выполнили численные эксперименты в 8-ми крайних по трем факторам точек области определения.

По нелинейности эталонная страна с линейным распределением по (1), а «экспериментальная» страна – с линейным распределением по убыткам (отрицательным доходом) и нормированным кубически нелинейным распределением по доходам.

Для того чтобы представить уровень воздействия на систему 3-нелинейности, заметим, что для условной системы из двух групп агентов, из которых первая в линейном варианте после обменных операций получала 10% дохода, а вторая – 90% дохода в модели 3-нелинейности с перенормировкой первая группа получит примерно 0,1% дохода, а вторая – примерно 99,9% дохода. Т.е. наша упрощённая модель почти, наверное, имеет более сильное воздействие по параметру «нелинейность» на экономическую систему по сравнению с реально наблюдаемыми.

По относительно случайным ошибкам оценивания агентов от 0,1 до 1,0, что с учётом реальных колебаний оценок рыночных стоимостей газа и электричества в ряде стран за последние годы представляется вполне уместным.

Так, по энергетическому эквиваленту при нынешних стабилизированных по ОПЕК+ ценах на нефть, газ с учётом экологического превосходства должен стоить порядка 1000 долларов за 1000 кубометров. На практике по бенчмарку TTF мы наблюдали колебания порядка  $\pm 1000$  долларов. Кстати сказать, оценка рыночной стоимости газа на фиксированный день определяется как линейная средневзвешенная цена по спотовым сделкам на этот день, что ещё раз подтверждает правомерность формулы (2).

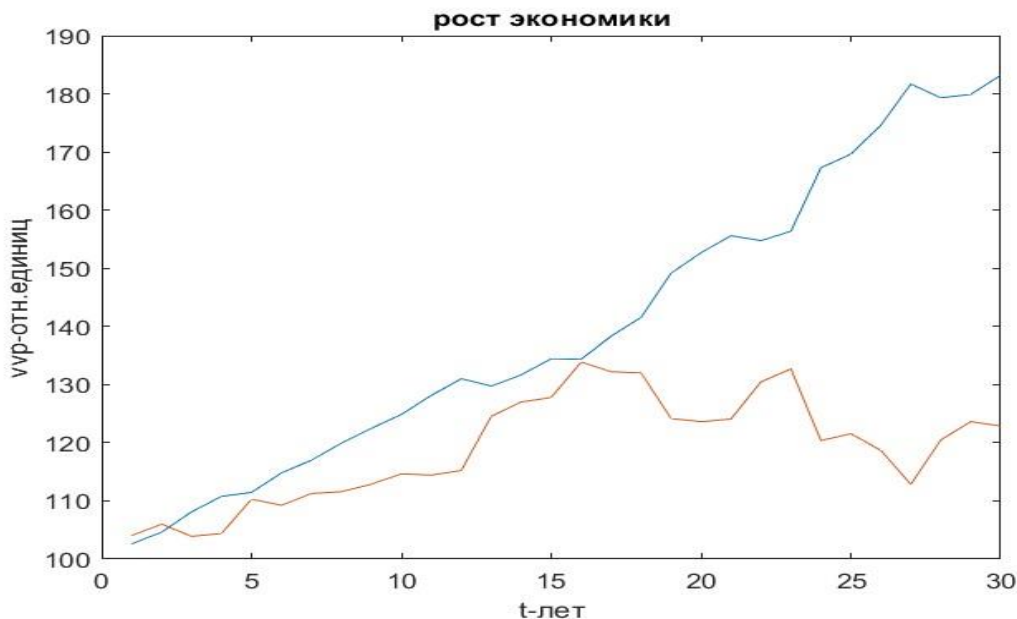


**Рис. 3. Экономический рост стран, бедных ресурсами с большими ошибками оценивания с линейным доходом.**

результаты численных экспериментов. Синяя линия – эталонная; Красная линия – экспериментальная.

По обеспечению доступными природными ресурсами мы варьировали параметр от одного ВВП, что соответствует уровню слабо обеспеченных стран до 10 ВВП, что приблизительно соответствует странам класса РФ. В остальном мы моделируем две идентичные страны с равным числом агентов, эффективность которых в смысле систематических ошибок оценивания варьируется от 0,01 до 0,10.

