

УДК 005.1:303.725.36:330.46:519.71



Докторович А.Б.

Разнообразие и сложность жизнеспособной системы

Докторович Анатолий Борисович, доктор экономических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, Академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации
E-mail: doka5v7@mail.ru

Исследованы такие свойства жизнеспособных систем (ЖС), как *разнообразие и сложность*. Существенное отличие данного исследования от известных общих рассуждений о разнообразии и сложности ЖС в том, что автором представлены конкретные содержательное описание и аналитические соотношения, оценивающие *разнообразие системы управления (СУ)* и *сложность управляемой системы (УС)*. Такой подход позволяет оценивать *возможность управления сложностью ЖС* вместо *управления ресурсами*, что особенно важно для управления (регулирования) жизнедеятельностью активных сложных систем и приоритетных стратегических проектов.

Ключевые слова: жизнеспособная система, сложная активная и целенаправленная система, разнообразие, сложность, системы управления, управляемая система, индекс подобия, индекс разнообразия, управление сложностью жизнеспособной системы.

Термин «*жизнеспособная система*» (далее – ЖС) был введен в научную лексику Стаффордом Биром¹. В трудах этого теоретика и практика в области исследования операций были разработаны концепция и инструментарий нового научного направления, названного им «*моделью жизнеспособной системы*» (МЖС). За прошедший более чем пятидесятилетний период после опубликования первых научных работ по созданию МЖС² актуальность задач повышения эффективности управления ЖС и сложными проектами по-прежнему высока³. Актуализация указанной темы и относящихся к ней проблем обусловлена тем, что в современной экономике особую значимость получает *системный анализ* всей совокупности издержек, полезности и доходов создания, внедрения и обеспечения существования современных ЖС и сложных, рассчитанных на длительную перспективу, проектов. Традиционный подход к анализу экономической эффективности учитывает соотношение издержек на ограниченных по времени этапах внедрения и окупаемости той или иной системы (проекта). В отличие от традиционного подхода системный анализ полезности, социальной и экономической эффективности позволяет учесть всю совокупность экономических и социальных параметров, оценивающих затраты, полезность и доходность функционирования ЖС или долгосрочного проекта, а также реальные значения фактически достигнутых результатов их создания.

К сожалению, не многие авторы в полной мере осознают значимость всестороннего, на основе системного подхода, комплексного обоснования любого проекта создания ЖС, при котором осуществляется полный и корректный анализ не только инженерно-технологических, экономических, но социальных и временных характеристик сложной системы (долгосрочного проекта). Традиционно под «долговечностью элемента, объекта или системы понимают его (ее) «свойство длительно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при определенных

¹ См.: Beer S. *Designing Freedom*. Toronto: CBC Learning Systems, 1974; Idem. *Platform for Change*. London and New York: John Wiley, 1975; Idem. *Heart of Enterprise*. London and New York: John Wiley, 1979; Idem. *The Brain of the Firm*. London: Penguin, 1972 (на русском языке: Бир С. *Мозг фирмы*. М.: Радио и связь, 1993. 416 с.); Idem. "The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology." *Journal of the Operational Research Society* 35.1 (1984): 7–25. Энтони Стаффорд Бир (Anthony Stafford Beer, 1926–2002) – британский кибернетик, теоретик и практик в области исследования операций и так называемой «второй волны» кибернетики.

² См., напр.: Espejo R. "The Viable System Model." *Systemic Practice and Action Research* 3.3 (1990): 219–221; Jackson M.C. "The Soul of the Viable System Model." *Systemic Practice and Action Research* 5.5 (1992): 561–564; Vidøen R. "Cybernetics and Business Processes: Using the Viable System Model to Develop an Enterprise Process Architecture." *Knowledge and Process Management* 5.2 (1998): 118–131; Leonard A. "The Viable System Model and Knowledge Management." *Kybernetes* 29.5/6 (2000): 710–715 и др.

