

УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

DOI: 10.25586/RNU.V9I187.19.03.P.044

УДК 519.81

И.С. Клименко, Л.В. Шарапова

ОБЩАЯ ЗАДАЧА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ И ФЕНОМЕН НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Совокупность основных характеристик ситуации принятия решения рассматривается совместно с базовыми аксиомами теории управления. Анализируются проблемы выбора оптимальных решений в условиях неопределенности и риска, а также при ограничении допустимого интервала времени на принятие решения. В зависимости от условий ситуации принятия решения обосновывается состав исходных данных, необходимых для выбора оптимальных решений и обеспечения достижимой эффективности управления. Сопоставляется природа неопределенности, обусловленной неустранимой неполнотой информации на макроуровне, с действием принципа неопределенности квантовой механики, имеющего статус фундаментального закона природы.

Ключевые слова: принятие решений, неопределенность, риск, ситуация принятия решения, качество решения, эффективность управления.

I.S. Klimenko, L.V. Sharapova

THE GENERAL PROBLEM OF DECISION-MAKING AND THE PHENOMENON OF UNCERTAINTY

The set of the main characteristics of the decision-making situation is considered together with the basic axioms of the control theory. The problems of choosing optimal solutions under uncertainty and risk, as well as limiting the allowable time interval for decision-making are analyzed. Depending of the conditions of decision-making situation, the composition of the initial data necessary for choice optimal decisions and ensuring achievable management efficiency is justified. The nature of uncertainty caused by irremovable incompleteness of information at the macro level and the action of the uncertainty principle of quantum mechanics, which has the status of fundamental law of nature, are compared.

Keywords: decision-making, uncertainty, risk, decision-making situation, decision quality, management efficiency.

Введение

Одним из принципов формирования информационного общества и экономики знаний является преобразование генерируемых знаний в новые стратегии управления сложными техническими и организационными системами. Объективное возрастание сложности систем порождает высокую неопределенность ситуации принятия решений.

Постановка общей задачи выбора стратегий или принятия решений характерна для проблемной ситуации, в которой лицо, принимающее решение (ЛПР), оказывается перед необходимостью осуществить выбор наилучшей альтернативы в условиях высокой неопределенности и ограниченного лимита времени [3; 12]. Как следствие, такие задачи относятся к числу наиболее сложных.

В рамках системного подхода любой объект, явление или процесс принято рассматривать как сложную систему, движущуюся к заранее поставленной или объективно существующей цели.

Это в полной мере относится к задачам принятия решений по управлению сложными системами, направленному на достижение определенной цели, а именно перевода объекта управления (ОУ) в заданное конечное состояние. При этом на каждом шаге движения к цели, т.е. в каждом цикле управления, ЛПР выбирает в условиях ограниченного времени решение о переводе ОУ в новое состояние, соответствующее заданному целенаправленному характеру его поведения.

При моделировании процесса управления как сложной системы последовательных событий необходимо принимать во внимание особенности сложных систем, в частности неизбежное присутствие в них неоднородных (векторных) связей [1; 5]. Собственно, наличие неоднородных (векторных) связей является, наряду с эмерджентностью и робастностью, отличительным признаком сложной системы и ее неотъемлемым свойством.

Влияние неоднородных связей на принимаемые решения по выбору оптимальной альтернативы состоит в том, что улучшение одних характеристик системы неизбежно сопровождается ухудшением других. Иными словами, при анализе сложной системы обнаруживаются определенные пары существенных характеристик, для которых оказывается невозможным их одновременное улучшение.

Это обстоятельство накладывает серьезные ограничения на процессы моделирования сложных систем, в частности, отсюда вытекает принцип компромисса между точностью и сложностью синтезируемой модели [1]. Данный принцип отражает тот факт, что стремление построить точную модель посредством учета как можно большего количества свойств прототипа приводит к неограниченному нарастанию ее сложности. В полной мере с наличием неоднородных связей в системе сопряжена известная проблема корректности критерия превосходства [Там же].

Возрастание сложности модели напрямую зависит от нарастания степени неопределенности ситуации принятия решения. Универсальное множество альтернатив в условиях неопределенности принимается как однозначно неопределенное, т.е. может пополняться и видоизменяться в процессе выбора. Кроме того, принцип выбора оптимальной альтернативы также остается неформализованным.

Очевидно, что в случае если оптимальную альтернативу не удалось априори включить в универсальное множество, то никакими приемами ее там выявить не удастся и процесс пополнения универсального множества может продолжаться длительное время. Собственно говоря, это характерно для эволюции науки, когда от возникновения познавательной проблемы до генерации хотя бы удовлетворительной гипотезы проходят годы и десятилетия.

Универсальное множество альтернатив по определению может пополняться и видоизменяться с целью включения в него объективно оптимальной альтернативы. ЛПР выступает при этом в качестве так называемого рационального оптимизатора, рассматривающего все возможные гипотезы и готового ограничиться эвристическим принципом разумной достаточности, т.е. остановиться на первом варианте, удовлетворяющем или превосходящем ожидания.

В связи с феноменом неопределенности обратим внимание на следующее обстоятельство. Характеризуя наиболее высокую степень неопределенности на начальном этапе решения познавательной (исследовательской) проблемы, можно утверждать, что модель ситуации у нас отсутствует, т.е. об объекте исследования ничего не известно. Однако это эквивалентно противоположному утверждению о необходимости принятия к рассмотрению априори неограниченного множества альтернативных моделей.

