

УДК: 004.932, 517.5

## 1.6. Оптимизация разнообразия агентов: размышления, гипотезы, прогнозы

Грачев И.Д., Ноак Н. В.  
ЦЭМИ РАН, Москва

*Проблема сжатия разнообразия оценок и действий агентов современными версиями искусственного интеллекта осознана как потенциально очень опасная практическими управленцами. В предыдущих исследованиях, используя квазифишеровское представление нашей вероятностной модели гибридных экономических систем, авторы показали, что эти опасения обоснованы по меньшей мере для симметричных по отклонениям агентов типа производителей товаров «хуже рынка», «лучше рынка» по себестоимости., поскольку они соответствуют фишеровской теории эволюции. Однако примеры, в частности, из сельского хозяйства, показывают, что ассиметричные ситуации не являются экзотикой и нуждаются в специальном моделировании, результаты которого и представлены в настоящей работе. Первые результаты моделирования показывают, что для этой заведомо ассиметричной ситуации целесообразно управление сжатием разнообразия с целью достижения оптимальных значений, синхронизированных с вариативностью среды. В рамках общей концепции исследования проблемы - сжатия разнообразия ИИ – это означает целесообразность дифференцированного по отраслям отношения.*

### Введение

В нашей работе [Грачев, Костина, Ноак, 2024] мы рассмотрели в первом приближении возможные негативные последствия сужения разнообразия оценок и действий современными редакциями искусственных интеллектов (далее – ИИ). Общая логика анализа опиралась на запись наших уравнений автопрогресса гибридных экономических систем [Грачев, 2010] в форме, близкой к фишеровским эволюционным уравнениям [Фишер, 1930]. Это, в свою очередь, при моделировании и оценках позволяет прямо апеллировать к эволюционной теории Фишера о связи разнообразия популяции с вероятностью её выживания. При этом вслед за критиками [Basener., Sanford, 2018] фундаментальности эволюционной теоремы Фишера мы учитываем, что некоторые её исходники не универсальны, в частности, симметрия «плохих» и «хороших» ошибок.

В этом смысле квазифишеровские уравнения не вызывают особых сомнений для конкуренции производителей товаров: работаешь «хуже» рынка – теряешь, работаешь «лучше» рынка – приобретаешь с одним коэффициентом пропорциональности, если ошибка понимается как отклонение себестоимости от рыночной стоимости.

Однако, очевидно, существуют и несимметричные ситуации. Для того чтобы не быть абстрактными, приведем конкретные примеры из сельского хозяйства. Существуют исследования (например, [Стародворов, Кадыров, 2018]), в которых на основе многолетних данных анализируется зависимость урожайности зерновых от среднегодовой влажности ( $w$ ) и среднегодовой температуры ( $t$ ) Место для формулы.. В то же время для каждого вектора ( $w, t$ ) существуют своя оптимальная сельскохозяйственная культура (или набор), обеспечивающая максимальную урожайность и доход.

С целью максимально отчётливого моделирования гиперболизируем реальные действия агентов.

Каждый агент делает свой прогноз ( $w, t$ ) и в соответствии с ним выбирает сорт, обеспечивающий максимальный доход. Тогда итоговый результат агента будет зависеть от ошибок оценивания ( $\Delta w^2, \Delta t^2$ ), причём ситуация заведомо несимметричная, так как и положительные, и отрицательные отклонения ведут к убыткам.

Этот пример показывает, что воздействие изменения разнообразия на вероятность выживания экономической системы при явном несоблюдении фишеровской аксиоматики очевидно нуждается в моделировании.

В целом мы будем строить универсальную модификацию наших моделей, сохраняя минимальные отсылы к сельскохозяйственному примеру при оценке реалистичности диапазона параметров модели.

Кроме того, как обычно, мы будем применять компаративный метод оценки эволюции.

### Основная часть.

В максимально контрастной формулировке мы можем себе представить две экономические системы (страны), в одной из которых разнообразие полностью подавлено и на основании наилучшего прогноза ( $w_2, t_2$ ) агенты руководствуется этой оценкой и выбирают одинаковый набор действий и выйдут по итогам сельскохозяйственного года с одинаковым результатом.

Во второй экономической системе (стране) агенты равномерно распределены по всему диапазону «возможных» значений ( $dt, dw$ ), который может отличаться от уже зафиксированного значения ( $\Delta w, \Delta t$ ) по всей совокупности наблюдений.

Совокупность агентов «вариативной» страны мы задаём векторами капитализации –  $a$  и ошибок оценивания  $-\xi$ . Совокупность агентов «невариативной» страны задаём вектором капитализации-  $v$  и ошибок оценивания -  $\eta$

Приписываем природе потенциальный капитал –  $\Pi$  и виртуальную ошибку природы ( $\mu$ ), которая на старте соответствует ошибке минимально рентабельного агента.