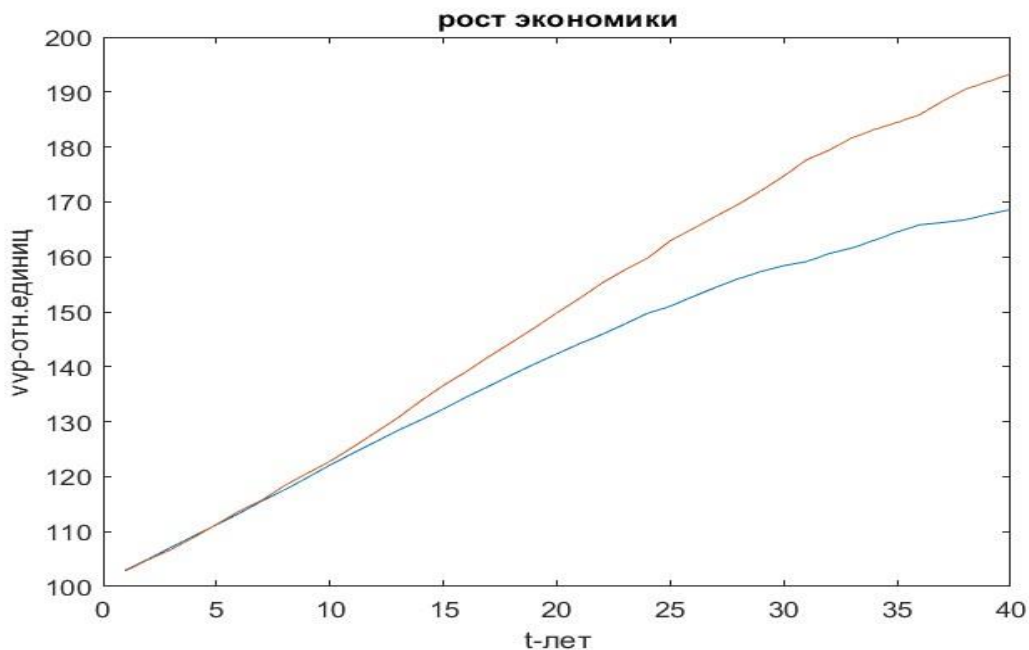
На рисунках 3–11 представлены характерны



**Рис. 4. Экономический рост стран с большими ошибками оценивания с 3-нелинейным доходом.**

На рисунках 3 и 4 выполнено моделирование воздействия нелинейности доходов на страны, бедные ресурсами с большими ошибками оценивания рыночных стоимостей, а это в нынешнем мире большинство стран. По результатам 100 численных экспериментов никакого значимого воздействия нелинейности не обнаружено.

На рисунках 5 и 6 выполнено моделирование воздействия нелинейности доходов на страны, бедные ресурсами, с малыми ошибками оценивания рыночных стоимостей, что сегодня редкое исключение из правил.