Проблематика общей задачи принятия решения

Рассмотрим процесс управления, в ходе которого ЛПР на основе сведений о текущем состоянии ОУ и обстановки (окружающей среды) принимает в каждом цикле управления решение о выборе управляющего воздействия и его адекватного доведения до ОУ посредством передачи соответствующего сообщения. Формально модель такой задачи принятия решения можно представить в виде следующего кортежа [1]:

$$S_{зпр} = \langle F_{ц}, S_{исх}, M_{сиг}, A_{реш}, R, K \rangle, \quad (1)$$

где $S_{зпр}$ – символическое обозначение задачи принятия решения; $F_{ц}$ – цель принятия решения; $S_{исх}$ – исходные сведения для порождения альтернативных вариантов решения (данные относительно состояний ОУ и обстановки); $A_{реш}$ – множество порожденных ЛПР альтернатив решения относительно применения к ОУ конкретного управляющего воздействия; R – выбранное решение; K – критерий (правило, на основе которого ЛПР выбирает оптимальное с его точки зрения решение).

Следует отметить, что в литературе, как правило, непосредственно вводится в рассмотрение множество альтернативных вариантов решения, предъявляемое для выбора, однако по существу каждый из них ориентирован на одну из множества моделей, генерируемых ЛПР для описания ситуации принятия решения. Поэтому представляется целесообразным представляется целесообразным включение в кортеж (1) существенного элемента $M_{сиг}$ – множества альтернативных моделей, отображающих ситуацию принятия решения. Задача ЛПР в каждом цикле управления как раз и состоит в преобразовании синтезированной им модели ситуации в очередное управленческое решение.

Сопоставим компоненты кортежа (1) с известными аксиомами теории управления (см., например: [Там же]), постулирующими наличие *цели управления, наблюдаемости и управляемости ОУ, ресурсов управления, свободы выбора решения и критерия эффективности управления.*

В зависимости от конкретной ситуации возникает относительно широкий спектр частных задач принятия решения. В частности, ОУ может представлять собой техническую либо организационную систему, он может быть изолирован от окружающей среды либо находиться под ее воздействием, это воздействие может быть контролируемым или неконтролируемым со стороны ЛПР, ОУ может функционировать, развиваться и эволюционировать в условиях определенности, риска или неопределенности, допустимое время на принятие решения может изменяться в широких пределах в зависимости от выполняемой функции управления (оперативное управление, планирование либо прогнозирование) и т.д.

Проблема определения цели принятия решения

Целью принятия решения может быть: перевод ОУ в заданную точку траектории в реальном или фазовом пространстве, его удержание на траектории, целенаправленное изменение структуры и/или поведения ОУ, его адаптация к условиям обстановки и др. Общее требование к процессу целеполагания состоит в том, что цель принятия решения должна быть определена достаточно четко и конкретно. Очевидно, что расплывчатая, неопределенная дефиниция цели безусловным образом приводит к снижению эффективности управления.

Однако указанное требование носит общий, декларативный характер и в каждом конкретном случае может быть выполнено с той или иной степенью соответствия желаемому. Действительно, цель как *модель* будущего состояния ОУ и обстановки принято определять как ситуацию или область ситуаций, которая должна быть достигнута к определенному моменту времени в результате выполнения процесса управления [1]. Однако, в силу фундаментальной неупорядоченности природы (окружающей среды), условия движения к цели, как правило, оказываются не полностью определенными. Достижение же в точности заданной ситуации (цели) возможно только в условиях полной определенности, когда процесс можно уверенно считать детерминированным на макроскопическом уровне.

Это означает, что в реальной практике управления выполняемая ЛПР процедура целеполагания должна априори предусматривать неполную определенность условий движения к цели и возникающие при этом риски.

При этом, в случае качественной цели, для которой зафиксированы конкретный целевой эффект и оптимальный промежуток времени для его достижения, необходимо учитывать еще и ресурсные ограничения. В случае же количественной цели ЛПР, задавая численные характеристики целевого эффекта, в том числе требуемую эффективность процесса управления, ориентируется на выполнение критерия оптимальности, однако допускает возможность ограничиться удовлетворением критерию пригодности [5].

Конкретно же в условиях возникающего при неполной определенности риска ЛПР будет выбирать стратегию, сопоставляя синтезированную им модель исходной ситуации с моделью, отражающую его видение целевой ситуации. Возникает характерная задача «игры с природой», в которой ЛПР перебирает широкий спектр критериев оптимальности [9] в соответствии со своими системой предпочтений и отношением к риску.

Проблема наблюдаемости объекта управления

В общем случае исходные данные для порождения альтернатив складываются из двух составляющих: данные относительно текущего состояния ОУ и данные относительно состояния обстановки. В совокупности они характеризуют *ситуацию принятия решения* в каждом цикле управления. Следовательно, исходные данные можно записать как кортеж-двойку:

$$S_{\text{исх}} = \langle S_{\text{оу}}, S_{\text{об}} \rangle, \quad (2)$$

где $S_{\text{оу}}$ и $S_{\text{об}}$ – данные о состоянии ОУ и обстановки соответственно к моменту принятия очередного решения. Полнота и точность этих данных отражают степень *наблюдаемости* ОУ.

