

АВТОРЕФЛЕКСИЯ И НАУЧЕНИЕ

Новиков Д. А.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Авторефлексией называется отражение субъектом в своем сознании и анализ собственных представлений о реальности, принципах и технологиях своей деятельности, соответствии ее результатов поставленным целям, способов повышения эффективности собственной деятельности. В статье рассмотрен ряд моделей авторефлексии, описываемых в терминах процессов научения, в рамках которых показано, что при неубывающей кривой научения, зависящей от суммарного времени, на него затраченного, оптимальной стратегией является максимизация первоначального периода обучения. То есть если условия получения и освоения опыта не изменяются (в процессе деятельности субъект не получает качественно новой информации), то авторефлексия не имеет смысла. Авторефлексия оправдана, если, например, в процессе продуктивной деятельности увеличивается индивидуальная скорость научения. Предложены иерархические модели научения, в которых достигнутые значения критерия научения определяет скорость научения на более высоком уровне иерархии, что также может рассматриваться как эффект присутствия авторефлексии.

Ключевые слова: деятельность, авторефлексия, неопределенность, научение.

1. Введение

Авторефлексия является предметом исследований в философии, психологии [1, 12, 16], педагогике [6, 7, 15], а в последние годы – и в искусственном интеллекте (в основном применительно к большим языковым моделям) [13, 20].

В методологии (учении об организации деятельности) авторефлексия является элементом саморегуляции; в рамках процессуальной структуры деятельности [19], приведенной на рис. 1, авторефлексии соответствует анализ:

I) соответствия ожидаемого и/или достигнутого результатов действию, приводящий, быть может, к корректировке субъектом технологии своей деятельности и/или

¹ Дмитрий Александрович Новиков, академик РАН, директор (novikov@ipu.ru).

представлений о *внешней среде*, т.е. об условиях деятельности (последнее является простейшим видом *адаптации* – см. обзоры в [8, 18, 21]);

II) соответствие полученного результата *цели*, приводящий, быть может, к корректировке субъектом цели, задач и технологии своей деятельности;

III) степени удовлетворения полученным результатом потребности, приводящий, быть может, к корректировке субъектом своих потребностей, а также цели, задач и технологии деятельности.

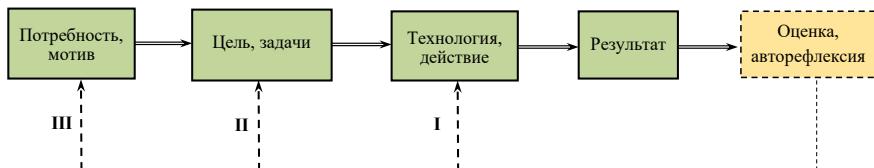


Рис. 1. Процессуальные компоненты деятельности
и авторефлексия

В педагогике авторефлексия рассматривается как ключевой элемент рефлексивной фазы любого педагогического проекта [7], во время которой исследователь или педагог-практик «обращается назад» и, «глядя на себя со стороны», осмысляет процесс и результаты своей деятельности.

В западной психологии больше распространен термин «*метакогниции*» (знание субъекта о своих механизмах познания), введенный в [15] (см. обзоры в [5, 16]) и являющийся частным аспектом авторефлексии.

Формальные (математические) модели авторефлексии рассматривались в [4] в терминах логических моделей и в [9] – в терминах стабильности информационного управ-

ления (как свойства рефлексивной информационной структуры², обеспечивающего совпадение ожидаемых и наблюдаемых субъектом действий его оппонентов и состояний внешней среды).

Рассмотрим ряд моделей авторефлексии, описываемых в терминах процессов *научения* (освоения опыта [2, 3]) при фиксированных потребностях и целях деятельности – см. цикл «I» на рис. 1.

2. Модель цикла «обучение – продуктивная деятельность - рефлексия»

Пусть агент, реализуя некоторую *деятельность* [3], достигает ее целевого результата с вероятностью p_1 . В случае неудачи он анализирует свою деятельность, быть может, оптимизирует ее или использует другую технологию и в результате такой «авторефлексии» достигает цели с вероятностью $p_2 \geq p_1$. Если цель опять не достигнута, то цикл повторяется с вероятностью $p_3 \geq p_2$. И т.д.