**Рис. 5. Экономический рост стран, бедных ресурсами с малыми ошибками оценивания с 3-нелинейным доходом.**

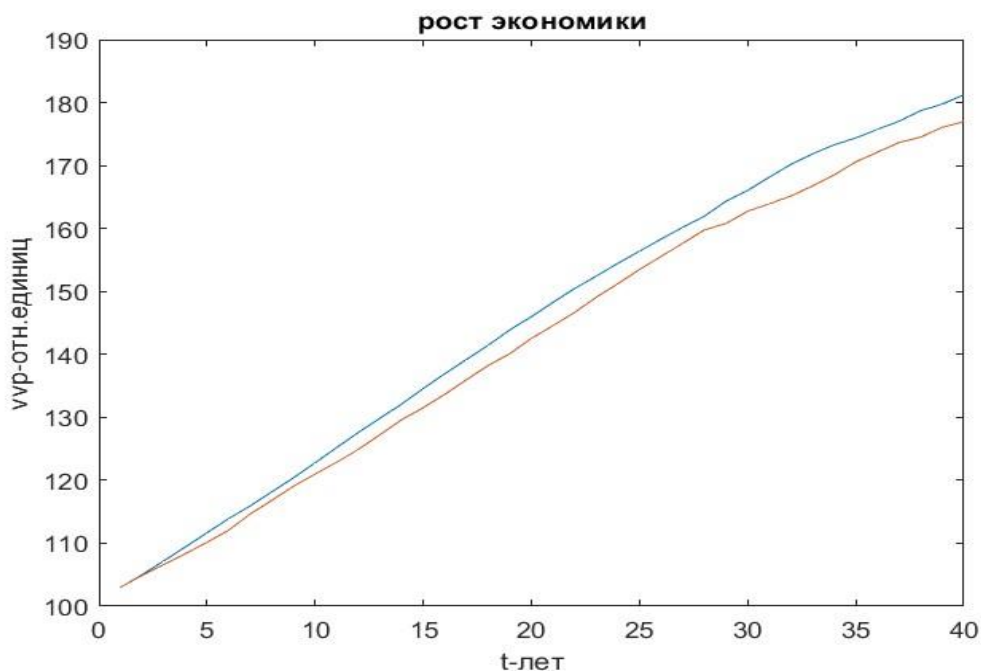


Рис. 6. Экономический рост стран, бедных ресурсами с малыми ошибками оценивания с линейным доходом.

Имеет место значимое ускорение прогресса при нелинейном перераспределении. Однако его