Поскольку ОУ «обрабатывает» как управляемые воздействия ЛПР, так и неуправляемые воздействия окружающей среды, его внутреннее состояние в очередном цикле управления будет функцией этих воздействий. Обозначим X множество *управляемых* воздействий и N – множество *неуправляемых* воздействий. В совокупности они образуют множество *управляющих* воздействий $X^* = \langle X, N \rangle$. В общем случае множество управляющих воздействий порождает в каждом цикле управления ОУ множество его внутренних состояний Z , которое, в свою очередь, порождает множество выходных сигналов Y . По тем или иным причинам для ЛПР наблюдаемым оказывается некоторое подмножество Y' выходных сигналов, поскольку отдельные выходные сигналы для ЛПР могут оказаться ненаблюдаемыми, а некоторые из них ЛПР может при анализе счесть несущественными и исключить из рассмотрения.

Модель, отображающая поведение ОУ как системы, может быть представлена кортежем из шести объектов:

$$S_a = \langle x, n, y, z, f, g \rangle, \quad (3)$$

где $x = x(t)$ – управляемый входной сигнал как конечное множество функций времени; $n = n(t)$ – неуправляемый входной сигнал (внешнее воздействие) как конечное множество функций времени; $y = y(t)$ – выходной сигнал как конечное множество функций времени; $z = z(t)$ – переменная внутреннего состояния – множество функций, определяющих значения выходных сигналов $y(t)$; f и g – функционалы, задающие текущие значения выходных характеристик и внутреннего состояния ОУ.

С помощью этих функционалов записываются в инвариантной форме уравнение наблюдения и уравнение состояния объекта управления:

$$y(t) = g(x(t), n(t), z(t)); \quad (4)$$

$$z(t) = f(z(t_0), x(\tau)); \tau = [t_0, t], \quad (5)$$

где $z(t_0)$ – начальное состояние ОУ; $[t_0, t]$ – весь интервал времени, прошедший от момента начала управления к моменту принятия очередного решения.

Состояние ОУ в каждый момент времени характеризуется множеством переменных z , меняющихся вследствие внутренних возмущений (флуктуаций), управляемых и неуправляемых воздействий. При этом переменные состояния $z(t)$ в общем случае могут быть неизвестны и судить об их физической природе и величине оказывается затруднительным. Выходные же переменные $y(t)$ являются конкретными физическими величинами, они, как правило, наблюдаемы и измеряемы. Поэтому определение состояния ОУ в каждом цикле управления в большинстве случаев оказывается осуществимым именно в пространстве выходных переменных.

Формально определение произвольного внутреннего состояния ОУ возможно только в том случае, если в результате измерения выходных переменных $y(t)$ при известных значениях управляемых входных переменных $x(t)$ может быть получена достоверная оценка любого внутреннего состояния $z(t)$.

Таким образом, необходимое и достаточное условие полной наблюдаемости ОУ состоит в том, что каждый элемент $y(t)$ при фиксированных значениях t и $x(t)$ имеет в качестве прообраза единственный элемент $z(t)$. Это означает, что каждому состоянию ОУ должно соответствовать одно и только одно значение выходной переменной. Следовательно,

должно существовать отображение, обратное уравнению наблюдения (4), которое позволяет воспроизводить внутренние состояния объекта управления по наблюдаемым выходным характеристикам, порождаемым этими внутренними состояниями:

$$g^{-1}: y(t) \rightarrow z(t). \quad (6)$$

Благодаря наличию такого обратного преобразования выходные переменные могут быть использованы в качестве характеристики наблюдаемого текущего состояния объекта управления. Иными словами, при *полной наблюдаемости* объекта управления всегда имеется возможность определения внутреннего состояния ОУ по результатам измерения его выходных характеристик. В этом и состоит решение обратной задачи управления.

На практике весьма важным для обеспечения полной наблюдаемости ОУ является определение необходимого и достаточного набора элементов (контрольных точек), в которых производится измерение существенных выходных характеристик. В технических системах функция контроля, включающая операции наблюдения, классификации и идентификации состояний ОУ, обеспечивается соответствующими измерительными приборами и устройствами. В организационных системах ответственность за достоверность, полноту и точность данных о состоянии системы с управлением лежит на ЛПР ОУ.

Если ОУ изолирован от воздействий среды, задача ЛПР существенно упрощается. Действительно, в этом случае ЛПР в принципе известны структура и поведение ОУ, т.е. закон его функционирования:

$$y(t) = g(x(t), z(t)). \quad (7)$$

Если при этом решена обратная задача управления и ОУ можно считать полностью наблюдаемым, то ЛПР известен также алгоритм (механизм) функционирования ОУ, т.е. способ обеспечения наблюдаемого закона функционирования. Это означает, что ЛПР владеет уже не только *данными*, но и *знанием* закономерности функционирования (поведения) ОУ, позволяющим обеспечить высокую вероятность выбора оптимальных решений в каждом цикле управления вплоть до достижения цели.

При этом поведение ОУ можно считать детерминированным с точностью до его внутренних флуктуаций и рассматривать задачу управления ОУ в условиях *определенности*.

В общем случае, когда влиянием обстановки на состояние ОУ пренебречь невозможно, а также когда объектом управления является сложная организационная или организационно-техническая система, ОУ нельзя считать полностью наблюдаемым и задача управления переходит в условия *риска*.