Вероятность p^k достижения цели за k шагов равна

$$(1) \quad p^k = p^{k-1} + p_k(1 - p^{k-1}), \quad k = 2, 3, \dots.$$

Легко видеть, что (1) – неубывающая последовательность, асимптотически стремящаяся к единице.

Рассмотрим двухэтапную модель авторефлексии и обучения, в которой фиксирован момент времени T , к которому деятельность должна быть завершена. Агент может распорядиться этим временем следующим образом:

² Отметим, что в рамках моделирования информационной рефлексии обычно вводится аксиома *автоинформированности* (субъект правильно информирован о своих представлениях и считает таковыми других субъектов), делающая авторефлексию субъекта относительно собственных представлений отчасти бессмысленной.

- время t_1 может быть потрачено на обучение/научение - приобретение/освоение опыта (проектирование деятельности, разработка и/или освоение технологий и т.д. [2, 3]);
 - цикл продуктивной деятельности занимает время τ ;
 - затем время t_2 (в случае недостижения продуктивного результата) может быть потрачено на осознание и приобретение/освоение опыта (собственно этап авторефлексии, всегда осуществляемой после получения того или иного – целевого или отличающегося от него - результата деятельности);
 - второй цикл продуктивной деятельности также занимает время τ .

Таким образом, в силу условия $t_1 + t_2 + 2\tau = T$ у агента остается возможность выбора только значения одной переменной $t_1 \in [0; T - 2\tau]$.

Будем считать, в соответствии с [3], что *кривая опыта* (зависимость от времени вероятности освоения опыта, достижения целевого результата и т.п. [2]) имеет вид (*экспоненциальная кривая научения*):

$$(2) \quad p_{1,2}(t) = 1 - \exp(-\gamma t),$$

где константа $\gamma > 0$ – скорость научения.

Рассмотрим два случая:

1. Освоение опыта в процессе продуктивной деятельности не происходит, тогда в соответствии с выражением (1) вероятность $p^2(t_1) = 1 - \exp(-\gamma[t_1 + T - 2\tau])$ является монотонно возрастающей функцией t_1 , т.е. оптимально значение (3) $t_1^* = T - 2\tau$.

Более того, в этом случае при выполнении условия $T > 3\tau$ агенту выгоднее отказаться от второй «попытки» осуществления деятельности, потратив сначала все время $T - \tau$ на обучение, а затем реализовать единственный цикл продуктивной деятельности.

2. Освоение опыта в процессе продуктивной деятельности происходит, тогда в соответствии с выражением **Ошибка! Источник ссылки не найден.** вероятность $p^2(t_1) = 1 - \exp(-\gamma[t_1 + T - \tau])$ также является монотонно возрастающей функцией t_1 , т.е. также оптимально его значение (3).

Как и в первом случае, при выполнении условия $T > 2\tau$ агенту выгоднее отказаться от второй «попытки» осуществления деятельности, потратив сначала все время $T - \tau$ на обучение, а затем реализовать единственный цикл продуктивной деятельности.

Таким образом, мы доказали следующее утверждение:

Утверждение 1'. При экспоненциальной кривой опыта (2) в двухэтапной модели авторефлексии и обучения оптимальной стратегией агента является (3) - максимизация первоначального периода обучения.

Утверждение 1' может быть обобщено.

Утверждение 1. При неубывающей кривой опыта, зависящей от суммарного времени, затраченного на обучение, в двухэтапной модели авторефлексии и обучения оптимальной стратегией агента является (3) - максимизация первоначального периода обучения.

