

Самосудов Михаил Владимирович, д.э.н.,
руководитель экспертно-методического отдела
группы компаний «Деликатный переезд»

E-mail: samosudov@mail.ru

Формализация управляющего воздействия для целей цифровизации и автоматизации управления социальными системами

Источник: Samosudov M.V. Formalization of controlling influence for digitalization and automation of social systems management / International Journal of Grid and Distributed Computing, Vol. 13, No. 1, (2020), pp. 1268-1275
(<http://sersc.org/journals/index.php/IJGDC/article/view/21371>)

Аннотация:

Используя метод моделирования и комплексную математическую модель социальной системы, функционирующей в активной среде, определены параметры вектора управления, реализующего управляющее воздействие руководителя для коррекции движения социальной системы к её целевому состоянию, показана достаточность этого набора параметров для коррекции траектории движения социальной системы в фазовом пространстве. Показано, что компоненты вектора управления, определённые в работе, влияют на фазовые переменные (параметры) социальной системы и, как следствие, на результат её функционирования – входящий ресурсный поток, частью которого является входящий денежный поток.

Определённые параметры управляющего воздействия позволяют, во-первых, формализовать его для учёта в базе данных, во-вторых, рассчитывать, либо управляющее воздействие, исходя из заданного эффекта, либо эффект от осуществления воздействия.

Это позволяет учитывать управляющие воздействия в цифровом двойнике предприятия. Кроме того, формализация управляющего воздействия позволяет решать задачи формального анализа и синтеза управления для социальных систем.

Ключевые слова: *цифровой двойник предприятия; автоматизация управления социальными системами; комплексная модель социальной системы, функционирующей в активной среде; управление социальной системой; управление корпорацией.*

Введение

Сегодня предприятия, в соответствии с концепцией Industry 4.0, часто строятся по принципу кибер-физических систем, а основой концепции является включение в производственную систему её виртуального образа в форме математических моделей или, по-другому, цифрового двойника [1, 5, 6]. Понятие «цифровой двойник» появилось более 15 лет назад в работах М. Гривса [4], и эта концепция получает всё большее развитие вследствие увеличения интереса к автоматизации деятельности. Но даже при высоком уровне автоматизации, значимым элементом кибер-физических систем является человек, принимающий решения [9].

Автоматизация деятельности предприятия требует формализации процессов на уровне фазовых переменных – в противном случае сложно создать алгоритмы, требующиеся для создания программного обеспечения. Сегодня технические решения обеспечивают возможность автоматизации лишь части деятельности. И одна из наиболее значимых частей

деятельности, – управление, – практически не поддаётся автоматизации современными средствами. В том числе, вследствие недостаточности формализации этой деятельности – разговоры про мотивацию, лидерство, харизму и т. п. плохо переводятся на язык цифр, а другого языка компьютер не понимает. Программы, используемые сегодня для автоматизации управленческой деятельности, лишь обеспечивают возможность сбора *некоторых* данных о происходящих в компании процессах. Это немного облегчает работу руководителя, но не решает вопрос автоматизации управления.

Постановка проблемы

Цифровым двойником называется компьютерная модель, которая копирует поведение реального объекта – имитационная модель [2, 10, 12, 13]. Она может быть использована в системе управления в качестве «активного советчика». Это позволяет сравнить эффект от решения субъекта управления и решения, предложенного компьютером [3].

Причём в области отдельных деталей, узлов, оборудования и процессов, большинство имитационных моделей, входящих в состав «цифровых двойников», являются детальными, построенными на низком уровне абстракции [10]. Но этого нельзя сказать о попытках формирования цифровых двойников социальных систем.