Риск как характеристика ситуации принятия решения

Как видим, решение задачи наблюдаемости ОУ непосредственным образом зависит от того, в каких условиях (определенности, риска или неопределенности) ЛПР будет искать оптимальное решение в каждом цикле управления. Поэтому в общем случае кортеж (1) следует дополнить компонентом, характеризующим риск N , порождаемый реализацией выбранного решения и неопределенным состоянием самого ОУ и обстановки.

Тогда

$$S_{зпр} = \langle F_{ц}, S_{исх}, M_{сип}, N, A_{реш}, R, K \rangle. \quad (8)$$

При этом интегральный риск можно рассматривать как кортеж из четырех компонентов:

$$N = \langle N_{\text{реш}}, N_{\text{ст}}, N_{\text{акт}}, N_{\text{уп}} \rangle, \quad (9)$$

где $N_{\text{реш}}$ – риск решения, который введем как характеристику ситуации принятия решения, определяющую вероятность и величину возможных потерь (ущерба) вследствие реализации выбранного решения;

$N_{\text{ст}}$ – риск, обусловленный статистической неопределенностью обстановки (природы), который можно рассматривать как независимый от принятого решения;

$N_{\text{акт}}$ – риск, порождаемый сознательным активным противодействием со стороны других ЛПР и косвенно связанный с решениями, принятыми в предыдущих циклах управления;

$N_{\text{уп}}$ – риск упущенных благоприятных возможностей.

Очевидно, что риск решения $N_{\text{реш}}$ обусловлен главным образом неполной наблюдаемостью ОУ и обстановки, т.е. неполным соответствием данных, которыми располагает ЛПР относительно состояния ситуации принятия решения, его реальному состоянию. При этом риск решения может полностью или частично представлять собой риск потерь от упущенных благоприятных возможностей.

Для каждого из компонентов кортежа (9), как, впрочем, и для интегрального риска, можно составить следующий кортеж:

$$N_i = \langle P_i, M_i \rangle, \quad (10)$$

где P_i – вероятность наступления рискованных событий; M_i – масштаб негативных последствий.

Как следует из практики управления риском, масштаб негативных последствий наступления рискованного события оказывается тем выше, чем меньше его вероятность, т.е. можно считать, что $P_i M_i = \text{const}$.

Для определенного класса ситуаций принятия решения интегральный риск может быть сведен к значению вероятности недостижения цели P^* при заданном промежутке времени и имеющихся ресурсах. Тогда вероятность достижения цели при тех же начальных условиях $P_{\text{ан}} = 1 - P^*$.

Очевидно, что риск тем выше, чем больше неопределенность состояния обстановки [7; 9]. Для уменьшения степени риска ЛПР стремится получить за ограниченный промежуток времени как можно больше информации, т.е. достоверных сведений о состоянии обстановки, и при этом исключить использование для принятия решения дезинформации и информационного шума. Для этого, естественно, необходимы ресурсы.

Проблема наличия ресурсов управления

С точки зрения оценивания экономической эффективности управления кортеж (8) следует дополнить компонентом, характеризующим ресурсы, которыми располагает ЛПР для поиска решения и в конечном итоге для достижения цели.

В качестве отдельного самостоятельного ресурса выступает время, которым располагает ЛПР для принятия решения. Естественно, чем больше времени отпущено на принятие решения, тем больше шансов, что будет найдено наиболее удачное, т.е. оптимальное, решение. При этом неизбежно возникает оптимизационная задача, в которой целевой

характеристикой является качество решения, т.е. степень его соответствия реальному состоянию ОУ и обстановки, а лимит времени играет роль ограничения.

Время, которым располагает ЛПР на принятие решения $T_{доп}$, характеризует оперативность управления и выделяется в самостоятельный ресурс, поскольку, в силу неоднородной (векторной) связи между оперативностью и ресурсоемкостью, оптимизация соотношения время/ресурсы представляет собой непрямую задачу обеспечения эффективности процесса управления в зависимости от целей и предпочтений ЛПР.

Очевидно, что значение $T_{доп}$ существенным образом зависит от выполняемой ЛПР функциональной задачи управления. Задача оперативного управления, как правило, выполняется в реальном времени, когда решение должно приниматься незамедлительно с изменением обстановки.

Задача планирования, имеющая целью снятие неопределенности относительно структуры и поведения ОУ, а также состояния обстановки, возникает при существенных изменениях условий функционирования ОУ, препятствующих продолжению оперативного управления. Как функцию управления планирование принято делить на тактическое и стратегическое. Поэтому значение $T_{доп}$ при выполнении планирования может находиться в широких пределах, оставляя тем не менее ЛПР возможность обстоятельного анализа ситуации принятия решения.

Функция прогнозирования имеет целью получение научно обоснованного суждения о возможных состояниях ОУ и обстановки в достаточно отдаленном будущем, а также об альтернативных вариантах и сроках достижения предполагаемого целевого состояния. Очевидно, что ценность достоверного прогноза, как и цена ошибочного, чрезвычайно велика. Поэтому для получения важных прогнозов нередко используются такие особо трудоемкие и дорогостоящие процедуры коллективной экспертизы, как метод Дельфи.

Остальные ресурсы $P_{рес}$, необходимые для принятия решения, часто рассматриваются в интегральном виде. В случае необходимости производится декомпозиция ресурсов на отдельные составляющие: материальные, финансовые, человеческие (трудовые), интеллектуальные, информационные, расчетные, вычислительные и др.