Доказательство утверждения 1. Пусть $p(t)$ – некоторая неубывающая кривая опыта, зависящая от суммарного (в случае, когда обучение производится с перерывами) времени t , затраченного на обучение. К произвольному начальному моменту времени t_0 значение опыта равно $p(t_0)$. Агенту надо выбрать $t_1 \in [0; T - t_0 - 2\tau]$. Если освоения опыта в процессе деятельности не происходит, то в силу условия $t_0 + t_1 + t_2 + 2\tau = T$, $t_2 = T - t_0 - t_1 - 2\tau$. Если в процессе деятельности происходит освоение опыта, то $t_2 = T - t_0 - t_1 - \tau$. Ниже будем пользоваться выражением $t_2 = T - t_0 - t_1 - m\tau$, где соответственно $m = 1$ или $m = 2$. В соответствии с выражением (1), агент решает задачу:

$$p(t_0 + t_1) + p(t_0 + t_1 + t_2) (1 - p(t_0 + t_1)) \rightarrow \max_{t_1 \in [0; T - t_0 - 2\tau]} .$$

Подставляя t_2 , получим

$$p(T - m\tau) + (1 - p(T - m\tau)) p(t_0 + t_1) \rightarrow \max_{t_1 \in [0; T - t_0 - 2\tau]} .$$

В силу монотонности кривой опыта, независимо от значения $m = 1$ или $m = 2$, решение этой задачи достигается при максимально возможном значении времени t_1 , т.е. $t_1^* = T - t_0 - 2\tau$. Утверждение 1 доказано.

Последовательно применяя обратной индукцией результат утверждения 1 в многоэтапной модели, получаем справедливость следующего следствия.

Следствие. При неубывающей кривой опыта, зависящей от суммарного времени, затраченного на обучение, в многоэтапной модели авторефлексии и обучения оптимальной стратегией агента является максимизация первоначального периода обучения.

Содержательная интерпретация результата следствия: сначала максимально возможное время следует тратить на получение и освоение опыта, а затем переходить к продуктивной деятельности.

Применительно к авторефлексии этот вывод значит, что, если условия получения и освоения опыта не изменяются (кривая опыта «едина»), т.е. в процессе деятельности агент не получает качественно новой информации (в том числе о множестве и вероятностях возможных значений факторов неопределенности [2, 3]), то авторефлексия бессмысленна.

Приведем иллюстративный пример, когда авторефлексия все же имеет смысл.

Пусть после первого периода продуктивной деятельности у агента возрастает скорость обучения: $\gamma_2 > \gamma_1$, тогда во втором случае (когда в процессе деятельности происходит освоение опыта)

$$p_2(t_1) = 1 - \exp(-\gamma_1(t_1 + \tau)) \exp(-\gamma_2(t - t_1 - \tau)),$$

$t(t_1 + \tau, T - \tau]$.

Из выражения (1) получаем:

$$p^2(t_1) = 1 - B \exp[(\gamma_2 - 2\gamma_1)t_1],$$

где $B = \exp[(\gamma_2 - \gamma_1)\tau - \gamma_2 T] > 0$.

Решение задачи

$$p^2(t_1) \rightarrow \max_{t_1 \in [0; T - 2\tau]}$$

имеет простой вид:

$$(4) \quad t_1^* = \begin{cases} 0, & \text{если } \gamma_2 \geq 2\gamma_1, \\ T - 2\tau, & \text{если } \gamma_2 < 2\gamma_1. \end{cases}$$

Содержательная интерпретация стратегии (4) такова: если в результате авторефлексии скорость обучения возрастает в два и более раза, то первоначальное обучение не имеет смысла; в противном случае следует все имеющееся время потратить на первоначальное обучение.

3. Иерархическая модель

В [3] предложена модель автонавучения в непрерывном времени – дифференциальное уравнение для уровня научения $z(t) \in [0; 1]$, $t \geq 0$:

$$(5) \quad \dot{x}(t) = \gamma(1-x)\psi(x)$$

с начальным условием $x(0) = \lambda \in [0; 1]$, где $\gamma > 0$, $\psi(\cdot)$: $[0; 1] \rightarrow (0; A]$ – непрерывная функция, где $0 < A < +\infty$. Если множитель $\psi(x)$ в правой части выражения (5) интерпретируется как интенсивность процесса проверок состояний внешней среды (эффект «научения научению») или/и как вероятность успешного освоения опыта (компоненты технологии, успешного выполнения действий, и т.п.), то $A = 1$. В [3] показано, что, варьируя $\psi(z)$, можно получать различные кривые автонавучения. Частными случаями являются многие хрестоматийные классы кривых научения, например, логистическая кривая научения

$$(6) \quad x(t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\lambda} - 1\right) \exp(-\gamma t)},$$

которой соответствует $\dot{x}(x) = x$, $\lambda > 0$, т.е. выражение (5) для нее имеет вид $\dot{x}(t) = \gamma x(1-x)$.