В работах автора [7, 8] описываются основные компоненты комплексной модели социальной системы, функционирующей в активной среде. Использование ресурсно-функционального подхода к анализу социальных систем; уточнение природы, формализация и введение в модели активности человека и социальных систем позволили сформировать зависимости, связывающие фазовые переменные социальной системы и социальной среды, в которой она функционирует, с результатами деятельности – входящим ресурсным потоком, включающим входящий денежный поток как составную часть. Разработка методик описания и фиксации значений фазовых переменных социальной системы позволяет говорить о возможности создания компьютерной программы, позволяющей фиксировать состояние социальной системы и его изменение в процессе деятельности, – цифрового двойника предприятия. А формализация зависимостей, связывающих фазовые переменные с результатом функционирования, позволяет создать программу для расчёта влияния изменений значений отдельных параметров¹ на свойства социальной системы – имитационную модель. Это позволяет рассчитывать функциональную (системную) устойчивость компании, уровень риска деятельности, рассчитывать и оптимизировать необходимую траекторию развития и отклонения фактической траектории от расчётной.

Вместе с тем в литературе, посвящённой управлению в социальных системах, практически не рассматривается вопрос анализа управленческого воздействия на уровне параметров системы – в основном, авторы, если и рассматривают этот вопрос, то лишь общими словами описывают содержание управляющего воздействия, создаваемого руководителями компании.

Это существенным образом ограничивает применение вычислительной техники для целей автоматизации управления в социальных системах. Хотя, это имеет большое значение для развития экономики – любая управленческая ошибка приводит к потерям ресурсов, часть управленческой работы может быть автоматизирована и, соответственно, часть управленческого персонала может быть высвобождена, что позволит, во-первых, повысить эффективность организаций, во-вторых, увеличить функциональную устойчивость компаний.

¹ Термины «фазовая переменная» и «параметр» здесь рассматриваются как синонимы. Параметр (фазовая переменная) – переменная величина, связанная известной зависимостью с состоянием процесса или системы.

Цель исследования

Цель работы – определение и формализация параметров управляющего воздействия в социальной системе.

Метод исследования

Для работы использована комплексная модель социальной системы, функционирующей в активной среде, состоящая из следующих моделей: «Человек корпоративный» [7, стр. 167-185], «Взаимодействие субъектов» [7, стр. 288-297], «Эволюция корпоративной системы²» [7, стр. 297-317], а также «Возникновение входящего ресурсного потока» [8]. Она учитывает активность человека и социальной системы, поведение человека, информационные потоки, все виды ресурсов, включая информационные, интеллектуальные, социальные, организационные и т. п., которые, как правило, недостаточно учитываются в расчётах. Состояние социальной системы и среды описывается фазовыми переменными, разделёнными на четыре группы – параметры участников взаимодействия, ресурсной базы, институциональной среды и активности.

Модель связывает фазовые переменные социальной системы и позволяет оценить влияние изменения их значений на поведение социальной системы в социальной среде. В том числе, определить влияние на входящий ресурсный поток.

Моделирование позволило определить параметры управляющего воздействия, обеспечивающего адаптацию системы к изменившимся условиям деятельности. Далее выявленные параметры управления были сопоставлены со «стандартными» действиями руководителей, совершаемыми с целью управления социальной системой.

Поскольку компьютерная реализация модели пока отсутствует, для проведения данной работы использовано мысленное моделирование. Результаты обсуждались на методических семинарах кафедры корпоративного управления Государственного университета управления.

Основное содержание работы

Рассмотрим социально-экономическое пространство (СЭП) Θ , образованное множеством людей Q , имеющих возможность обмениваться ресурсами – потенциальных участников отношений. В этом пространстве функционирует социальная система Ω . Состояние системы и СЭП описывается набором фазовых переменных, рассмотренных ранее в работах автора [7, 8], а динамика описывается траекторией движения³ в фазовом пространстве.

Расчёт траектории осуществляется на основе целевых ориентиров, прогнозируемого состояния среды⁴ и динамики изменения её параметров в течение всего периода; а также начального состояния компании и среды.

Определяем значения параметров целевого состояния компании, свойства которого обеспечат получение необходимого ресурсного потока, и, учитывая закономерности корпоративной динамики, определяем, необходимые изменения фазовых переменных компании для достижения целевого состояния. Необходимо обеспечить, чтобы состояние компании в любой момент не попадало в области недопустимых и нецелесообразных

² Показано, что любая социальная система, вне зависимости от её назначения, в основе имеет корпоративную природу, а отношения между участниками являются корпоративными отношениями.

