

# УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

УДК 519.722

И.С. Клименко<sup>1</sup>  
Л.В. Шарапова<sup>2</sup>

I.S. Klimenko  
L.V. Sharapova

## К ПРОБЛЕМЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

## TO THE PROBLEM OF SYSTEM ANALYSIS OF TELECOMMUNICATIVE PROCESSES

*Анализируется процесс обмена сообщениями с точки зрения неоднородности их структуры, включающей наряду с информацией также компоненты информационного шума и дезинформации. Осуждается проблема появления и накопления остаточной неопределенности в сообщениях, циркулирующих между системой управления и объектом управления в организационных системах иерархического типа.*

**Ключевые слова:** сообщение, информация, информационный шум, дезинформация, управление, решение, эффективность.

*The messaging process is analyzed from the point of view of the uniformity of its structure, which includes along with the information components of information noise and misinformation. The problem of the appearance and accumulation of residual uncertainty in the messages circulating between the control system and the control object in hierarchical organizational systems is discussed.*

**Keywords:** message, information, information noise, misinformation, control, decision, efficiency.

ВЕСТНИК 2016

Современное общество характеризуется высочайшей интенсивностью процессов обмена сообщений. Только в России аудитория интернет-пользователей сегодня составляет около 90 млн человек. Прирост интернет-аудитории происходит за счет все более активного использования мобильных устройств.

В корпоративной среде набирает обороты новая инфраструктурная модель – корпоративная мобильность (Enterprise Mobility). Она дает возможность сотрудникам предприятий получить повсеместный и безопасный доступ к корпоративным информационным ресурсам и Интернету с мобильных устройств. Ключевой

услугой при этом остается обмен сообщениями разных типов: SMS, MMS, E-mail, IM. Сервис сообщений востребован, о чем свидетельствует положительная динамика доходов и трафика во всем мире.

Однако сегодня все более очевидной становится тенденция к росту объема циркулирующих в обществе недостоверных сообщений. К тому же многие из сообщений оказываются неактуальными и/или несвоевременными для большинства их потенциальных потребителей.

В работе [1] нами была предпринята попытка систематизировать основные свойства (характеристики) сообщений и передаваемой ими информации, выделив такие информационные объекты, как информационный шум и дезинформация.

Целью настоящей работы является проведение системного анализа информационных (теле-

<sup>1</sup> Доктор физико-математических наук, профессор АНО ВО «Российский новый университет».

<sup>2</sup> Доцент АНО ВО «Российский новый университет».

коммуникационных) процессов с точки зрения лица, принимающего решение (ЛПР), стремящегося использовать актуальные и своевременные сообщения для принятия решения в условиях неполной определенности.

Будем, придерживаясь теории Хартли – Шеннона [2; 3], рассматривать информацию как меру снятия неопределенности для достижения цели. Такое определение позволяет абстрагироваться от синтаксического подхода к оцениванию количества информации, концентрируя внимание на выявлении *семантики* сведений, составляющих сообщение, а также установления *ценности* этих сведений с точки зрения принятия решения об их *использовании по назначению*.

Очевидно, что в общем случае разные индивиды, потенциально выступающие в роли ЛПР, по-разному декодируют и интерпретируют одно и то же сообщение, что приводит к принятию различных решений относительно целесообразности использования по назначению сведений, которые это сообщение содержит.

В принципе, практически любое сообщение конечного объема, переданное на естественном или формализованном языке и принятое без искажений в канале связи, содержит некоторую *остаточную неопределенность*. Иными словами, принятое сообщение содержит в определенных соотношениях:

- информацию (достоверные сведения);
- информационный шум (исходную неопределенность сообщения, недекодируемые и тривиальные сведения);
- дезинформацию (умышленно и/или неумышленно внесенные недостоверные сведения).

Рассмотрим цикл процесса управления, в котором ЛПР получает исходящее из объекта управления (ОУ) сообщение о его состоянии, принимает на его основе решение и направляет к объекту управления сообщение, несущее управляющее воздействие (командное сообщение).