³ См., напр.: Leonard A. "The Viable System Model and Its Application to Complex Organizations." *Systemic Practice and Action Research* 22.4 (2009): 223–233; Thomson R., Laws A., Reilly D., Taleb-Bendiab A., Llewellyn-Jones D. "A Set Theory Analysis of Ecological Dependence amid an Agent Infrastructure in Beer's Viable System Model through Viable Computer Systems." *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence* 3.3 (2011): 188–196; Mondlane A.I. "Behaviour Conceptual Modelling for Vulnerability and Risk Management Using Viable System Model Framework." *International Journal of Intercultural Information Management* 3.1 (2012): 1–14; Murad R.S., Cavana R.Y. "Applying the Viable System Model to ICT Project Management." *International Journal of Applied Systemic Studies* 4.3 (2012): 186–205; Preece G., Shaw D., Hayashi H. "Using the Viable System Model (VSM) to Structure Information Processing Complexity in Disaster Response." *European Journal of Operational Research* 224.1 (2013): 209–218; Buckl S., Matthes F., Schweda C.M. "Towards a Method Framework for Enterprise Architecture Management—A Literature Analysis from a Viable System Perspective." *5th International Workshop on Business/IT Alignment and Interoperability (BUSITAL 2010)*. 2010, pp. 46–60 и др.

условиях эксплуатации»¹.

В настоящей работе мы рассматриваем указанное свойство как необходимое условие длительного функционирования объекта или системы. По мнению автора, которое разделяется и другими исследователями, при более широком толковании этого понятия, ориентированном на *социальную и/или экономическую полезность*, в анализе «долговечности» систем и крупных проектов важно оценивать не только их *способность* «функционировать до наступления предельного состояния при определенных условиях эксплуатации», но и *обеспечивать экономический или социальный эффект в течение всего периода времени функционирования*². В социальном государстве и в социально ориентированной экономике системный анализ функционирования любой жизнеспособной системы, объекта или проекта должен учитывать не только их экономическую эффективность в период срока окупаемости, но социальную полезность и эффективность на протяжении всего периода функционирования. Поэтому в системном анализе создания любой жизнеспособной системы, стратегического объекта или проекта обязательно должны учитываться не только издержки на её (его) создание, внедрение и эксплуатацию, но также социальные издержки, и что не менее важно, – долговечность именно в таком, широком смысле (которую нередко вполне корректно называют «жизнеспособностью») на протяжении всего периода функционирования.

При таком понимании жизнеспособности (долговечности) сложной системы представляется целесообразным рассматривать и анализировать два аспекта её функционирования. *Первый – объектный и второй – методологический.*

Объектный аспект исследования ЖС акцентирует внимание на эффект, который приносит не сам проект после его окончания, а созданный объект и результаты его функционирования.

Объектами, приносящими эффект, в частности, экономическую или социальную эффективность, могут являться различные объекты строительной, энергетической, агроперерабатывающей, судостроительной промышленности, железные или автомобильные дороги и др.

При рассматриваемом подходе в качестве *результатов* оценивается повышение интеллектуального капитала организации, региона или государства.

Важность *методологического аспекта* обусловлена расплывчатостью понятий и задач создания долгосрочного проекта. Долгосрочность представляет собой относительное понятие, смысл которого может оцениваться по совокупности показателей, включающей как количественные показатели, так и качественные характеристики деятельности системы (объекта), созданной согласно проекту. Важно отметить, что при планировании и проектировании развития сложных систем и долгосрочных проектов внимание их разработчиков сконцентрировано в основном на анализе, разработке, подготовке к внедрению и внедрении сложных проектов. При этом вопросам продолжительности сроков внедрения и последующей эксплуатации проектов не уделяется должного внимания³. Например, лишь редкие страны включают в рассмотрение проблем планирование продолжительности реализации проекта или эксплуатации создаваемого объекта и его анализ в течение всего срока реализации⁴. Обычно ограничиваются лишь т.н. «сроком окупаемости» проекта. Результатом несистемного подхода к анализу проблем создания и эксплуатации долгосрочных проектов являются, с одной стороны, неполный учёт издержек на внедрение, инженерно-техническое и технологическое обслуживание, обеспечение работоспособности инфраструктуры, текущий ремонт внедренных объектов, снижение доступности полезных результатов проекта для некоторых категорий выгодополучателей, незапланированные расходы по защите от негативных воздействий на окружающую среду, другие неучтенные издержки и, как следствие, – значительное снижение экономической эффективности проекта по сравнению с ожидаемой. С другой стороны, явная недооценка позитивных результатов и выгод, получаемых в результате успешного внедрения проекта, что нередко является причиной отказа от его внедрения. Указанные и иные подобные им обстоятельства сопутствуют неконструктивным подходам к решению сложных задач создания долгосрочных объектов и систем, планируемый срок эксплуатации которых составляет 25–30 и более лет.