³ Здесь мы говорим о траектории движения – это более общее понятие, отражающее любое изменение компании во времени. Но для реальной социальной системы целесообразно рассчитывать именно траекторию развития. Под развитием мы понимаем такое изменение социальной системы, которое приводит к увеличению её функциональной устойчивости.

⁴ Среда функционирования социальной системы – СЭП, в котором она существует.

состояний. Недопустимое состояние системы, характеризуется коэффициентом функциональной устойчивости⁵ менее допустимого минимального значения; нецелесообразное – более максимального значения⁶.

Траектория формализуется в виде таблицы: в строках фиксируются фазовые переменные, в столбцах – значения параметров в определённые моменты времени.

Пусть $\Omega(t_{fin.})$ – целевое состояние системы в момент $t_{fin.}$, которое в среде $\Theta(t_{fin.})$ обеспечивает необходимый входящий ресурсный поток.

Как показано в [8], входящий ресурсный поток возникает вследствие активизации участников из множества $Q_{rec.inf.}$ под воздействием исходящего из системы информационного потока $D_{out.\Omega}$ – активность приводит к совершению определённых действий, что приводит к изменению распределения подконтрольных им ресурсов и формированию входящего ресурсного потока, изменяющего ресурсную базу системы R_{Ω} :

$$\Theta + D_{out.\Omega}(Q_{rec.inf.}) \rightarrow [Q_{act.\Theta} \subset Q_{rec.inf.}] \rightarrow O_{Q_{act.\Theta}} \rightarrow \Delta R_{\Omega}$$

Существует расчётная траектория движения социальной системы – множество состояний $\Omega_{mod.}(t) \in \Omega_{mod.}(t_{st.}, t_{fin.})$, где $t_{st.}, t_{fin.}$ – моменты начала и окончания движения; и множество фактических состояний $\Omega_{real}(t) \in \Omega_{real}(t_{st.}, t_{fin.})$ – фактическая траектория.

В общем случае, вследствие активности среды и наличия возмущающих воздействий, $\Omega_{real}(t_{st.}, t_{fin.}) \neq \Omega_{mod.}(t_{st.}, t_{fin.})$. Для обеспечения максимально точного движения социальной системы по заданной траектории необходимо осуществлять управление, которое, приводит фактическое состояние к эталонному с допустимой погрешностью:

$$U(t): \Omega_{real}(t) + \Delta\Omega(U(t)) = \Delta\Omega_{er.}(t + 1) \leq \Delta\Omega_{er.en.}$$

$$\Delta\Omega_{er.}(t) = \Omega_{mod.}(t) - \Omega_{real}(t)$$

- U – управление;
- $\Omega_{real}, \Omega_{mod.}$ – фактическое и эталонное состояния системы;
- $\Delta\Omega_{er.}, \Delta\Omega_{er.en.}$ – величина ошибки и допустимой ошибки движения социальной системы по заданной траектории;
- $\Delta\Omega(U(t))$ – изменение системы вследствие осуществления управляющего воздействия в момент t .

В момент t_x субъект управления идентифицирует отклонение фактической траектории движения от эталонной, возникшее вследствие возмущающего воздействия среды (рис. 1). В системе управления появляется информация об отклонении:

$$\Delta\Omega(t_x) = \Omega_{mod.}(t_x) - \Omega_{real}(t_x)$$

Используя комплексную модель и данные о значениях параметров системы, субъект управления может рассчитать следующее:

- 1) Альтернативную траекторию движения $\Omega_{alt.}(t_x, t_{ret.})$ – множество состояний системы от момента t_x до момента возврата к эталонной траектории движения $t_{ret.}$.

⁵ Коэффициент функциональной устойчивости – комплексный показатель, характеризующий состояние компании, её способность сохранять возможность функционирования при изменении условий. Вследствие этого он может быть использован для согласования интересов различных участников.