Формально исходящее сообщение представим в виде:

$$S_{исх} = K_u \cup K_{ш} \cup K_d, \quad (1)$$

где  $S_{исх}$  – полный состав исходящего сообщения,  $K_u$  – информационный компонент,  $K_{ш}$  – шумовой компонент,  $K_d$  – дезинформационный компонент.

В процессе декодирования и интерпретации принятого сообщения в него, в принципе, вносится со стороны ЛПР дополнительная неопределенность, обусловленная:

- неадекватным декодированием содержания сообщения;
- ошибочной или неточной интерпретацией (искажением) смысла (семантики) декодированного сообщения. Тогда принятое сообщение:

$$S_{пр} = K_u^* \cup K_{ш}^* \cup K_d^*, \quad (2)$$

где  $S_{пр}$  – полный состав принятого сообщения в результате его декодирования и интерпретации,  $K_u^*$  – адекватно зафиксированный ЛПР информационный компонент,  $K_{ш}^*$  – результирующий шумовой компонент,  $K_d^*$  – результирующий дезинформационный компонент.

В общем случае результирующий шумовой компонент имеет вид:

$$K_{ш}^* = K_{ш} \cup K_{ш}^{дек} \cup K_{ш}^{инт}, \quad (3)$$

где  $K_{ш}^{дек}$  и  $K_{ш}^{инт}$  – шумовые компоненты, внесенные ЛПР приемника вследствие неадекватного декодирования сообщения и неточной интерпретации его семантики соответственно.

В свою очередь, результирующий дезинформационный компонент

$$K_d^* = K_d \cup K_d^{дек} \cup K_d^{инт}, \quad (4)$$

где  $K_d^{дек}$  и  $K_d^{инт}$  – дезинформационные компоненты, внесенные ЛПР приемника вследствие ошибочного декодирования сообщения и искажающей интерпретации его семантики соответственно.

Тогда принятое ЛПР сообщение после его декодирования и интерпретации имеет следующий состав:

$$S_{пр} = K_u^* \cup (K_{ш} \cup K_{ш}^{дек} \cup K_{ш}^{инт}) \cup (K_d \cup K_d^{дек} \cup K_d^{инт}). \quad (5)$$

Очевидно, что в общем случае  $K_u \geq K_u^*$ , т.е. в силу возрастания шумовой и дезинформационной составляющих ЛПР в лучшем случае может лишь не ухудшить условия адекватного принятия решения.

В реальной практике возможна ситуация, когда ЛПР с квалификацией эксперта может выявить паразитные компоненты и не только не принимать их во внимание, но и дополнить информационный компонент сообщения собственными знаниями. Однако знания эксперта есть не что иное, как априорная информация, независимая от сообщения. Само же сообщение, как нетрудно видеть, в таком случае тезаурус ЛРП несколько не расширяет.

Представляется целесообразным оперировать понятием *оптимальной интерпретации семантики сообщения*, поскольку цель ЛПР состоит в извлечении из него исключительно достоверных сведений (информации), в то время как наличие в сообщении шума и недостоверных сведений (дезинформации) играет роль ограничений для достижения этой цели.

Рассмотрим ситуацию, характерную для процесса управления, когда ЛПР на основе сообщения, полученного от ОУ принимает решение о

выборе управляющего воздействия и его адекватного доведения до ОУ посредством передачи сообщения  $S_{упр}$ . Формально модель такой задачи можно представить в виде:

$$S_{упр} = \langle F_u, S_{np}, M_{реш}, R, S_{ф}, K \rangle, \quad (6)$$

где  $F_u$  – цель принятия решения (перевод ОУ в требуемое состояние),  $S_{np}$  – исходные сведения для порождения альтернативных вариантов решения,  $M_{реш}$  – множество порожденных ЛПР альтернатив,  $R$  – выбранное решение,  $S_{ф}$  – сообщение, формируемое ЛПР для передачи в ОУ управляющего воздействия,  $K$  – критерии, на основе которых ЛПР выбирает конкретное решение.

