

И.С. Клименко, Е.А. Палкин

О СООТНОШЕНИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ В ТРИАДЕ
ИНФОРМАЦИЯ – ВРЕМЯ – РЕСУРСЫ, ВОЗНИКАЮЩИХ
В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация. Рассмотрена проблема выбора управленческих решений в условиях ограничений информации, необходимой для принятия решения, времени и иных ресурсов. На основе семантики принципа дополнительности Бора в его макроскопической интерпретации проанализирована неоднородная связь параметров, характеризующих степень неопределенности ситуации принятия решения. Сформулированы и обоснованы соотношения неопределенностей, связывающие информацию, порождаемую лицом, принимающим решение, время и иные ресурсы, затрачиваемые на принятие решения. Обращено внимание на трехпараметрический характер обсуждаемой оптимизационной задачи.
Ключевые слова: принятие решений, принцип дополнительности, информация, промежуток времени, ресурсы, соотношение неопределенностей.

I.S. Klimenko, E.A. Palkin

ON THE RELATIONS OF UNCERTAINTIES IN THE INFORMATION-TIME-
RESOURCES TRYAD ARISING IN THE DECISION-MAKING PROCESS

Abstract. The problem of choosing management decisions under the conditions of limitations of the information necessary for decision-making, time and other resources is considered. Based on the semantics of the Bohr complementarity principle in its macroscopic interpretation, the heterogeneous relationship of parameters characterizing the degree of uncertainty of the decision-making situation is analyzed. The relations of uncertainties linking the information generated by the decision-maker, time and other resources spent on decision-making are formulated and justified. Attention is drawn to the three-parameter nature of the optimization problem under discussion.

Keywords: decision-making, complementarity principle, information, time interval, resources, uncertainty ratio.

Введение

В работах [1; 2; 3] нами выведено макроскопическое соотношение информация – время, возникающее в задаче принятия управленческих решений, и показано его соответствие принципу дополнительности (комплементарности) Н. Бора, распространенного им на социальные системы [4]. В общем случае согласно этому принципу рациональные и иррациональные процедуры связаны соотношением неопределенностей. В частности это относится к такой паре взаимно дополнительных понятий, как *размышление* (аналог положения) и *действие* (аналог импульса). При этом принимается положение, согласно которому нахождение словесного эквивалента той или иной мысли аналогично действию измерения на квантовый объект.

Действительно, процесс синтеза семантической информации, отражающей смысл управленческого решения, представляет собой процесс выбора на множестве принятых (предъявленных) к рассмотрению альтернатив, моделирующих ситуацию принятия решения.

Клименко Игорь Семенович

доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «ИСЭУ» Российского нового университета, Москва. Сфера научных интересов: теория систем, теория информации, теория принятия решений, физическая оптика, экология. Автор 170 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: igor.k41@yandex.ru

Палкин Евгений Алексеевич

кандидат физико-математических наук, профессор, проректор по научной работе Российского нового университета, Москва. Сфера научных интересов: математическое моделирование, асимптотические методы, теория информации, радиофизика. Автор 180 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: palkin@rosnou.ru

При этом в течение ограниченного промежутка времени лицо, принимающее решение (далее – ЛПР) выполняет рациональные расчетные и логические процедуры, направленные на обеспечение точности и полноты модели ситуации принятия решения. Однако при этом, как правило, сохраняется остаточная энтропия (неопределенность) решения.

Следует, однако, подчеркнуть, что ЛПР выполняет также и субъективное (иррациональное) оценивание степени риска, характеризующего ситуацию принятия решения, и ценности приобретенной информации с точки зрения вероятности достижения цели в конкретном цикле (процессе) управления. Поэтому проблема выбора, как правило, усугубляется сомнениями относительно готовности к решающему действию – доведению до объекта управления (далее – ОУ) оптимального управляющего воздействия.