Другими словами, логистическая модель автон обучения получается, когда процесс научения зависит от «метапроцесса», определяющего эффективность научения и зависящего от достигнутого уровня научения (причем линейным образом – см. предположение $\dot{x}(x) = x$).

Альтернативой является *иерархическая модель* с m уровнями иерархии (условно уровень может рассматриваться как «ранг авторефлексии»), в которой

$$(7) \quad \dot{x}_i(t) = \gamma_i(1-x_i(t))x_{i+1}(t), i = \overline{1, m-1}; \quad \dot{x}_m(t) = \gamma_m(1-x_m(t)),$$

т.е. процесс обучения на верхнем уровне описывается экспоненциальной кривой, а на всех других уровнях зависит от уровня научения более высокого уровня иерархии.

Приведем пример: пусть $m = 2$, тогда при нулевых начальных уровнях научения имеем: $x_2(t) = 1 - e^{-\gamma_2 t}$,

$$(8) \quad \dot{x}_1(t) = \gamma_1(1-x_1(t))(1-e^{-\gamma_2 t}).$$

Решение уравнения (8) имеет вид

$$(9) \quad x_1(t) = 1 - e^{-\gamma_1 t} e^{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}(1-e^{-\gamma_2 t})}.$$

Если бы в правой части выражения (8) множитель $1 - e^{-\gamma_2 t}$ отсутствовал, то (9) имело бы вид $x_1(t) = 1 - e^{-\gamma_1 t}$, т.е. процесс нижнего уровня также описывался бы классической экспоненциальной кривой научения. Иерархическое взаимодействие приводит к тому, что кривая научения (9) нижнего уровня имеет точку перегиба.

4. Заключение

Авторефлексия и обучение в процессе (или по результатам) деятельности тесно связаны. Как показывает рассмотренная выше модель цикла «обучение – продуктивная деятельность - рефлексия», авторефлексия имеет смысл, если в процессе деятельности агент приобретает качественно новый опыт, требующий осмыслиения и приводящий, быть может, к изменению (и повышению эффективности) технологий деятельности.

Перспективным в рамках цикла «I» на рис. 1 представляется развитие моделей авторефлексии в терминах сокращения множества возможных миров (характеризующих состояние внешней среды – условия деятельности) в рамках обобщенных множественных структур информированности [11].

Более амбициозным является возможное рассмотрение авторефлексии в рамках циклов «II» и «III» на рис. 1, что потребует разработки формальных моделей, связывающих сквозным образом все элементы цепочки «потребность – цель – действие – результат». Эта задача видится нетривиальной, так как на сегодня отсутствуют даже операционные количественные модели целеполагания, не говоря уже о моделях связи последнего с потребностями, мотивацией и пр.

Литература

1. АНИСИМОВ О.С. *Авторефлексия и самопознание* // Живая психология. – 2016. – Т. 3, №1. – С. 11–28.
2. БЕЛОВ М.В., НОВИКОВ Д.А. *Модели опыта* // Проблемы управления. – 2021. – №1. – С. 43–60.
3. БЕЛОВ М.В., НОВИКОВ Д.А. *Модели технологий*. – М.: Ленанд, 2019. – 160 с.