Действия ЛПР состоят в преобразовании исходных сведений  $S_{np}$  в решение  $R$ :

$$R = K \{ F(S_{np}) \rightarrow \exists M_{реш} \}. \quad (7)$$

Введем понятия качества принимаемых решений и эффективности процесса управления, отталкиваясь от базовых положений теории эффективности [4], в которой понятия качества и эффективности (в широком смысле) формулируются следующим образом:

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

Эффективность – комплексное операционное свойство процесса функционирования системы, характеризующее степень его приспособленности к достижению цели системы.

Следует подчеркнуть, что понятие качества интегрирует весьма широкий круг общесистемных и внутрисистемных свойств (частных показателей качества), оставляя для объединения понятием эффективности всего три ее частных показателя: результативность (степень достижения целевого эффекта), оперативность и ресурсоемкость.

Необходимо также обратить внимание на то, что между оперативностью и ресурсоемкостью существует неоднородная (векторная) связь, при которой улучшение одной из этих характеристик неизбежно приводит к ухудшению второй. Именно поэтому при оценивании эффективности систем не используется критерий превосходства [5].

Следуя сложившейся терминологии, введем понятие качества решения как *совокупность существенных свойств решения, определяющих степень его пригодности для доведения до объекта управления (ОУ) управляющего воздействия*. Тем самым мы придаем определению прагматический аспект, поскольку речь идет об использовании выбранного на множестве аль-

тернатив решения по назначению: для перевода ОУ в требуемое состояние в конкретном цикле управления. Подчеркнем, что принятое решение отражает *модель ситуации* (состояния ОУ и обстановки) которую ЛПР синтезировал к моменту передачи в ОУ управляющего воздействия – в виде того или иного сообщения. Степень адекватности модели реальной ситуации ограничена запасом времени, которым располагает ЛПР для ее построения.

Совершенно очевидно, что управленческое решение представляет собой информационный объект, который в большинстве случаев синтезируется (формулируется) в виде мысленного и/или текстового сообщения, характеризующегося (обладающего) вполне определенной семантикой.

В случаях, когда речь идет об управлении в организационных и тем более в иерархических системах, вряд ли удастся обеспечить другую возможность доведения управленческого решения до объекта управления (ЛПР нижестоящего уровня иерархии), кроме как посредством передачи соответствующего письменного или устного сообщения.

Рассмотрим теперь, какие характеристики сообщения (решения) следует отнести к числу его существенных свойств. Представляется, что наряду с *достоверностью, актуальностью и своевременностью* к таковым следует отнести, в первую очередь, *полноту и точность*, поскольку они определяют в каждом конкретном случае тонкую грань, отделяющую исчерпывающую достоверность от подчас лукавого умолчания.

При этом под полнотой будем понимать такую качественную характеристику сообщения, которая определяет наличие в нем сведений, необходимых и достаточных для адекватной интерпретации сообщения его приемником (при условии корректного осуществления процедуры интерпретации).

Введем понятие эффективности процесса управления как *комплексное операционное свойство упорядоченного множества управляющих воздействий, характеризующее его приспособленность к достижению цели управления*. Естественным критерием достижения цели управления является приведение объекта управления в состояние, определенное как требуемое процедурой целеполагания. Что касается частных показателей эффективности управления, то, в соответствии с общей теорией эффективности [4], они исчерпывающим образом ограничены триадой результативности, оперативности и ресурсоемкости.

Отметим, что введенное определение не противоречит используемому в литературе [6] критерию эффективности управления, определяемому как степень соответствия управляющих воздействий реальным состояниям объекта управления. При этом, однако, мы считаем необходимым придерживаться четкого разграничения таких понятий, как *качество решения* (решений) и *эффективность процесса* управления.

Поскольку процесс управления принципиально является циклическим, то необходимым условием достижения цели управления является перевод объекта управления в требуемое (оптимальное) состояние *в каждом цикле управления*. Поэтому даже разовое невыполнение этого условия будет негативно сказываться на эффективности управления, приводя к ухудшению ее частных показателей, вплоть до невозможности достижения цели, в том числе – в связи с исчерпанием ресурсов или/и времени.