В принципе, ресурсы $P_{рес}$ необходимы как для обеспечения функционирования ОУ, мотивации и стимулирования персонала организационных систем (материальные, технические, финансовые, административные), так и для получения извне дополнительной информации об обстановке, в том числе для управления рисками, в частности для предотвращения рисков событий или снижения ущерба от их наступления.

$$S_{зпр} = \langle F_{ц'}, T_{доп'}, P_{рес'}, N_{реш'}, S_{исх'}, M_{сиг'}, A_{реш'}, R, K \rangle. \quad (11)$$

Экономический смысл принятия и продвижения инновационных решений заключается в снижении рисков неудачи при выходе на рынок, что отражается известной формулой – произведение величин инвестиций и риска есть величина постоянная:

$$P_{рес} \cdot N_{реш} = const. \quad (12)$$

Затраты ресурсов при этом можно рассматривать как плату за увеличение шансов на успешный результат (увеличение вероятности достижения цели).

Следует отметить, что в условиях инновационной экономики в качестве ресурсов рассматриваются в первую очередь интеллектуальные ресурсы (знания ЛПР) вкупе с вычис-

лительными ресурсами информационных систем поддержки принятия решений (СППР) и лишь во вторую – финансовые ресурсы, которые могут быть направлены, в частности, для оплаты работы эксперта (коллегии экспертов) или команды системного аналитика.

В конечном итоге *качество* сведений, используемых ЛПР для принятия решения (в первую очередь их достоверность, полнота и точность), определяет *ценность* сообщения, выражающего суть принятого решения, с точки зрения его использования по назначению, т.е. для реализации управляющего воздействия по переводу ОУ в очередное требуемое состояние.

Проблема свободы выбора решения

Одна из базовых аксиом теории управления определяет обязательную необходимость наличия у ЛПР свободы выбора решения (управляющего воздействия) на множестве допустимых альтернатив. Обычно рассматривается два аспекта проблемы [1]. Прежде всего утверждается, что чем меньше это множество, тем ниже эффективность управления, поскольку в условиях действия ограничений оптимальные альтернативы (решения) часто оказываются за пределами области адекватности. С другой стороны, подчеркивается, что отсутствие (или исчерпание) ресурсов управления эквивалентно отсутствию свободы выбора решения.

Однако, если учитывать имеющийся у ЛПР ограниченный ресурс времени, возникает определенное противоречие. С одной стороны, действительно целесообразно расширять генеральное множество альтернатив, повышая тем самым вероятность включения в него объективно оптимальной альтернативы. С другой стороны, необходимо обеспечить условие $T_{\text{реш}} \leq T_{\text{доп}}$, т.е. принять решение и довести его до ОУ до исчерпания отведенного ресурса времени. В частности, в условиях оперативного управления, как уже отмечалось, этот ресурс крайне ограничен. В условиях выполнения функций планирования и прогнозирования он тоже неограничен.

Следовательно, мы возвращаемся к оптимизационной задаче, решая которую ЛПР стремится всемерно пополнить генеральное множество альтернатив, а лимит времени вынуждает его это множество ограничивать. Впрочем, возможны ситуации, когда ЛПР предпочтет предельно сократить промежуток времени на формирование множества альтернатив, а снижение вероятности выявления оптимальной альтернативы будет его в этом стремлении ограничивать.

Следует обратить внимание на еще один немаловажный аспект этой проблемы. Дело в том, что в условиях риска и неопределенности свобода выбора решения для ЛПР оказывается теснейшим образом связана с его отношением к риску. Выбор критерия K (см. кортеж (11)) определяется, таким образом, индивидуальной системой предпочтений конкретного ЛПР. Кроме того, при выборе критерия ЛПР учитывает цель и значимость выполняемой операции, имея в виду, что в одних ситуациях необходим гарантированный результат, а в других – допустим определенный риск.

В частности, практика принятия решений в условиях статистической неопределенности [9] базируется на возможности выбора критериев оптимальности в широком интервале отношений «оптимизм – пессимизм». При этом свобода выбора решения на множестве альтернатив, как правило, сводится к свободе выбора того или иного критерия оптимальности, в частности критерия Гурвица [10; 11].

Из практического опыта поиска информации для принятия решений в условиях неполной определенности следует, что выявление и накопление необходимых (актуальных) данных происходит, как правило, с экспоненциальным замедлением [14]. Поэтому, в силу наличия лимита времени, во многих случаях решение приходится принимать задолго до перевода задачи в условия определенности. Как следствие, ЛПР оказывается вынужденным к моменту принятия решения (выбора стратегии) использовать, наряду с детерминированными сведениями, вероятностные оценки и интуитивные соображения [6; 7]. Естественным образом возникает задача оценивания (измерения) качества решений и связанной с ним эффективности процесса управления [8].