Теоретические работы и практические разработки У. Эшби и С. Бира⁵ по созданию жизнеспособных систем явились альтернативой эмпирическим, не проверенным на практике методам.

Изначально формализация содержательной концепции МЖС использовала теоретико-множественные методы, в методологии которых Бир определил и сформулировал организационные предпосылки, требования и условия жизнеспособности систем. Впоследствии им была разработана топологическая МЖС⁶, обеспечивающая исследования всех аспектов функционирования организаций, включая такие, как внутренняя сложность взаимодействий её элементов и сложность взаимодействий с внешней средой.

В теориях У. Эшби и С. Бира *жизнеспособность организации* определяется как её способность сохранять свои основные функции и характеристики (для многих систем автономное существование) в заданных условиях (или выживать в конкретной неблагоприятной внешней среде). В этой модели описывается множество функций, которое обеспечивает «необходимые и достаточные условия» жизнеспособности для любой социальной системы⁷.

Как правило, объекты, созданные на основе моделей ЖС, отличаются не только высоким уровнем обоснования сроков их окупаемости, но что гораздо важнее, – такие объекты сохраняют свою жизнеспособность в течение дли-

¹ См., напр.: ГОСТ 27.002-89; Долговечность [Электронный ресурс] // Большая Советская энциклопедия. Режим доступа: http://enc-dic.com/enc_sovet/Dolgovechnost-14845.html; Википедия // Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Долговечность>.

² См., напр.: Докторович А.Б., Зимин И.Н. Модели жизнеспособной системы // Российское государство и социально-экономические вызовы современности: Сборник научных статей. Т. 1. М.: Проспект. 2015. С. 729–739; Лившиц В.Н. Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992 – 2013. М.: ЛЕНАНД, 2013. С. 452–454.

³ Bamberger M., Cheema S. *Case Studies of Project Sustainability, Implications for Policy and Operations from Asian Experience*. Washington, D.C.: Economic Development Institute, 1990.

⁴ См.: Зимин И.Н. К вопросу о долговечности проектов и формировании жизнеспособных систем // Труды ИСА РАН. Т. 63. № 1. С. 16–29.

⁵ Ashby W.R. *Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall, 1956; Beer S. *Platform for Change*.

⁶ Beer S. *Heart of Enterprise; Idem. Brain of the Firm; Idem. Diagnosing the System for Organizations*. Chichester, London and New York: John Wiley, 1985.

⁷ Schwaninger M. "Stafford Beer (1926–2002)." *ProjectsISSS*. N.p., October 2004. Web. <http://projects.iss.org/doku.php?id=stafford_beer_by_markus_schwaninger>.

тельного периода эксплуатации (в качестве характерного времени рассматриваются периоды 25–30 лет и больше). При этом понятно, что эффект от эксплуатации каждого созданного объекта либо полученный положительный результат с лихвой покрывает затраты на его создание и внедрение.

В современной управленческой литературе наблюдается возрастающее понимание важности рассмотрения организации с точки зрения динамических и межличностных процессов. В обзоре литературы по инновационным организациям, Фентон и Петтигрю утверждают, что в центре внимания теории все больше внимания уделяется человеческим взаимодействиям, организационным процессам и их социальному контексту¹. Они ссылаются на Ч. Хэнди², который, вторя К. Вейку³, описывает современные организации, используя термин «организующая» наряду с существительным «организация». Фентон и Петтигрю предполагают, что новые формы организации относятся в меньшей степени к структурам, которые инкорпорируют роли выполнения работ, правила и физические организационные подразделения, и в большей мере относятся к организационным процессам и их участникам. В этой работе приводится возражение против использования полярных взглядов на организацию – «либо как на структуру, либо как на процессы». Акцент на высоко динамичные организационные процессы привлекает внимание к проблеме непредсказуемости поведенческих исходов и результатов управленческих воздействий в современных организациях, что является корректировкой к преобладающему в прошлом вниманию к структурам.