⁶ Коэффициент функциональной устойчивости и эффективность предприятия связаны обратной зависимостью. Поэтому при увеличении устойчивости более этого значения, компания может быть неинтересной для акционеров.

Она нужна для замены на этот период эталонной траектории для целей управления – с ней необходимо сравнивать фактическое состояние с момента t_x до момента $t_{ret.}$. Иначе, в системе управления будет постоянно идентифицироваться отклонение и формироваться управляющее воздействие, хотя необходимости в этом может и не быть.

- 2) Участников, на которых нужно осуществить воздействие, чтобы:
 - a. сформировать их активность, направленную на изменение состояния системы, необходимое для коррекции траектории;
 - b. уменьшить (предотвратить) нежелательную активность – мешающую приведению системы к нужному состоянию, либо направленную на достижение нежелательного состояния.
- 3) Воздействие на каждого из этих участников.
 - a. Информацию, которую нужно передать участникам.
 - b. Материальные ресурсы, которые нужно передать.
 - c. Изменение институциональной среды социальной системы.

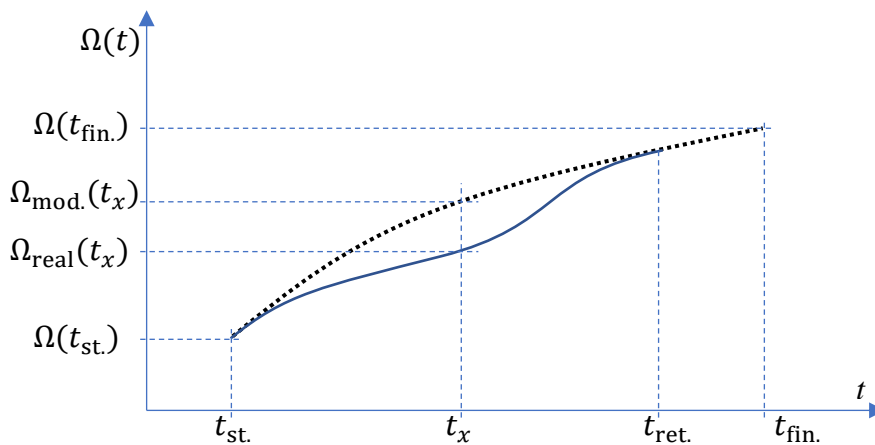


Рис. 1. Расчётная и фактическая траектории движения.

Исходящая от субъекта управления информация распространяется по выбранным им каналам передачи и достигает участников из множества $Q_{rec.inf.}$.

Получаемая человеком информация $D_{rec.}(t)$, интерпретируется им как набор сигналов, изменяющих его субъективные оценки стимулов, ограничений, связанных с совершением определённых действий, и вероятности их реализации, что приводит к изменению поведения:

$$D_{rec.j}(t) \xrightarrow{B_j(O_j)} \{d_1 \quad \dots \quad d_n\} \xrightarrow{B_j(O_j)} \Delta B_j(O_j, t + 1)$$

Кроме того, информация влияет на активность человека:

$$D_{rec.j} + R_{have j} + B_j(O_j) = \left\{ \Delta \left(\frac{i_{ex.j}}{i_{des.j}} \right) \rightarrow \Delta a_j = \left(1 - \frac{i_{ex.j}}{i_{des.j}} \right)^{\gamma_j} \right\}$$

$D_{rec.j}$ – полученная участником отношений информация;

$R_{have j}$ – имеющиеся у j -го участника ресурсы;

$B_j(O_j)$ – вектор поведения j -го участника отношений в базисе обусловленных действий этого участника O_j .

$i_{ex.j}, i_{des.j}$ – ожидаемые и желаемые выгоды от взаимодействия в рассматриваемой социальной системе;

a_j – импульс активности участника отношений;

γ_j – коэффициент нелинейности, зависящий от личностных характеристик участника.