Проблема управляемости объекта управления

Под управляемостью ОУ принято понимать его способность переходить в пространстве состояний под действием управляющих воздействий из любого текущего состояния в требуемое для данного цикла управления состояние. Тем самым предполагается, что в отношении ресурсов управления ЛПР должен выполняться принцип необходимого разнообразия Эшби [12] в том смысле, что ЛПР не должно допустить потери управляемости вследствие отсутствия в той или иной ситуации необходимого управляющего воздействия. При этом имеется в виду не только возможность рационального изменения существенных параметров функционирования ОУ для его удержания на траектории, ведущей к цели в условиях дестабилизирующих внутренних и внешних случайных событий (задача слежения). В процессе достижения цели, особенно в условиях неполной определенности, может потребоваться изменение структуры и поведения ОУ, механизма и алгоритмов его функционирования, развития и эволюции.

Один из важных аспектов проблемы управляемости связан с управлением сложными организационными и организационно-техническими системами, обладающими разветвленной иерархией. В таких системах управляемость ОУ различных уровней иерархии в значительной степени связана с решениями оперативного характера, принимаемыми на нижних уровнях иерархии при выполнении стратегических и тактических решений, поступающих с верхних уровней. Поэтому на первый план выдвигаются такие функции управления, как организация и координация, а также функции управления, связанные с учетом человеческого фактора, в частности мотивация и стимулирование персонала.

При этом возникает проблема определения ценности информации, точнее, сообщений, которыми обмениваются субъекты информационных процессов [13]. Для ЛПР верхних уровней иерархии критически важно использовать для принятия решений достоверные сведения (ценную информацию), отсеивая компоненты сообщений, несущие информационный шум и дезинформацию [2; 7]. В противном случае возникает положительная (усиливающая) обратная связь, приводящая к нарастанию степени несоответствия принимаемых решений реальному состоянию обстановки.

Выбор решений, связанных с реализацией таких управленческих функций, особенно в случаях, требующих оперативного решения, принуждает ЛПР применять эвристические процедуры, что и приводит к снижению вероятности нахождения оптимального решения.

Проблема оценивания качества решений и эффективности управления

В рамках рассмотрения этой проблемы примем следующие определения ключевых понятий теории эффективности.

Качество системы – совокупность ее существенных свойств, определяющая степень ее *пригодности* для использования по назначению.

Эффективность процесса, выполняемого системой, – ее комплексное операционное свойство, определяющее степень ее *приспособленности* к достижению цели.

Отметим, что понятие процесса как упорядоченного множества событий подпадает под понятие системы как упорядоченного множества элементов.

Анализ принятых определений показывает, что качество и эффективность системы отнюдь не являются эквивалентными понятиями. Качество как множество существенных свойств системы представляет собой априорное условие обеспечения ее эффективности при условии использования ее по назначению. Некачественная система не может быть эффективной. Качественная система окажется неэффективной в случае ее использования не по назначению.

Отметим, что в случае когда пусть даже тщательно продуманное решение реализуется по истечении допустимого промежутка времени, оно окажется неоптимальным именно по причине использования не по назначению – применительно к изменившейся ситуации.

Очевидно, что постановка задачи оценивания эффективности ОУ требует дополнить кортеж (11) критерием эффективности достижения цели, который обозначим \check{K} . Тогда

$$S_{зпр} = \langle F_{ц}, T_{доп}, P_{рес}, N_{реш}, S_{исх}, M_{сиг}, A_{реш}, R, K, \check{K} \rangle. \quad (13)$$

Эффективность системы является операционной характеристикой ее функционирования, и ее обобщенный показатель интегрирует три частных показателя: результативность $Y_{рез}$, оперативность $Y_{оп}$ и ресурсоемкость $Y_{рес}$:

$$Y_{эфф} = \langle Y_{рез}, Y_{оп}, Y_{рес} \rangle. \quad (14)$$

В силу указанных различий между понятиями качества и эффективности целесообразно относить характеристику качества к принятому решению с учетом совокупности его существенных свойств, а характеристику эффективности – к завершеному процессу управления при условии достижения цели.

Качество решения определяется величиной (количеством) снимаемой неопределенности (энтропии) относительно ситуации принятия решения. При этом оно существенно зависит от таких частных характеристик исходных данных, как актуальность, своевременность, полнота, избыточность, точность, готовность к применению по назначению и др. [4].

Предварительная оценка качества (потенциальной эффективности) управленческого решения может быть сформирована на стадии его принятия, однако реальный результат принятия решения, как правило, может быть измерен только после выполнения операции контроля достигнутого состояния ОУ, в которое он был переведен соответствующим управляющим воздействием. Окончательно качество совокупности решений можно определить только по результатам оценивания (измерения) эффективности завершеного процесса управления.

Естественным критерием достижения цели управления является сам факт приведения ОУ в состояние, определенное при целеполагании как конечное (целевое). В случае количественной цели критерием ее достижения может служить достижение области допустимых значений в пространстве состояний ОУ.

Оценивание качества решений и эффективности управления требует наличия соответствующих критериев. В условиях определенности традиционно используются хорошо известные критерии пригодности, оптимальности и превосходства (в предположении о детерминированном характере ситуации и выполняемых процессов).