Организационная цель достигается или может не достигаться из-за взаимного влияния созданных людьми альянсов и норм, которые существуют между ними⁴. Успех или неудача систем социального управления зависит от взаимного согласия членов организации и согласованности персонала в достижении поставленных целей. Даже там, где менеджеры пришли к согласию, взаимодействия с посредниками управления могут приводить к непреднамеренным последствиям. Социальные установки никогда не могут быть полностью предсказуемыми⁵.

Обобщая изложенный краткий анализ, отметим, что акцент на организованность не должен заслонять того, что в реальности структуры и человеческое взаимодействие оказывают взаимообуславливающее влияние и взаимно определяют друг друга⁶, поэтому они в равной степени важны для исследования.

Сложная система «по Биру»

В контексте проводимого нами исследования сложных систем обратим внимание, что на содержательном уровне их описания Бир концентрирует анализ на двух факторах: *разнообразии* и *сложности*. Согласно Биру разнообразие любого класса исследуемых объектов и многообразие объектов окружающей среды значительно превосходит разнообразие всех возможных операций, осуществляемых в процессах их жизнедеятельности, которое, в свою очередь, существенно превышает разнообразие технологических операций, происходящих в искусственных (инженерно-технических) системах. Кроме того, множество операций, осуществляемых в процессах жизнедеятельности сложной системы, превосходит разнообразие и возможности реального управления ею. Применительно к организации никакой менеджер не знает всех процессов, происходящих в управляемой им организации, нередко даже в его подразделении, тем более – в окружающей среде, в том числе на рынке. В реальности мы, конечно, стремимся принять действенные меры, которые, по нашему мнению, должны и могут нейтрализовать любые мыслимые угрозы, разрешить любые проблемы и вооружить нас против прогнозируемых проблем. Однако в практической жизни никому не дано предугадать, с какими рисками предстоит столкнуться. Иными словами, в реальной практике расширение разнообразия управления существенно уступает росту разнообразия внешних воздействий и рисков, которым подвержена сложная управляемая система. Одно из пионерных достижений Бира состоит в том, что он ввел понятие *управления сложностью* вместо *управления ресурсами* (материалами и машинами, людьми, финансами и др.).

По Биру, мерой сложности системы является разнообразие множества её состояний. В основе МЖС Бира лежит закон необходимого разнообразия У. Эшби⁷. Одно из несомненных и очень важных научных достижений Бира – формулировка *принципа необходимого разнообразия (необходимых и достаточных условий жизнеспособности системы)*, согласно которому множество управленческих реакций системы должно быть не менее разнообразным, чем совокупность возможных воздействий со стороны среды и проблемных ситуаций в окружении, в котором осуществляется жизнедеятельность системы (развивается бизнес). Принцип необходимого разнообразия означает, что для сбалансированности системы и ее подсистем по разнообразию необходимо, чтобы каждая подсистема объекта на каждом фиксиро-

¹ Pettigrew A.M., Fenton E.M. "Complexities and Dualities in Innovative Forms of Organizing." *The Innovating Organization*. London: Sage, 2000, pp. 279–300.

² Handy C. *Understanding Organizations*. London: Penguin UK, 1993.

³ См.: Weick K.E. *The Social Psychology of Organizing*. Reading, MA: Addison-Wesley Pub. Co., 1969. Карл Вейк (Karl E. Weick, p. 1936) – американский теоретик организационной коммуникации; стоял у истоков науки об организационном поведении. В 1980–1990-х гг. сыграл ключевую роль в становлении организационной теории в качестве самостоятельной научной дисциплины.

⁴ Weick K.E. *Op. cit.*; Weick K.E. "Enacted Sensemaking in Crisis Situation." *Journal of Management Studies* 25.4 (1988): 305–317.