Учитывая рассматриваемый вариант о конкуренции двух стран, строим блочные вектора

$$A^T = [a^T, b^T, \Pi] \quad (1)$$

$$\varphi^T = [\xi^T, \eta^T, \mu] \quad (2)$$

Для несимметричной системы с результатом, зависящем от абсолютной величины отклонения оценки, строим вспомогательные вектора

$$S_a = |\xi - \mu \times I| \quad (3)$$

$$S_b = |\eta - \mu \times I| \quad (4),$$

где  $I$  – единичный вектор соответствующей размерности ( $m$ ),

И блочный вспомогательный вектор

$$S^T = [S_a, S_b, \Delta]. \quad (5)$$

И уже для этого вспомогательного вектора применяем наши (Грачёв, 2010) уравнения рыночного автопрогресса в квазифишеровской форме

$$A_{(k+1)} = A_{(k)} + \gamma A_{(k)} \times (S_k - \langle S_k \rangle) \quad (6),$$

$$S_k = \frac{A_{(k)}^T \times S_{(k)}}{A_{(k)}^T \times I} \quad (7),$$

где  $\gamma$  – коэффициент связи ошибок оценивания с денежными потерями.

Выбор конкретных параметров для цифрового моделирования в значительной степени связан с сельскохозяйственным примером  $\Delta = 0.1$ , что характерно для большинства массовых обменных рыночных операций.

$$n_{(k)} = \mu_{(0)} \times I \quad (8)$$

$$\mu_{(0)} = \Delta = 0,1, \quad (9).$$

что предполагает, с одной стороны, предельно достижимую точность оценивания невариативной страны на старте, но компенсированную предельной инерционностью по времени (10), что в терминах планирования эксперимента эквивалентно работе на границах ограничений.

При построении  $\mu_{(k)}$ , апеллируя к сельхозпримеру (Т), мы должны учесть три значимых фактора:

1. тренд, связанный с «климатическими изменениями»;
2. периодические процессы, связанные, прежде всего, с 11-летним циклом солнечной активности;
3. случайную (*rand*) составляющую.

Не снижая общности, мы можем предположить, что тренд хорошо прогнозируется и может быть учтен всеми агентами как в вариативной, так и в невариативной стране.

Тогда, помня о дополнительной нормировке по  $\alpha$ , мы можем записать

$$\mu_{(k)} = \mu_{(0)} \times \left( I \times \left( 1 + \text{Sin} \left( 2\pi \times \frac{k}{11} \right) + RS \right) \right) \quad (10),$$

$$RS = \text{rand} (m, 1) \quad (11)$$

Для вариативной страны мы предполагаем для «свободных» агентов принципиально меньшую инерционность, что в пределе с учётом принципов планирования эксперимента должно означать полную отработку ими всей закономерной части  $\mu_{(k)}$ , но с компенсацией в большой ошибке оценивания  $\mu_{(0)}$ .

Тогда для  $[\xi_k - \mu_{(k)}]$  можем записать

$$\xi_k - \mu_{(k)} = RI - RS, \quad (12),$$

где  $RI$  – переменный модельный (моделирующий различную вариативность) случайный вектор размерности  $\mu$ , который мы принимали поэлементно равномерно распределённый на интервале

$$\left[ -2 \frac{\alpha}{m}; +2 \frac{\alpha}{m} \right], \quad (13),$$

где  $\alpha$  – параметр вариативности, который мы варьировали от 0 до  $m$ .

Характерные результаты моделирования влияния разнообразия на эволюцию представлены рис. 1, 2, 3.

На рисунке 1, 2 по оси  $X$  отложены вариативности в условных единицах. Точке 50 соответствует полная синхронизация разброса оценок агентов с коэффициентами вариации определяющего параметра внешней среды (для сельскохозяйственного примера – «температурно-влажностный» индекс). Точке 0 соответствует полное подавление вариативности агентов. Точка 100 соответствует «двухсигмовому интервалу», часто используемому при планировании эксперимента. Остальные оси  $Y$  и  $Z$  нуждаются в пояснениях.

На рис. 3 и 4 оси  $X$  и  $Y$  инверсированы для наглядности. При этом рис. 3 соответствует вариативно-детерминированному распределению агентов по диапазону, а рис. 4 – чисто случайно равномерно распределённому по диапазону. Кроме того, на рис. 3 и 4, с учётом схемы компаративного сравнения отложены по оси  $Z$  отношения капитализаций вариативной страны ( $a$ ) к невариативной.