Тем не менее лимит времени, отводимого на принятие и реализацию решения, по мере его истечения вынуждает конкретного индивида, выступающего в роли ЛПР, отбросить сомнения и выполнить по сути эвристическую мыслительную процедуру, а именно – решить реализовать наиболее предпочтительную из имеющихся альтернатив.

Условия принятия решений

Очевидно, что принятые решения, каузально связанные с конкретным состоянием ситуации их принятия, в максимальной степени основываются на **семантической информации**, причем количество семантической информации в сообщении определяется степенью соответствия сообщения реальной ситуации [5].

Примем следующие определения:

синтаксическая информация – сведения, изложенные в соответствии с совокупностью правил упорядочивания слов и словосочетаний используемого языка (осмысленный текст);

семантическая информация – синтаксическая информация, которой обладает физическая система об окружающей среде (обстановке) и которая каузально необходима системе для поддержания собственного существования в состоянии с низкой энтропией.

Подчеркнем также, что в контексте рассматриваемой задачи под информацией подразумеваются только те сведения, которые снижают степень неопределенности в принятии управленческого решения (далее – УР).

Семантическую информацию (сведения), необходимую для построения адекватной модели ситуации принятия решения и последующего выбора оптимального решения,

ЛПР может получить тремя основными способами: сгенерировать самостоятельно, найти или приобрести в информационной среде. При этом на приобретение информации ЛПР затрачивает интеллектуальные, финансовые, административные, материальные ресурсы. В любом случае необходимо наличие достаточных ресурсов, в том числе ресурса времени.

Временные ресурсы в теории эффективности принято выделять в отдельную самостоятельную категорию, поскольку время, с одной стороны, и остальные ресурсы – с другой связаны неоднородно в том смысле, что улучшение одного из этих показателей неизбежно влечет за собой ухудшение другого (см. далее соотношение (5)).

Зачастую для сокращения промежутка времени, затрачиваемого на достижение цели, ЛПР приходится использовать больше других ресурсов, и наоборот, экономия ресурсов оборачивается потребностью в более продолжительном промежутке времени. Отметим, что именно по этой причине при оценивании эффективности не применяется критерий превосходства. Поэтому на практике автоматически возникает оптимизационная задача поиска компромисса между оперативностью и ресурсоемкостью процесса управления.

В рамках постановки общей задачи при заданном ограничении времени принятия УР наиболее важными для ЛПР целесообразно считать интеллектуальные ресурсы, интегрирующие следующие составляющие: знания об ОУ (информацию и инновации), интеллектуальную собственность, а также технологии ведения бизнеса и организационные знания (управленческие ресурсы). Что касается финансовых и материальных ресурсов, то наличие таких ресурсов, адекватных сложности задачи и составляющих бюджет и материальное обеспечение любого проекта, также остается принципиально необходимым.

Очевидно, что в условиях лимита времени ЛПР имеет возможность дополнить свою модель ситуации принятия решения, сгенерированную с использованием интеллектуальных ресурсов, информацией, полученной за счет затраты имеющихся финансовых ресурсов. Строго говоря, как на этапе синтеза модели ситуации, так и на этапе ее уточнения, вплоть до готового для реализации УР, ЛПР на первом этапе может опираться только на доступные ресурсы – как правило, на интеллектуальные, а на втором этапе – на материальные и финансовые ресурсы. Речь, таким образом, может идти об обмене ресурсов на необходимую информацию. В рамках экономической теории данный процесс можно описать с помощью экономических моделей, использующих понятие эластичности.

Качественные показатели информации (сведений), используемой ЛПР для синтеза УР (в первую очередь их достоверность, актуальность, своевременность, полнота и точность) определяют **качество** принятого к реализации решения как степень его пригодности для успешного использования по назначению, то есть для **своевременной** и одновременно **уверенной** реализации управляющего воздействия посредством перевода ОУ в требуемое состояние.

Что касается **эффективности** процесса управления, детерминируемой качеством решений, то ее измерение (оценивание), как известно, становится возможным только после достижения и оценивания степени достижения целевого эффекта в каждом цикле управления.