В реальных условиях ситуации принятия решения возможность полного снятия неопределенности относительно состояния объекта управления и обстановки – явление крайне редкое. Это, в частности, связано с необходимостью принятия (порождения) решения в течение ограниченного промежутка времени. Поэтому в процессе моделирования ситуации ЛПР нередко бывает вынуждено, наряду с расчетными и логическими процедурами, использовать процедуры эвристические, т.е. в определенной степени руководствоваться интуитивными соображениями.

Это обстоятельство определяет целесообразность использования для *априорного* оценивания качества принятого решения критерия минимума эвристик, которые могут служить качественной мерой неопределенности решения [7]. Однако чем более коротким промежутком времени будет располагать ЛПР на принятие решения, тем большая степень неопределенности будет оставаться относительно его адекватности реальной ситуации. Иными словами, ЛПР нередко бывает вынуждено вносить в направляемое к объекту управления сообщение шумовой компонент.

Критерий ценности (полезности) информации [8], в свою очередь, может быть использован для *апостериорного* оценивания качества решения (или локальной эффективности единичного управляющего воздействия) по показателю возрастания вероятности достижения цели в результате использования содержания соответствующего сообщения по назначению.

При этом заслуживает внимания следующее обстоятельство, отмеченное в [1]: одним из количественных показателей ценности информации

может служить ее стоимость. Принятие решений в условиях неполной определенности, как известно, связано с риском выбора неоптимального решения. Поэтому цена ошибочного выбора есть разница между выбранной альтернативой и наилучшей из имевшихся альтернатив, которая была бы выбрана ЛПР при наличии исчерпывающей (чистой) информации относительно ситуации принятия решения. Именно поэтому одной из экономических категорий является понятие «ожидаемые потери от упущенных возможностей» [9].

Отметим, что широко применяемый в задачах выбора стратегий в условиях статистической неопределенности («игра с природой») критерий Сэвиджа [10] как раз и отражает сожаление ЛПР по поводу того, что выбранное осторожное решение не оказалось наилучшим при данном состоянии объекта управления и обстановки. Впрочем сожаление другого рода ЛПР испытывает также и при использовании чрезмерно оптимистичных критериев [11].

В ситуациях, когда ЛПР располагает определенным интервалом времени на принятие решения, оно может посвятить его поиску недостающей информации (в том числе, путем минимизации шума и дезинформации), а в ряде случаев – приобрести ее на рыночных условиях.

При этом следует иметь в виду, что процесс получения (приобретения) информации характеризуется экспоненциальной зависимостью с насыщением: на начальном этапе количество найденной полезной информации нарастает быстро, но через некоторое время поиск дополнительных сведений становится крайне малоэффективным.

Формально это накладывает ограничение на состав и семантику выбранного решения:

$$R_s = R_u + H_R \text{ при } \Delta T \leq \Delta T_{\text{дон}}, \quad (8)$$

где  $R_s$  – содержание сообщения, отражающего решение, принятое ЛПР для реализации управляющего воздействия на ОУ,  $R_u$  – информационный компонент сообщения,  $H_R$  – остаточная неопределенность (энтропия) решения, положенного в основу сообщения с командной информацией для ОУ,  $\Delta T_{\text{дон}}$  – допустимая продолжительность промежутка времени на принятие решения.

Остаточная неопределенность решения порождается, во-первых, шумовой и дезинформационной составляющими, обусловленными неадекватностью полученного ЛПР сообщения (1) относительно реального состояния объекта управления. Во-вторых, ЛПР в общем случае вносит в процессе декодирования и интерпретации семантики принятого сообщения дополни-

тельную неопределенность (2), поэтому:

$$H_R = H_R^{ucx} + H_R^{ЛПР}, \quad (9)$$

где  $H_R^{ucx}$  – остаточная неопределенность решения, обусловленная полученным ЛПР сообщением,  $H_R^{ЛПР}$  – остаточная неопределенность, внесенная ЛПР. Соответственно, сообщение, несущее управляющее воздействие, имеет вид:

$$S_{упр} = K_u^{ЛПР} + H_R, \quad (10)$$

где  $K_u^{ЛПР}$  – информационный компонент, сформированный ЛПР на основе достоверных сведений относительно состояния ОУ.