В случае вероятностных операций, т.е. в условиях риска, процедуры оценивания эффективности основаны на использовании понятия вероятности достижения цели. При этом операция считается эффективной [1; 13], если вероятность достижения цели по обобщенному показателю эффективности равна вероятности достижения цели с оптимальным значением этого показателя:

$$P_{\text{дц}}(Y_{\text{эфф}}) = P_{\text{дц}}(Y_{\text{эфф}}^{\text{опт}}). \quad (15)$$

В условиях неполной определенности ЛПР, ориентируясь на выполнение критерия оптимальности по обобщенному показателю эффективности, как правило, допускает возможность ограничиться выполнением критерия пригодности, согласно которому операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по обобщенному показателю эффективности окажется не меньше допустимой вероятности достижения цели по этому показателю:

$$P_{\text{дц}}(Y_{\text{эфф}}) \geq P_{\text{дц}}(Y_{\text{эфф}}^{\text{доп}}). \quad (16)$$

При этом следует иметь в виду, что, в силу существования неоднородной связи между такими частными показателями эффективности, как оперативность и ресурсоемкость, оптимизация по обобщенному показателю эффективности в основном и будет направлена на достижение их наилучшего, с точки зрения ЛПР, соотношения при неперменном условии достижения цели.

В случае качественной цели заданный показатель результативности однозначно определяется как зафиксированный факт достижения цели. Тогда значение $P_{\text{дц}}(Y_{\text{эфф}}^{\text{опт}})$ определяется оптимальным соотношением достигнутых показателей оперативности и ресурсоемкости в зависимости от того, какой из них определен как целевой, а какой выступает в качестве ограничения.

В случае количественной цели результативность целесообразно оценивать по степени достижения целевого эффекта. При этом естественным образом ЛПР, как правило, априори (на этапе целеполагания) устанавливает минимально допустимую степень достижения цели. Тем самым задача оценивания эффективности автоматически сводится к ситуации применения критерия пригодности к этому, безусловно, приоритетному показателю эффективности. Что же касается показателей оперативности и ресурсоемкости, то, в зависимости от задачи управления, к одному из них тоже автоматически будет применяться критерий оптимальности при условии, что второй не должен будет выходить за пределы допустимого значения. Тогда условия оптимальности будут выглядеть следующим образом:

$$Y_{\text{эфф}}^{\text{опт}} = \langle Y_{\text{рез}}^{\text{доп}}, Y_{\text{оп}}^{\text{доп}}, Y_{\text{рес}}^{\text{опт}} \rangle; \quad (17)$$

$$Y_{эфф}^{опт} = \langle Y_{рез}^{доп}, Y_{оп}^{опт}, Y_{рес}^{доп} \rangle, \quad (18)$$

где $Y_{рез}^{доп}$, $Y_{оп}^{доп}$, $Y_{рес}^{опт}$ – показатели допустимых значений результативности, оперативности и оптимального значения ресурсоемкости соответственно.

Совершенно очевидно, что нет никакого смысла оптимизировать обобщенный показатель ожидаемой эффективности по оперативности либо ресурсоемкости в случае, если цель окажется недостигнутой.

Итак, согласно (15) вероятностная (недетерминированная) операция считается эффективной, если вероятность достижения цели по обобщенному показателю эффективности равна вероятности достижения цели с оптимальным значением этого показателя. Однако это требование носит общий характер. На практике же разные ЛПР, реализуя принцип свободы выбора решения, в одной и той же ситуации будут принимать решения о выборе управляющих воздействий в соответствии со своими оценками степени допустимого риска решений в конкретных ситуациях.

Как уже отмечалось, эффективность процесса управления может быть достоверно оценена только после его полного завершения, т.е. достижения целевого эффекта [6]. Однако следствием реализованного решения может оказаться заранее неизвестный побочный эффект, в том числе «отложенный» на заранее неизвестный промежуток времени. Следовательно, риск решения может быть обусловлен не только вероятностью наступления ожидаемого рискованного события, но также и неустранимой неопределенностью относительно возможности, срока проявления и масштаба негативных последствий проявления побочных эффектов, вызванных реализацией решений.

Заключение

В заключение остановимся на важном, на наш взгляд, обстоятельстве, связанном с феноменом неопределенности. Ситуацию принятия решения в условиях неопределенности можно ассоциировать с фундаментальной неупорядоченностью природы, заложенной в нее принципом неопределенности квантовой механики.

Согласно этому принципу у квантовой системы (частицы) отсутствует определенная траектория (копенгагенская интерпретация квантовой механики). Альтернативная трактовка, напротив, предполагает наличие сколь угодно большого количества траекторий, вероятности реализации которых лежат в чрезвычайно широком интервале значений (так называемая сумма по историям).

Подобным же двояким образом можно трактовать ситуацию неопределенности относительно структуры и поведения априори неизвестной наблюдателю (ЛПР) *макроскопической* системы (объекта познаваемого материального мира). Действительно, познающий субъект может говорить об отсутствии у него какой-либо модели такой системы, но, с другой стороны, это означает, что в принципе может быть принято к рассмотрению сколь угодно большое количество альтернативных пробных моделей (гипотез) для описания этой системы.

Развивая данную аналогию, можно утверждать, что априорная сложность познавательной задачи отражает неопределенность относительно искомого полного и точного описания (моделирования) структуры и поведения исследуемого объекта. Для снятия этой

неопределенности необходим некоторый (нередко весьма продолжительный) промежуток времени. Дело в том, что генеральное множество альтернативных гипотез должно, как отмечалось выше, непременно содержать оптимальную (ключевую) гипотезу, которая зачастую длительное время находится «за пределами досягаемости». Сошлемся, в частности, на историю открытия и объяснения природы фотоэффекта.