уровень существенно меньше, чем зависимость от ошибок оценивания, и может рассматриваться как значимый в исключительном случае.

На рисунках 7 и 8 выполнено моделирование воздействия нелинейности на страны с большими ресурсами и большими ошибками оценивания.

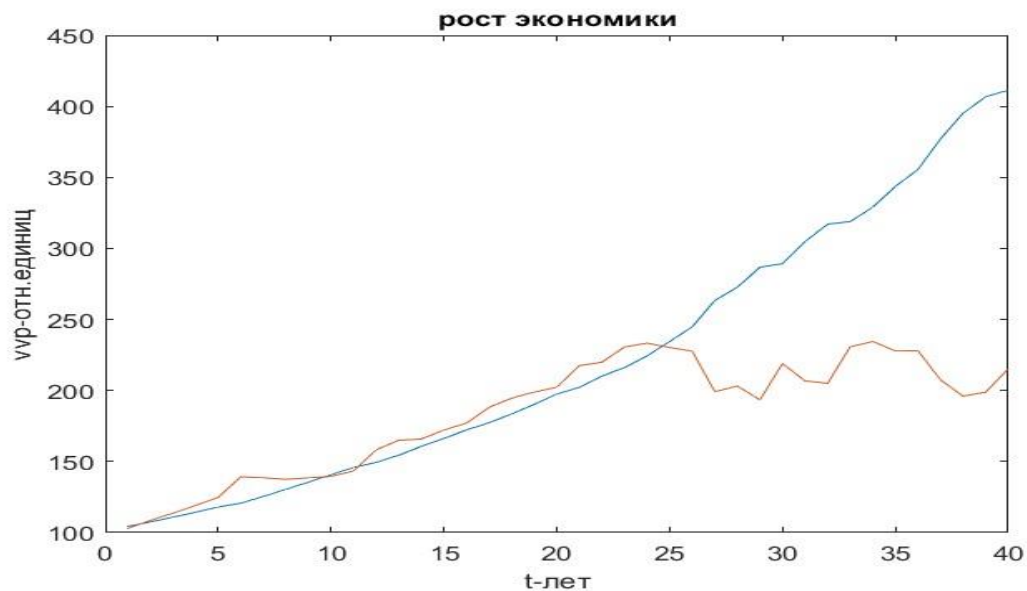
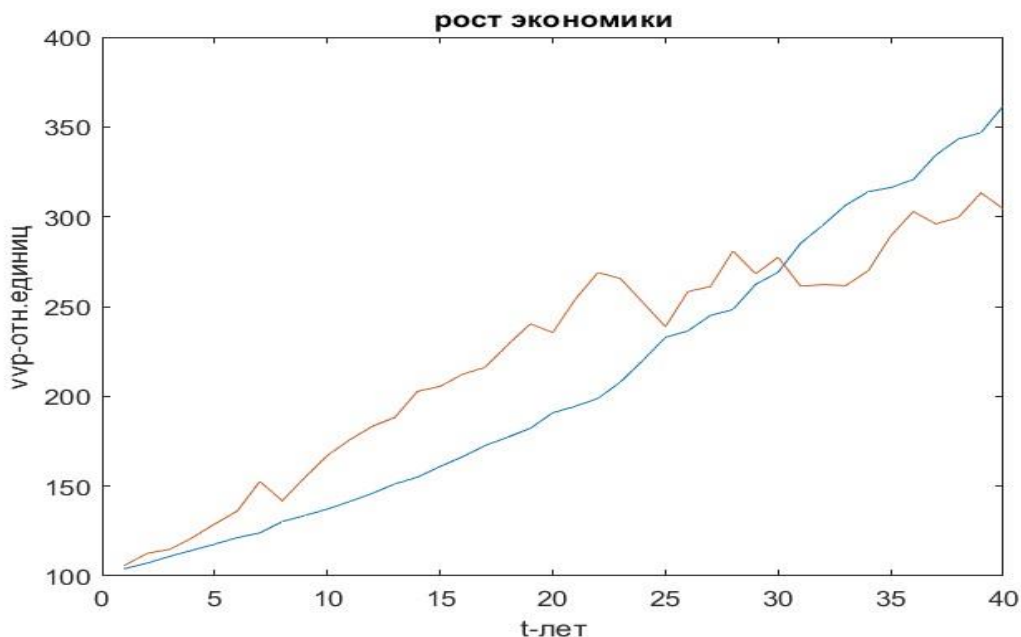