В свою очередь, изменение вектора поведения и активности приводит к совершению человеком действий или, что равносильно, перераспределению подконтрольных ему ресурсов, а также распространению им информации в СЭП:

$$a_j(t) \xrightarrow{B_j(O_j)} [O_j(t) \rightarrow R_j(a_j, t)] \rightarrow [D_{\text{out},j}(Q_{\text{rec.inf},j}, R_j(a_j), t) + R_{\text{tr},j}(Q_{\text{rec.res},j}, t)]$$

$O_j(t)$ – множество обусловленных действий, совершаемых j -м участником в момент t ;

$R_j(a_j, t)$ – ресурсная активность участника отношений (распределение подконтрольных участнику ресурсов);

$D_{\text{out},j}(Q_{\text{rec.inf},j}, R_j(a_j), t)$ – исходящая от участника информация вследствие его ресурсной активности, направленная на множество участников $Q_{\text{rec.inf},j}$;

$R_{\text{tr},j}(Q_{\text{rec.res},j}, t)$ – ресурсы, передаваемые j -м участником в момент t участникам из множества $Q_{\text{rec.res},j}$.

Передаваемые ресурсы влияют на соотношение $i_{\text{ex},j}$ и $i_{\text{des},j}$, как следствие, на активность участников. Кроме того, изменяют множество имеющихся у участников ресурсов $R_{\text{have},j}$, что тоже влияет на активность и вектор поведения участников, получающих ресурсы. Изменение поведения участников изменит и институциональную среду социальной системы.

Кроме того, переданные ресурсы могут уменьшить или предотвратить нежелательную активность других участников.

Изменение институциональной среды, строго говоря, для субъекта управления возможно лишь посредством изменения состава формальных институтов. Поэтому этот компонент управления имеет отсроченное воздействие – необходимо время для того, чтобы формальные институты отразились в сознании участников и повлияли на их поведение:

$$\Delta H_{\Omega}(t_x) \xrightarrow{T} \Delta B_j(O_j, t > t_x)$$

Вместе с тем изменение поведения приведёт в дальнейшем к изменению субъективных оценок стимулов и ограничений, что, в свою очередь, повлияет на активность участников и, как следствие, распределение подконтрольных им ресурсов и формирование исходящих от них информационных потоков.

Если субъект управления всё рассчитает правильно, то нужные участники нужным образом перераспределят подконтрольные им ресурсы и компания получит необходимый входящий ресурсный поток.

Т.о., состояние системы изменится надлежащим образом – произойдёт адаптация системы к изменившимся условиям и корректировка траектории движения.

Можно утверждать, что вектор $U(t) = \langle D_{\text{out}}(Q_{\text{rec.inf}}) R_{\text{tr}}(Q_{\text{rec.res}}) \Delta H_{\Omega} \rangle$ является необходимым и достаточным для управления социальной системой.

$D_{\text{out}}(Q_{\text{rec.inf}})$ – исходящая от субъекта информация, получаемая участниками, входящими во множество $Q_{\text{rec.inf}}$;

$R_{\text{tr}}(Q_{\text{rec.res}})$ – ресурсы, передаваемые субъектом участникам, входящим во множество $Q_{\text{rec.res}}$;

ΔH_{Ω} – изменение институциональной среды социальной системы, осуществляемое субъектом управления.

Формируя вектор $U(t)$, субъект управления обеспечит соответствующее изменение параметров системы Ω и, как следствие, результат её взаимодействия со средой – входящий ресурсный поток, часть которого – входящий денежный поток. При расчёте $U(t)$ нужно учитывать состояние среды $\Theta(t)$.

В заключение рассмотрим некоторые « типовые » действия руководителя для управления компанией, через призму изложенных в статье положений (табл. 1).

Таблица 1.

Сопоставление обычных действий руководителя с содержанием в соответствии с рассмотренной концепцией.