Поэтому можно утверждать, что чем меньше промежуток времени исследования, тем больше остаточная неопределенность для ЛПР, т.е. тем меньшей точностью будет обладать синтезируемая наблюдателем модель исследуемого объекта. Аналогия с одним из основных соотношений неопределенности Гейзенберга (промежуток времени – точность измерения энергии) нам представляется вполне уместной.

Приведенные аналогии, как мы считаем, *не зависят от природы неопределенности* и могут представлять интерес с точки зрения дальнейшего развития теории и методологии принятия решения в условиях риска и неопределенности. Практика применения системного анализа демонстрирует широкий круг оптимизационных задач, при решении которых принципиально невозможно одновременно улучшать две неоднородно связанные характеристики системы.

Авторы благодарят профессора Л.Г. Лабскера за плодотворное обсуждение.

Литература

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: учебное пособие. М.: Финансы и статистика, 2005. 367 с.
2. Ахмадеев Д.Р., Сवादковский В.А. Определение ценности информации как один из ключевых факторов информационной безопасности // Мягкие измерения и вычисления. 2018. № 10. С. 37–40.
3. Голубков Е.П. Технология принятия управленческих решений. М.: Дело и сервис, 2005. 544 с.
4. Завгородний В.И. Системное управление информационными рисками. Выбор механизмов защиты // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 53–58.
5. Клименко И.С. Теория систем и системный анализ: учебное пособие. М.: РосНОУ, 2014. 265 с.
6. Клименко И.С., Коровко П.Г., Шарапова Л.В. К проблеме оценивания эффективности управления и качества управленческих решений // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2017. № 1. С. 53–57.
7. Клименко И.С., Белова Н.А., Шарапова Л.В. К проблеме определения ценности информации в условиях информационного общества // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2018. № 2. С. 54–62.
8. Клименко И.С., Шарапова Л.В. К проблеме системного анализа телекоммуникационных процессов // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». 2016. № 1–2. С. 82–86.
9. Лабскер Л.Г. Теория критериев оптимальности и экономические решения: монография. М.: КноРус, 2012. 744 с.

10. Лабскер А.Г. К вопросу о проблеме сглаживания критерием Гурвица и экономическое приложение // Инновации и инвестиции. 2016. № 6. С. 134–145.
11. Лабскер А.Г. Условия отсутствия у критерия Гурвица свойства сглаживания и экономическое приложение // Экономика и предпринимательство. 2016. № 9 (74). С. 141–149.
12. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 431 с.
13. Харкевич А.А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. 1960. Вып. 4. С. 54.
14. Хаббард Д. Как измерить все, что угодно. М.: Олимп-Бизнес, 2009. 320 с.

Literatura

1. Anfilatov V.S., Emel'yanov A.A., Kukushkin A.A. Sistemnyy analiz v upravlenii: uchebnoe posobie. M.: Finansy i statistika, 2005. 367 s.
2. Akhmadeev D.R., Svadkovskiy V.A. Opredelenie tsennosti informatsii kak odin iz kliuchevykh faktorov informatsionnoy bezopasnosti // Miagkie ismereniya i vichisleniya. 2018. № 10. S. 37–40.
3. Golubkov E.P. Tekhnologiya priniatiya upravlencheskykh resheniy. M.: Delo i servis. 2005. 544 s.
4. Zavgordniy V.I. Sistemnoe upravlenie informatsionnymi riskami. Vybore mekhanizmov zashchity // Problemy upravleniya. 2009. № 1. S. 53–58.
5. Klimenko I.S. Teoriya sistem i sistemnyy analiz: uchebnoe posobie. M.: RosNOU, 2014. 265 s.
6. Klimenko I.S., Korovko P.G., Sharapova L.V. K probleme otsenivaniya effektivnosti upravleniya i kachestva upravlencheskykh resheniy // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye systemy: modeli, analiz i upravlenie". 2017. № 1. S. 53–57.
7. Klimenko I.S., Belova N.A., Sharapova L.V. K probleme opredeleniya tsennosti informatsii v usloviyakh informatsionnogo obshchestva // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye systemy: modeli, analiz i upravlenie". 2018. № 2. S. 54–62.
8. Klimenko I.S., Sharapova L.V. K probleme sistemnogo analiza telekommunikatsionnykh processov // Vestnik Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya "Slozhnye systemy: modeli, analiz i upravlenie". 2016. № 1–2. S. 82–86.
9. Labsker L.G. Teoriya kriteriev optimal'nosti i ekonomicheskie resheniya: monografiya. M.: KnoRus, 2012. 744 s.
10. Labsker L.G. K voprosu o probleme sglazhivaniya kriteriem Gurvitsa i ekonomicheskoe prilozhenie // Innovatsii i investitsii. 2016. № 6. S. 134–145.
11. Labsker L.G. Usloviya otsutstviya u kriteriya Gurvitsa svoystva sglazhivaniya i ekonomicheskoe prilozhenie // Economica i predprinimayel'stvo. 2016. № 9 (74). S.141–149.
12. Podinovskiy V.V., Nogin V.D. Pareto-optimal'niye resheniya mnogokriterial'nykh zadach. M.: Nauka, 1982. 431 s.
13. Kharkevich A.A. O tsennosti informatsii // Problemy kibernetiki. 1960. Vyp. 4. S. 54.
14. Hubbard D. Kak izmerit vse, chto ugodno. M.: Oлимп-Biznes, 2009. 320 s.