Рис. 7. Экономический рост стран, богатых ресурсами с большими ошибками оценивания с 3-нелинейным доходом.

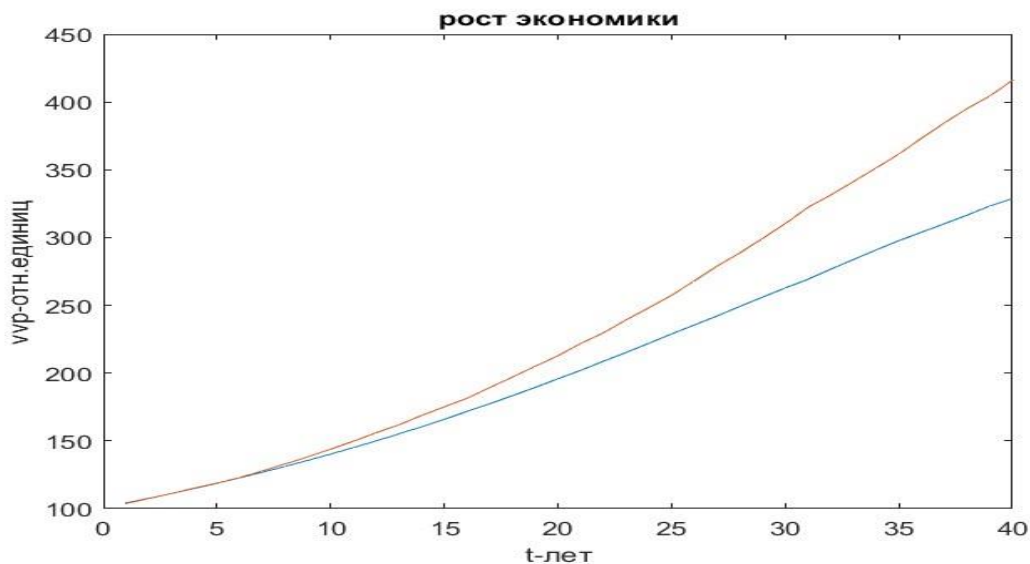


**Рис. 8. Экономический рост стран, богатых ресурсами с большими ошибками оценивания с линейным доходом.**

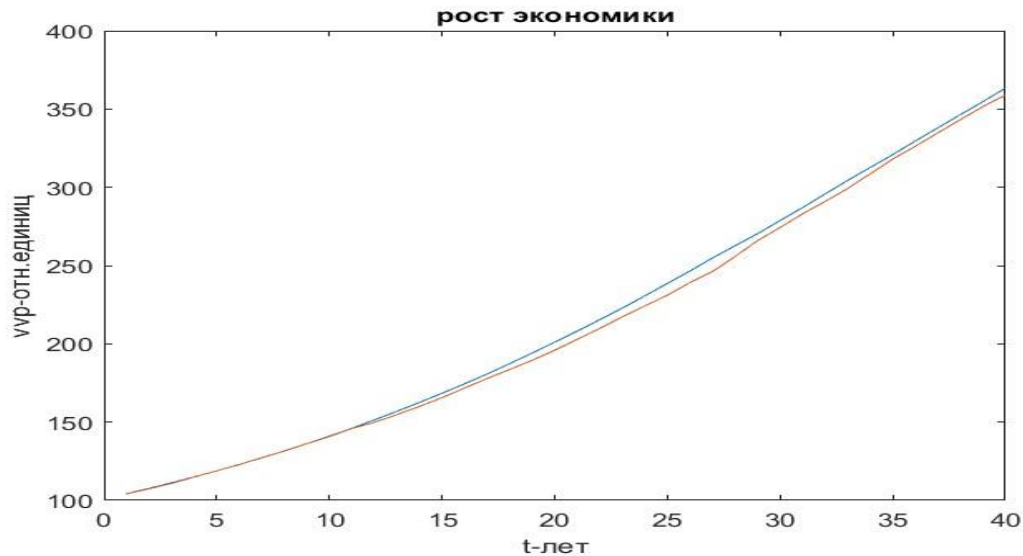
В 100 численных экспериментах имел место большой разброс результатов. В 10-20% экспериментов нелинейность доходов ускоряет прогресс. В 30-60% экспериментов имеет место катастрофа типа приведенной на рисунке 7.

В целом из экспериментов нельзя сделать вывод о значимом влиянии нелинейности на динамику роста.

На рисунках 9 и 10 продемонстрировано явное влияние нелинейности доходов на прогресс для стран с большими ресурсами и малыми ошибками оценивания.



**Рис. 9. Экономический рост стран, богатых ресурсами с малыми ошибками оценивания с 3-нелинейным доходом.**



**Рис. 10. Экономический рост стран, богатых ресурсами с малыми ошибками оценивания с линейным доходом.**

#### Заключение

По совокупности экспериментов мы можем вполне определённо утверждать, что влияние на динамику прогресса даже столь мощной нелинейности перераспределения доходов на порядок слабее, чем влияние больших случайных ошибок оценивания и, тем более, влияния обеспеченности доступными природными ресурсами.

Однако следует учитывать существенное различие влияния нелинейности перераспределения на динамику экономического роста для стран, слабо и сильно обеспеченных ресурсами при больших ошибках оценивания.

Так, для стран, слабо обеспеченных ресурсами с большими ошибками оценивания и нелинейным перераспределением доходов экономическая катастрофа имеет место в примерно 90% численных экспериментов.

В то же время для стран, сильно обеспеченных ресурсами с большими ошибками оценивания нелинейное перераспределение приводит к экономическим катастрофам примерно в 30% численных экспериментов.

Это различие безусловно требует более детального цифрового моделирования, что не отменяет основного предварительного вывода о целесообразности использования простейшей линейной модели по (1) – (3) с учётом реально наблюдаемого уровня ошибок оценивания рыночных стоимостей в современном турбулентном мире.