На рис. 1 мы имеем не зависящий от  $\alpha$  набор случайных реализаций, связанных с вектором (rand(m)). Все они по мере накопления общего систематического отклонения прогноза от реальности заканчиваются кризисом.

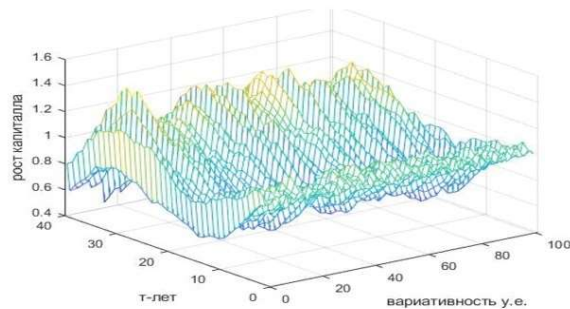


Рис. 1. Эволюция невариативной страны

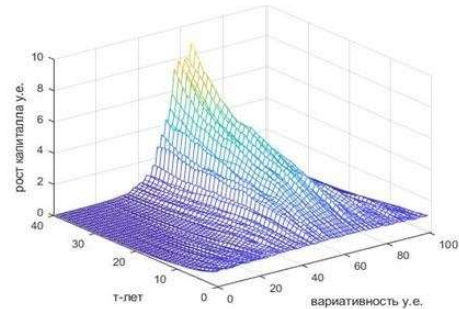


Рис. 2. Эволюция вариативной страны

Наиболее интересным и характерным является рисунок 2, на котором отчётливо выражена зависимость скорости эволюции от синхронизации разнообразия оценок и действий агентов с уровнем хаоса внешней среды. Явно наблюдается оптимальный уровень разнообразия агентов, выше которого эволюция опять тормозится.

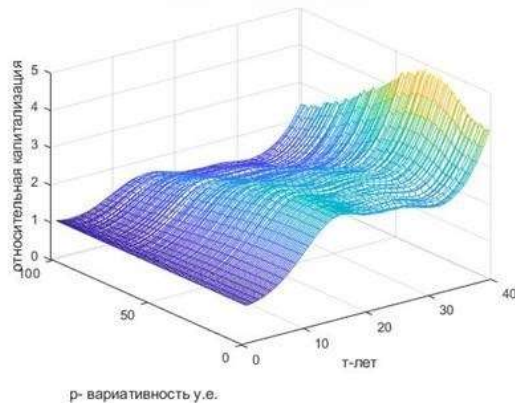


Рис. 3. Оптимизация вариативности (равномерно детерминированное распределение агентов)

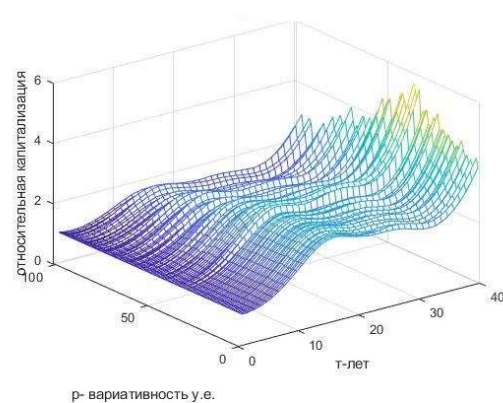


Рис. 4. Оптимизация вариативности (равномерно случайное распределение агентов)

На рисунке 3 представлена динамика превосходства вариативной системы по отношению к невариативной в зависимости от диапазона вариативности, подтверждающая оптимальность синхронизации вариативности с внешними условиями.

На рисунке 4 агенты вариативной страны разбросаны по предполагаемому диапазону «температур-влажностей» равномерно случайным образом.

#### Заключение.

Учитывая теоретическую и практическую значимость проблемы сжатия многообразия ИИ, а также её многогранность, в настоящей работе с использованием квазифишеровских переформулировок нашей модели эволюций гибридных экономик выполнено моделирование влияния сжатия и расширения многообразия оценок и действий агентов на динамику их эволюции для заведомо несимметричных ошибок оценивания. Для реалистичности свободных параметров модели использованы практические примеры из сельского хозяйства.

Для такого типа влияния ошибок и действий на эволюцию агентов и системы в целом, в цифровых экспериментах показана целесообразность синхронизации разнообразия агентов с уровнем неопределённости внешней среды. В свою очередь это означает целесообразность дифференцированного подхода к проблеме сжатия многообразия ИИ в разных отраслях деятельности человека, что задаёт целое направление исследований.