Действия руководителя	Содержание (интерпретация)
Утверждение (принятие) документа, регламентирующего деятельность	Изменение институциональной среды компании, как следствие, это повлияет на поведение участников, их будущую активность.
Приказ	Информация о стимулах и ограничениях, связанных с определёнными действиями, и ресурсного потока в сторону определённых участников. Изменение институциональной среды – формирование формальных социальных институтов.
Официальная беседа	Адресное прямое или косвенное, в зависимости от избранных сигналов, составляющих сообщение, информирование о возможности совершить те или иные действия, получить за это те или иные выгоды.
Неформальная беседа	Информирование определённых участников, передача сигналов, влияющих на поведение, субъективные оценки ожидаемых и желаемых выгод и, как следствие, активность участников.
Совещание, собрание	Информирование группы участников (информационный поток в сторону группы участников).

Как видно, обычные способы воздействия обеспечивают информирование определённых участников, передачу им ресурсов, изменение институциональной среды, что соответствует изложенным выше тезисам.

Выводы

Формализация закономерностей функционирования социальных систем в активной среде, учёт активности участников, влияния информационных потоков, доведение их до уровня математических моделей позволили определить, во-первых, фазовые переменные, описывающие состояние социальной системы и среды, в которой она функционирует; во-вторых, определить содержание управляющего воздействия для коррекции траектории движения социальной системы в социальном пространстве.

Формализация параметров управляющего воздействия позволяет учитывать осуществляемые руководителями действия для управления в цифровом двойнике и/или имитационной модели, отличить одно воздействие от другого, следовательно, сравнивать и рассчитывать, какое лучше.

Формализация управляющего воздействия позволяет подойти к решению задачи формального анализа и синтеза управления, как для целей контроля деятельности руководителей или проверки решений, так и для целей автоматизации управления социальными системами.

Создание математических моделей социальной системы позволяет перейти к созданию алгоритмов расчёта состояния предприятия, расчёта управляющих воздействий, необходимых для сохранения предприятием заданной траектории развития с учётом воздействия среды функционирования предприятия.

Литература

1. Андиева Е.Ю., Михайлов В.А. Цифровая трансформация интегрированных систем управления производственной деятельностью нефтеперерабатывающего предприятия // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 2018, № 10. Стр. 26-35.
2. Boschert S., Rosen R. Digital Twin - The Simulation Aspect // In: Mechatronic Futures / Ed. by Hehenberger P., Bradley D. - Cham: Springer, 2016.
3. Бурков В.Н., Буркова И.В. Умные механизмы и цифровая экономика. // Статья в сборнике трудов конференции Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях, 03-06 сентября 2018 г. – Воронеж, Воронежский государственный университет (Воронеж), 2018. – стр. 3-9.
4. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication // Florida Institute of Technology. 2014. 24 March.
5. Jiang C., MA Y., Zheng Y., Gao S., Cheng S., Chen H. Cyber physics system: a review // Library Hi Tech, 2018.
6. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems // Manufacturing Letters. 2015. Vol. 3. Pp. 18-23.
7. Самосудов М.В. Развитие теории корпоративного взаимодействия на основе решения проблемы устойчивости компании: Дис. ... док. экон. наук : 08.00.05. : Москва, 2011. 440 с.
8. Samosudov M.V. The Model Of The Incoming Resource Flow Of The Social System For Digitalization Of Management / Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, Special Issue-08, 2019.
9. Sowe S.K., Zettsu K., Simmon E., de Vault F., and Bojanova I. Cyber-Physical Human Systems: Putting People in the Loop // T Prof. 2016; 18(1). Pp. 10-13. DOI: 10.1109/MITP.2016.14
10. Söderberg, Rikard et al. (2017). Toward a Digital Twin for real-time geometry assurance in individualized production // CIRP Annals 66.1 (2017): pp. 137-140.
11. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
12. Uhlemann T.H.-J., Steinhilper C. L.R. The Digital Twin: Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0 // The 24th CIRP Conference on Life Cycle Engineering / Ed. by S. Takata, Y. Umeda, S. Kondoh, Procedia CIRP 61 (2017) 335-340.
13. Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S., Steinhilper R. The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems // Procedia Manufacturing. - 2017. - V. 9. - P. 113-120.