#### Литература.

1. Грачёв И.Д., Грачёв Д.И., Ларин С.Н., Ноак Н.В. (2020a) Цифровая модель экономически оптимальных противоэпидемических ограничений // Экономика и предпринимательство, 2020. Вып.14. №2(115). С.869-872.
2. Грачёв И.Д., Некрасов С.А., Ларин С.Н., Ноак Н.В. (2020b) Применение объединённой балансово-рыночной модели экономических систем к электроэнергетике // Экономика и предпринимательство, 2020. Вып.14. №6(119). С.48-56.
3. Грачёв И.Д., Ларин С.Н., Ноак Н.В. Цифровизация критериев прогресса
4. экономической системы // Экономика и предпринимательство, 2021. Вып.15. №5(130). С.73-78.
5. Канеман Д. Думай медленно... решай быстро. – Москва: Издательство АСТ, Neoclassic, 2021. – 656 с.
6. Маслов В.П. Комплексный метод ВКБ в нелинейных уравнениях. – М.: Наука, 1977.
7. Gertsekov D.A., Larin S.N., Podlinyaev O.L. Strategic development of the agro-industrial complex of Russian economics on the basis of involved investments // Экономика и предпринимательство, 2020, Vol. 14. No 1(114). P.137-143.

#### References in Cyrillics

1. Grachyov I.D., Grachyov D.I., Larin S.N., Noak N.V. Cifrovaya model' ekonomicheski optimal'ny`x protivoe`pidemicheskix ogranichenij // E`konomika i predprinimatel'stvo, 2020. Vy`p.14. №2(115). S.869-872.



2. Grachyov I.D., Nekrasov S.A., Larin S.N., Noakk N.V. *Primenenie ob`edinyonnoj balansovoy`nochnoj modeli e`konomicheskix sistem k e`lektroenergetike* // *E`konomika i predprinimatel`stvo*, 2020. Vy`p.14. №6(119). S.48-56.
3. Grachyov I.D., Larin S.N., Noakk N.V. *Cifrovizaciya kriteriev progressa `konomicheskoy sistemy`* // *E`konomika i predprinimatel`stvo*, 2021. Vy`p.15. №5(130). S.73-78.
4. Kaneman D. *Dumaj medlenno... reshaj by`stro.* – Moskva: Izdatel`stvo AST, Neoclassic, 2021. – 656 s.
5. Maslov V.P. *Kompleksny`j metod VKB v nelinejny`x ur*

*Грачёв Иван Дмитриевич,  
Доктор экономических наук, главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН  
ORCID: 0000-0003-1815-5898  
[ldg19@mail.ru](mailto:ldg19@mail.ru)*

*Ноак Наталья Вадимовна,  
Кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН  
ORCID - 0000-0001-8696-5767  
[n.noack@mail.ru](mailto:n.noack@mail.ru)*

*Ларин Сергей Николаевич,  
Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН  
ORCID - 0000-0001-5296-5865  
[sergey77707@rambler.ru](mailto:sergey77707@rambler.ru)*

*Волкова Анастасия Дмитриевна, ЦЭМИ РАН  
научный сотрудник  
ORCID 0000-0002-4216-9328  
[volkova.nst@mail.ru](mailto:volkova.nst@mail.ru)*

#### **Ключевые слова**

капитал, влияние нелинейности, цифровая модель, рыночные и гибридные экономики, агенты рынка.

**Ivan Grachev, Natalia Noak, Sergey Larin, Anastasia Volkova, Digital model of capital nonlinearity**

#### **Keywords**

capital, influence of nonlinearity, digital model, market and hybrid economies, market agents.

DOI: 10.34706/DE-2022-04-11

JEL classification: F63, K21, L13, O33

#### **Abstract**

The main purpose of this study is to test the hypothesis on digital models, according to which the influence of the nonlinearity of the redistribution of capital with large estimation errors occurring in reality is not significant for economic systems as a whole. The expansion of the model's application areas proves that it is becoming more and more universal. This forces us to reconsider the accuracy of its justifications. In the model, the market is viewed as a new cooperative entity. To promote this model as universal, it is desirable to remove the contradiction of nonlinearity. A more subtle analysis involves the inclusion of randomized individual Leontief matrices in solving the main problems of economics. In the course of conducting surveys of ordinary people and professional economists, it was revealed that their results show a significant range of estimates of the fundamental nature of the requirement of non-linear redistribution. In methodological terms, empirical results of modeling the impact of income nonlinearity on countries with different levels of capital and resources have been obtained. To take into account the huge random fluctuations in the dynamics of the development of the economic system with large estimation errors, it seems appropriate to use a competition scheme of two almost identical countries that differ in three factors: the nonlinearity of the redistribution; the level of random estimation errors; the availability of natural resources.