Остаточная неопределенность решения предопределяет неполное соответствие управляющего воздействия реальному состоянию ОУ. При оперативном управлении в реальном времени промежуток времени на принятие решения в каждом цикле управления существенно ограничен, поэтому возникновение нестандартной ситуации нередко приводит к принятию ошибочных (неадекватных) решений, которые, будучи реализованными в управляющие воздействия, снижают эффективность функционирования ОУ вплоть до ухода с траектории, направленной на достижение цели.

Таким образом, наличие в полученном ЛПР сообщении о состоянии ОУ шумового и дезинформационного компонентов автоматически приводит к выбору решения, в той или иной степени не соответствующего реальному состоянию ОУ. При этом ЛПР, принимая решение в условиях дефицита времени, может вносить еще и дополнительную ошибку по отношению к реальному состоянию ОУ.

Подобная ситуация в наиболее полной мере характерна для иерархического управления, которое с необходимостью вводится в системах с неполной информацией в соответствии с *принципом необходимой иерархии*. Этот принцип утверждает, что с ростом неопределенности относительно состояний системы и обстановки в ситуациях принятия решений для эффективного управления требуются все более высокие уровни иерархии.

При этом возникает известная проблема [12], связанная с заметным возрастанием вероятности появления дезинформации в сообщениях, передаваемых с нижних уровней иерархии на верхние. Это обстоятельство необходимо учитывать в условиях интенсификации процессов управления, в том числе – в условиях корпоративной мобильности. При всех бесспорных достоинствах этой технологии [13] она потенциально способствует росту остаточной неопределенности управленческих решений.

Исключительная сложность решения этой проблемы обусловлена тем, что ее корни лежат в глубинах человеческой психики. Однако проблемы, порождаемые современными информационными технологиями, в том числе психологического характера, могут быть решены на основе дальнейшего совершенствования этих технологий. Можно предполагать, что пути ее решения связаны с прогрессом в области разработки систем искусственного интеллекта. Поэтому исследование указанной проблемы на системном уровне представляет собой актуальную задачу.

### Литература

1. Клименко И.С., Шарапова Л.В. К исследованию феномена информации // Вестник Российского нового университета. – 2014. – Выпуск 4. Управление, вычислительная техника и информатика. – С. 141–149.
2. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. – М. : ИЛ. 1963.
3. Хартли Л. Передача информации // Теория информации и ее приложения. – М. : Физматгиз, 1959.
4. Росин М.Ф., Булыгин В.С. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления : учебник для вузов. – М. : Машиностроение, 1981. – 432 с.
5. Клименко И.С. Теория систем и системный анализ : учебное пособие. – М. : РосНОУ, 2014. – 265 с.
6. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – М. : ИЛ, 1959.
7. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении : учебное пособие. – М. : Финансы и статистика, 2005.
8. Харкевич А.А. О ценности информации // Проблемы кибернетики. – Вып. 4. – М. : Физматгиз, 1960.
9. Хаббард Д. Как измерить все, что угодно. – М. : Олимп – Бизнес, 2009.
10. Savage, L.J. The foundation of statistics. – N.Y. : Wiley, 1954.
11. И.С. Клименко, М.А. Плуталов, Г.А. Чеботарев. Сравнительный анализ критериев выбора стратегий в «игре с природой» // Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление». – 2015. – Выпуск 1. – С. 55–59.
12. Щекин Г.В. Теория социального управления. – К. : МАУП, 1996. – 408 с.
13. VMware Business Mobility Report: «Корпоративная мобильность обеспечивает возврат инвестиций в 150%». Изд. Дом Connect. <http://www.connect-wit.ru>