4. ЛЕФЕВР В.А. *Рефлексия*. - М.: Когито-центр, 2003. – 296 с.
5. ЛИТВИНОВ А.В., ИВОЛГИНА Т.В. *Метакогниция: Понятие, структура, связь с интеллектуальными и когнитивными способностями (по материалам зарубежных исследований)* // Современная зарубежная психология. – 2013. – №3. – С. 59–70.
6. МАЙЕР Р.В. *Кибернетическая педагогика: имитационное моделирование процесса обучения: монография*. – Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2014. – 141 с.
7. НОВИКОВ А.М., НОВИКОВ Д.А. *Образовательный проект*. – М.: Эгвес, 2004. – 120 с.
8. НОВИКОВ Д.А. *Математические модели формирования и функционирования команд*. – М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 2008. – 184 с.
9. НОВИКОВ Д.А., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Рефлексия и управление: математические модели*. – М.: Физматлит, 2013. – 412 с.
10. Теория управления: словарь системы основных понятий. – М.: Ленанд, 2024. – 128 с.
11. ФЕДЯНИН Д.Н., ЧХАРТИШВИЛИ А.Г. *Обобщенная множественная структура информированности* // Управление большими системами. – 2024. – Вып. 109. – С. 6–20.
12. ЦУПИКОВА Е.В., ЦЫГУЛЕВА М.В. *Экспериментальная проверка модели формирования умений авторефлексии* // Гуманитарные исследования. – 2019. – №3(24). – С. 172–178.
13. DOU Z., YANG C., WU X. et al. *Re-ReST: Reflection-Reinforced Self-Training for Language Agents* // Proc. of the 2024 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Processing. – 2024. – P. 15394–15411.

14. FAISAL S., LOVA M., LADIN S. et al. *Self-Reflection Model Based on Fact, Feeling, Finding, Future, Framework* // Journal Teknologi Pendidikan. – 2025. – Vol. 27, No. 1. – P. 236–252.
15. FLAVELL J. *Metacognitive Aspects of Problem Solving* // The Nature of Intelligence. Ch. 12. – New Jersey, 1976. – P. 231–235.
16. GIBBS G. *Learning by Doing. A Guide to Teaching and Learning Methods*. – London: Further Education Unit, 1998. – 129 p.
17. LEBUDA I., BENDEK M. *A Systematic Framework of Creative Metacognition* // Physics of Life Reviews. – 2023. – Vol. 46. – P. 161–181.
18. MARÍN C., MEHANDJIEV N. *A Classification Framework of Adaptation in Multi-Agent Systems* // In: Klusch M., Rovatsos M., Payne T.R. (eds) Cooperative Information Agents // Lecture Notes in Computer Science. – 2006. – Vol. 4149. – P. 1–25.
19. NOVIKOV D. *Control, Activity, Personality* // Advances in Systems Science and Applications. – 2020. – Vol. 20, No. 3. – P. 113–135.
20. RENZE M., GUVEN E. *Self-Reflection in LLM Agents: Effects on Problem-Solving Performance* // arXiv:2405.06682v3.
21. VARSOS K., PAPAMICHAIL M., FLOURIS G. et al. *Adaptation Procedure in Misinformation Games* // Auton Agent Multi-Agent Syst. – 2025. – Vol. 39, No. 22. – P. 1–47.

SELF-REFLEXION AND LEARNING

Dmitry Novikov, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Academician RAS (novikov@mail.ru).

Abstract: Self-reflection is the subject's reflection and analysis of their own understanding of reality, the principles and techniques of their activities, the correspond-

ence of their results to their goals, and ways to improve the effectiveness of their activities. This article examines several models of self-reflection, described in terms of learning processes. It is shown that, with a non-decreasing learning curve dependent on the total learning time, the optimal strategy is to maximize the initial learning period. That is, if the conditions for acquiring and mastering experience do not change (during the activity, the subject does not receive qualitatively new information), then self-reflection is meaningless. Self-reflection is justified if, for example, the individual learning rate increases during productive activity. Hierarchical learning models are proposed, in which the achieved values of the learning criterion determine the learning rate at a higher level of the hierarchy, what can also be considered an effect of self-reflection.

Keywords: activity, self-reflection, uncertainty, learning.

УДК 519.8

ББК 22.18 + 32.811 + 32.817 + 65.050 + 87.0

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии А.Г. Чхартишвили.*

*Поступила в редакцию 11.07.2025.
Опубликована 30.09.2025.*