Качество решения (его адекватность реальной ситуации) напрямую связано с **ценностью** использованной семантической информации, измеряемой согласно критерию Харкевича [6] как увеличение вероятности достижения целевого эффекта в результате перевода ОУ в очередное целевое состояние:

$$I = \log_2 \frac{P(I)}{P_0}. \quad (1)$$

Здесь $P(I)$ – вероятность достижения цели после получения информации I ; P_0 – вероятность достижения цели до получения этой информации.

В свою очередь, ценность информации сообщает ей определенную стоимость уже как экономическую категорию. Например, можно определить цену информации, которую ЛПР способен назначить исключительно субъективно, как сумму, которую он готов заплатить из имеющихся финансовых ресурсов для приобретения недостающей информации.

Можно выделить три основные причины наличия у информации экономической ценности [7].

1. Получение информации уменьшает неопределенность ситуации принятия решений, имеющих экономические последствия.

2. Сведения, циркулирующие в информационном поле, в том числе имеющие нулевую или отрицательную ценность, влияют на поведение людей, что также имеет соответствующие экономические последствия.

3. Наконец, информация сама по себе может иметь рыночную стоимость, которая определяется ожидаемой ЛПР прибылью от ее использования в интересах бизнеса.

Учитывая это, для оценки связи информации I и прочих ресурсов R , привлекаемых для решения задачи нахождения оптимального управленческого решения, воспользуемся моделью CES (constant elasticity system) [8] для производственной функции, которую мы рассматриваем как модель получения требуемого количества информации на основе использования различных ресурсных источников:

$$I_s = A \left(UI^{-k} + (1-U)(BR)^{-k} \right)^{-\frac{D}{k}}, \quad (2)$$

где $k > -1$; U – вероятность использования только исходной или сгенерированной ЛПР информации; R – все иные виды ресурсов, за счет которых приобретаетась необходимая информация; A, B, D – нормировочные константы.

Сосредоточим внимание именно на задаче сокращения неопределенности, которая представляется наиболее сложной и одновременно наиболее актуальной применительно к обычным условиям практики управления при использовании всех доступных для ЛПР ресурсов.

Как отмечалось выше, обычно ЛПР выполняет субъективное оценивание (измерение) степени риска и ценности информации. Однако имеется возможность получить и некоторые количественные оценки. В частности, ожидаемые потери от упущенных благоприятных возможностей (expected opportunity loss) L определим согласно [7] (в рамках бинарной задачи) как произведение вероятности наступления негативных последствий принятия ошибочного решения $(1 - P_{\text{реш}})$ на цену ошибки M_- , то есть масштаб негативных последствий принятого решения:

$$L = (1 - P_{\text{реш}}) M_- \quad (3)$$

Аналогично ЛПР выполняет субъективное оценивание положительного УР с вероятностью $P_{\text{реш}}$, реализующего целевую установку:

$$T = P_{\text{реш}} M_+ \quad (4)$$

где M_+ – масштаб позитивных последствий принятого решения.

Следовательно, прогнозируемая (субъективная) цена УР на текущий момент принятия решения такова:

О соотношениях неопределенностей в триаде информация – время – ресурсы, ...

$$C = T - L = P_{\text{реш}} M_+ - (1 - P_{\text{реш}}) M_- \quad (5)$$

Будем считать, что УР принимается в случае, когда для C установлен определенный порог C_0 :

$$C \geq C_0 > 0. \quad (6)$$

Учитывая (1) и (2), для оценки оптимальности УР на текущий момент времени получаем:

$$P_0 2^{I_S} M_+ - (1 - P_0 2^{I_S}) M_- \geq C_0 > 0, \quad (7)$$

где I_S определяется из (2).