#### Литература

1. Стародворов Г А, Кадыров С В Экологическая реакция озимой пшеницы на изменение условий внешней среды в северной части Донецкого края., DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-53-58
2. Грачёв И.Д., Костина Т.А., Ноакк Н.В. Амбивалентность социальных представлений об ИИ: психология, статистика, прогнозы// Цифровая экономика, 2024. № 1 (27). Стр. 54-61 DOI: 10.34706/DE-2024-01-06

3. Грачёв И.Д., Ларин С.Н. Гибридные оценки прогресса гибридных экономических систем /Национальные интересы, Изд-во Финансы и кредит т. 20, вып. 2, февраль 2024Страницы: 204–221<https://doi.org/10.24891/ni.20.2.204>
4. Грачёв И.Д. Статистическая модель автопрогресса экономических систем / И.Д. Грачёв. –М.: Наука. –2010. –182 с.
5. Грачёв И.Д., Грачёв Д.И., Ларин С.Н., Ноакк Н. В. Оценка экономических результатов различных вариантов карантинных с использованием комбинированной цифровой экономико-эпидемиологической модели // Экономика и предпринимательство, 2020. Вып.14. No2(115). С.902-909. DOI:0.34925/EIP.2020.115.2.182
6. Фишер Р. Генетическая теория естественного отбора. — М.: Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2011. — 294 с. ISBN 978-5-93972-906-2.
7. Basener William F., Sanford John C. The fundamental theorem of natural selection with mutations. Math. Biol. (2018) 76:1589–1622 <https://doi.org/10.1007/s00285-017-1190-x>

#### References in Cyrillics

1. Starodvorov G A, Kadyrov S V E`kologicheskaya reakciya ozimoy pshenicy na izmenenie uslo-vij vneshnej sredy` v severnoj chasti Doneczkogo kraja,, DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-53-58
2. Grachyov I.D., Kostina T.A., Noakk N.V. Ambivalentnost` social`ny`x predstavlenij ob II: psixologiya, statistika, prognozy`// Cifrovaya e`konomika, 2024. № 1 (27). Str. 54-61 DOI: 10.34706/DE-2024-01-06
4. Grachyov I.D., Larin S.N. Gibridny` ocenki progressa gibridny`x e`konomicheskix sistem /Nacional`ny`e interesy`, Izd-vo Finansy` i kredit t. 20, vy`p. 2, fevral` 2024Stranicy: 204–221<https://doi.org/10.24891/ni.20.2.204>
5. Grachyov I.D. Statisticheskaya model` avtoprogressa e`konomicheskix sistem / I.D. Grachyov. –М.: Nauka. –2010. –182 s.
6. Grachyov I.D., Grachyov D.I., Larin S.N., Noakk N. V. Ocenka e`konomicheskix rezul`tatov razlichny`x variantov karantinov s ispol`zovaniem kombinirovannoj cifrovoj e`konomiko-e`pidemicheskoy modeli E`konomika i predprinimatel`stvo, 2020. Vy`p.14. No2(115). S.902-909. DOI:0.34925/EIP.2020.115.2.182
7. Fisher R. Geneticheskaya teoriya estestvennogo otbora. — М.: Institut komp`yuterny`x issle-dovanij, Reguljarnaya i xaoticheskaya dinamika, 2011. — 294 s. ISBN 978-5-93972-906-2.

#### Кчевые слова

разнообразие агентов, несимметричные ошибки, моделирование эволюции, синхронизация разнообразия с вариативностью среды

*Грачев Иван Дмитриевич – д.э.н., к.ф.-м.н., главный научный сотрудник ЦЭМИ РАН  
ORCID 0000-0003-1815-5898  
[ldg@mail.ru](mailto:ldg@mail.ru)*

*Ноакк Наталья Вадимовна – к.психол.н., ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН  
ORCID 0000-0001-8696-5767  
[n.noack@mail.ru](mailto:n.noack@mail.ru)*

**Ivan Grachev, Natalia Noakk Optimization of agent diversity: reflections, hypotheses, forecasts**

#### Keywords

agent diversity, asymmetric errors, evolution modeling, synchronizing diversity with environmental variability

DOI: 10.33276/DE-2024-02-06

JELclassification – C65, E42

#### Abstract

The problem of compressing the diversity of assessments and actions of agents by modern versions of artificial intelligence is recognized as potentially very dangerous by practical managers. In previous studies, using the quasi-Fisher representation of our probabilistic model of hybrid economic systems, the authors showed that these concerns are justified at least for agents symmetrical in deviations, such as producers of goods "worse than the market", "better than the market" in terms of cost, since they correspond to the Fisher theory of evolution. However, examples, in particular from agriculture, show that asymmetric situations are not exotic and need special modeling, the results of which are presented in this paper. The first simulation results show that for this obviously asymmetric situation, it is advisable to control the compression of diversity in order to achieve optimal values synchronized with the variability of the environment. Within the framework of the general concept of studying the problem - the compression of AI diversity – this means the expediency of a differentiated attitude by industry.