Разница между значениями показателя C до и после получения ЛПР дополнительной информации будет составлять ожидаемую стоимость этой информации (expected value of information):

$$\Delta C = C_{\text{исх}} - C_{\text{ост}}. \quad (8)$$

Нетрудно рассчитать ожидаемую стоимость **полной** информации (expected value of perfect information) для случая полного устранения неопределенности относительно ситуации принятия решения, которая будет соответствовать нулевому значению ожидаемых потерь от упущенных благоприятных возможностей, а значит, максимальному значению C (см. (5)). Это позволяет ЛПР определить потолок стоимости информации, который, естественно, он не намерен превышать. Эта величина позволяет оценить структуру затрат на принятие решения в соответствии с (2) – пропорции между использованием собственных информационных ресурсов и информации, полученной с использованием иных типов ресурсов, – параметр U .

Однако на практике, как правило, ЛПР приходится довольствоваться лишь некоторым снижением неопределенности, то есть задача сводится к определению ожидаемой стоимости информации при заданном пороге принятия УР – C_0 .

Кривая зависимости ожидаемой стоимости информации от ее объема обычно имеет выпуклый вид и асимптотически стремится к значению ожидаемой стоимости полной информации [7], поэтому стоимость информации, снижающей неопределенность вдвое, как правило, превышает половину ожидаемой стоимости полной информации.

Соотношения неопределенностей и ресурс времени

Определим **остаточную энтропию решения** как степень неадекватности выбранного решения реальной ситуации. В общем случае можно принять достаточно очевидное положение, состоящее в том, что чем меньше времени затрачивается на генерацию информации и/или обмен информацией с окружающей средой, тем выше остаточная неопределенность полученных сведений относительно цели решения.

Соотношение неопределенности **информация – время** представим согласно [2] как

$$\Delta H_{\text{реш}} \Delta t_c \approx \text{const} \text{ при } \Delta t_c \leq t_{\text{доп}}, \quad (9)$$

где $\Delta H_{\text{реш}}$ – изменение остаточной энтропии (степени неопределенности) решения за промежуток времени Δt_c , необходимый ЛПР для принятия (синтеза) решения, длительность которого априори точно не известна.

Очевидно, что количество информации ΔI , полученное ЛПР, представляет собой (с точностью до нормировочной константы) разность между исходной (априорной) энтропией $H_{\text{исх}}$ и остаточной энтропией решения $H_{\text{реш}}$:

$$\Delta I = \Delta H_{\text{реш}} = H_{\text{исх}} - H_{\text{реш}}. \quad (10)$$

Однако в реальных условиях ЛПР нередко вынужден искать компромисс между временем Δt , затрачиваемым на принятие решения, и расходом иных ресурсов ΔR (кроме времени) при условии, что остаточная энтропия решения $H_{\text{реш}}$ не будет превышать некоторой допустимой величины $H_{\text{доп}}$. Соответственно, возникает соотношение неопределенностей **ресурсы – время**

$$\Delta R \Delta t_c \approx \text{const} \text{ при } H_{\text{реш}} \leq H_{\text{доп}}, \quad (11)$$

которое можно трактовать как отображение неопределенности между ожидаемыми затратами временных и всех иных ресурсов. Соотношение (11) непосредственно следует из (2), если предположить, что для обеспечения требуемой остаточной энтропии на некотором этапе решения используются только дополнительные сведения, а имеющаяся в распоряжении ЛПР информация уже использована (то есть в выражении (2) $U = 0$). Тогда

$$\Delta I_S = -k I_S \frac{\Delta R}{R}. \quad (12)$$

С другой стороны, вводя в рассмотрение совокупные ресурсы управления $\Delta R_\Sigma = \Delta R + \Delta t_{\text{доп}}$, можно получить соотношение неопределенностей **информация – ресурсы**

$$\Delta H_{\text{реш}} \Delta R_\Sigma \approx \text{const}; \Delta R \leq \Delta R_\Sigma. \quad (13)$$

Это соотношение означает, что чем меньше ресурсов (в том числе временных) задействуется в процессе подготовки окончательного решения, тем выше будет его остаточная энтропия.

Проведем декомпозицию совокупных ресурсов управления на три составляющие – ресурс времени, информационные (интеллектуальные) и финансовые (материальные) – и будем рассматривать их как целевые показатели. Тогда можно сформулировать трехпараметрическую оптимизационную задачу, состоящую в нахождении решения, при котором значения этих целевых показателей будут приемлемыми для ЛПР.

Подходы к решению оптимизационной задачи

В общем случае целью ЛПР является формирование множества Парето-оптимальных альтернатив (целевых показателей), то есть достижение такого состояния, при котором ни один показатель не может быть улучшен без ухудшения другого. Однако в реальной практике управления выделенные показатели, как правило, имеют для ЛПР разную степень важности. Следовательно, критерий оптимальности целесообразно определять по лексикографическому порядку на основании ранжирования показателей [9].

Наличие иерархии среди показателей (критериев) позволяет решать задачи последовательно по каждому следующему показателю, рассматривая оптимальные значения более существенных показателей как ограничения для последующих.

Для многих случаев представляется целесообразным считать наиболее существенным показателем длительность промежутка времени Δt , поскольку факт его истечения исключает возможность достижения цели в принципе. Что касается выбора соотношения показателей информация – ресурсы, то он относится к прерогативе ЛПР, который будет руководствоваться своей системой предпочтений, а также приоритетами, задаваемыми спецификой задачи принятия решения. В одних случаях ЛПР сочтет количество полученной информации достаточным для реализации управляющего воздействия и сохранит часть ресурсов, в других – будет готов затратить все наличные финансовые ресурсы для дальнейшего уточнения решения в пределах допустимого промежутка времени.

О соотношениях неопределенностей в триаде информация – время – ресурсы, ...

Подчеркнем важное обстоятельство, состоящее в том, что размышления и колебания ЛПР по поводу оценки степени готовности решения обусловлены таким сугубо социальным фактором, как чувство ответственности за ошибочное решение, что, очевидно, сложно моделировать и учитывать в оптимизации решения.

Изложенные соображения относятся в первую очередь к задачам оперативного управления. Для функций планирования (среднесрочный уровень) и прогнозирования (долгосрочный уровень) приоритетность целевых показателей может меняться; однако, учитывая высокую ресурсоемкость и трудоемкость процедур группового экспертного оценивания альтернатив, фактор расхода времени требует пристального внимания ЛПР.

Заключение

В заключение обратим внимание на следующее существенное обстоятельство. Субъективная оценка со стороны ЛПР ситуации принятия решения в реальной практике управления в значительной степени связана с их отношением к риску. Это обстоятельство проявляется в том, что к определенному моменту времени при одних и тех же условиях разные ЛПР будут иметь диаметрально противоположные мнения по поводу готовности к переходу от размышлений к решающему действию. Одни из них сочтут достигнутую точность решения достаточной для получения гарантированного целевого эффекта, другие, напротив, не рискнут довести его до объекта управления. В статистическом отношении это выразится в конкретном соотношении так называемых оптимистов и пессимистов в некоторой фиксированной выборке экспертов.

Отметим, что это очевидное обстоятельство, детерминирующее неопределенность оценки состояния контролируемой ситуации, для сомневающихся ЛПР можно трактовать как своеобразную суперпозицию двух возможных исходов реализации решения. Для оптимистов, рискнувших осуществить управляющее воздействие, разрешение неопределенности будет состоять в наблюдении (фиксации) исхода опыта. Именно таким образом выяснится, было ли решение удачным или ошибочным. Хотя при таком бинарном выборе ЛПР, согласно мере Хартли [10], получают формально всего один бит статистической информации, последствия состоявшегося выбора на основе полученной семантической информации будут иметь для них весьма важное значение.

Что же касается пессимистов (осторожных наблюдателей), не решившихся на «редукцию» неопределенности и воздержавшихся от реализации решения, то для них состоявшийся спонтанный переход объекта управления в очередное состояние обернется либо сожалением по поводу упущенной возможности реализовать удачное решение, либо апостериорной констатацией ошибочности подготовленного решения.

Относительное количество реализованных и отложенных решений будет определяться соотношением числа оптимистов и пессимистов в составе коллегии экспертов при условии ее достаточной представительности.

Здесь можно усмотреть аналогию с поведением квантовых частиц, например, при их взаимодействии с полупрозрачным зеркалом, когда отдельные фотоны отражаются или проходят случайным образом, но поведение множества фотонов статистически предсказуемо.

Таким образом, привлечение принципа дополнительности Бора для анализа социальных явлений позволяет не только увязать между собой рациональные и эвристические процедуры, выполняемые ЛПР, но и связать случайные действия отдельных индивидов с вероятностным детерминизмом поведения некоторого множества (репрезентативной выборки) лиц, принимающих решения.

Литература

1. Клименко И.С., Шарарова Л.И. Оптимизация управленческих решений и соотношение неопределенности информация – время // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2021. Вып. 1. С. 37–43.
2. Клименко И.С., Палкин Е.А. О соотношениях неопределенностей в диаде информация-время и значении его константы // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. 2021. Вып. 4. С. 80–87.
3. Klímenko I.S., Palkin E.A., Sharapova L.V. Bohr's complementarity principle and management decision making. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 432, pp. 181–189.
4. Bohr N. (1959) *Atomic Physics and Human Knowledge*, New York.
5. Floridi L. (2010) The philosophy of information. *Metaphilosophy*, Oxford, vol. 41, No. 3, pp. 420–442.
6. Харкевич А.А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. 1960. Вып. 4. С. 54–60.
7. Хаббард Д.У. Как измерить все, что угодно. Оценка стоимости нематериального в бизнесе: пер. с англ. М.: Олимп-Бизнес, 2009. 320 с.
8. Тебекин А.В. Методы принятия управленческих решений: учебник. М.: Юрайт, 2013. 572 с.
9. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учебное пособие. М.: Финансы и статистика. 2005. 367 с.
10. Хартли Р.В.Л. Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959.

References

1. Klímenko I.S., Sharapova L.I. (2021) *Optimizatsiya upravlencheskikh reshenii i sootnoshenie neopredelennosti informatsiya – vremya* [Optimization of managerial decisions and the ratio of uncertainty information – time]. *Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, vol. 1, pp. 37–43 (in Russian).
2. Klímenko I.S., Palkin E.A. (2021) *O sootnosheniyakh neopredelennostei v diade informatsiya-vremya i znachenii ego konstanty* [On the uncertainty relations in the information-time dyad and the meaning of its constant]. *Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie*, vol. 1, pp. 80–87 (in Russian).
3. Klímenko I.S., Palkin E.A., Sharapova L.V. Bohr's complementarity principle and management decision making. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 432, pp. 181–189.
4. Bohr N. (1959) *Atomic Physics and Human Knowledge*, New York.
5. Floridi L. (2010) The philosophy of information. *Metaphilosophy*, Oxford, vol. 41, No. 3, pp. 420–442.
6. Kharkevich A.A. (1960) *O tsennosti informatsii* [On the value of information]. *Problemy kibernetiki*, vol. 4, pp. 54–60 (in Russian).
7. Khabbard D.U. (2009) *Kak izmerit' vse, chto ugodno. Otsenka stoimosti nematerial'nogo v biznese* [How to measure anything. Valuation of the intangible in business]. Moscow, Olimp-Biznes Publishing, 320 p. (in Russian).
8. Tebekin A.V. *Metody prinyatiya upravlencheskikh reshenii* [Management decision-making methods: textbook]. Moscow, Yurait Publishing, 572 p. (in Russian).
9. Anfilatov V.S., Emel'yanov A.A., Kukushkin A.A. (2005) *Sistemnyi analiz v upravlenii* [System analysis in management: a tutorial]. Moscow, Finansy i statistika Publishing, 367 p. (in Russian).
10. Hartley R.V.L. (1959) *Teoriya informatsii i ee prilozheniya* [Information theory and its applications]. Moscow, Fizmatgiz Publishing (in Russian).