⁵ Delbridge R., Edwards T. "Challenging Conventions: Roles and Processes during Non-isomorphic Institutional Change." *Human Relations* 61.3 (2008): 299–325; Durante M. "What Model of Trust for Networked Cooperation? Online Social Trust in the Production of Common Goods (Knowledge Sharing)." *Living, Working and Learning Beyond Technology, Proceedings of the Tenth International Conference Ethicomp*. Mantova: University Press, 2008, pp. 211–223.

⁶ Ransom E. "Botswana's Beef Global Commodity Chain: Explaining the Resistance to Change." *Journal of Rural Studies* 27.4 (2011): 431–439; Idem. "The Rise of Agricultural Animal Welfare Standards as Understood Through a Neo-Institutional Lens." *International Journal of Sociology of Agriculture and Food* 15.3 (2007): 26–44; Ransom E., Bain C. "Gendering Agricultural Aid: An Analysis of Whether International Development Assistance Targets Women and Gender." *Gender and Society* 25.1 (2011): 48–74; Ransom E., Wright W. "Constructing Culinary Knowledge: Food and Agricultural Change in Community Cookbooks." *Food, Culture & Society* 16.4 (2013): 669–689; Friedland B., Ransom E., Wolf S. "Agrifood Alternatives and Reflexivity in Academic Practice." *Rural Sociology* 75.4 (2010): 532–537.

⁷ Разнообразие (энтропию) системы можно понизить не более чем на величину количества информации в управляющей системе об управляемой, которое равно разнообразию (энтропии) управления за вычетом потери информации от незначительного управления (См.: Ashby W.R. *Op. cit.*). Эшби рассматривал в качестве характеристики разнообразия системы энтропию, поскольку такая определяется вероятностями реализации состояний и достигает своего максимума на равномерном распределении (под максимальным разнообразием понимается возможность любого состояния реализоваться с равной вероятностью, под минимумом разнообразия – реализация какого-либо одного состояния с вероятностью, равной 1).

ванном уровне рекурсии обладала соответствующим внутренним разнообразием. Кроме того требуется, чтобы обладала соответствующим разнообразием информационных каналов связи между подсистемами входящими в систему. Такие системы способны выживать при значительных неблагоприятных воздействиях на них со стороны окружающей среды, поскольку они обладают необходимым потенциалом восприятия, противодействия и компенсации внешних возмущений.

В научных трудах и книгах С. Бира сконцентрированы итоги его многолетних размышлений о сути и проблемах процессов управления, богатый опыт консультанта¹.

Разнообразие. В широком смысле понятие «разнообразие», по-видимому, не получило общепринятого толкования до настоящего времени. Так, например, автор «Толкового словаря» Д.Н. Ушаков даёт следующее художественное определение и толкование этого понятия: «Разнообразие, разнообразия, мн. нет, ср. отвлеч. сущ. к разнообразный; отсутствие однообразия, монотонности, наличие несходных, неповторяющихся элементов в чем-нибудь. Разнообразие жизни. Разнообразие впечатлений. Внести разнообразие в жизнь. “Все высокое и все прекрасное основано на разнообразии, на контрастах” А. Островский»². Понятно, что такие определение и толкование анализируемого термина, вполне приемлемые в художественных, особенно поэтических, текстах, далеки от возможности их формализации в теории управления.

В экологии разнообразие определяется как «показатель сложности системы, разнокачественности ее компонентов (экологических ниш в экосистеме)»³. Л.И. Лопатников, автор «Экономико-математического словаря», ориентируя читателя на использование данного понятия в кибернетике и общей теории систем, определяет разнообразие [*diversity, variety*] как «количественную характеристику сложности системы: измеряется логарифмом (по основанию 2) возможных различимых ее состояний. (См. Необходимое разнообразие)»⁴. Хотя определение разнообразия Л.И. Лопатникова гораздо ближе к тому толкованию, которое предлагается автором настоящего исследования, оно нуждается в более строгой и корректной формулировке. Не углубляясь в лексикологию, отметим, что нашему мнению, вряд ли возможно достаточно корректно определить смысл термина «разнообразие» применительно к *любому объекту и к любой системе*, поскольку далеко не во всех объектах и системах возможно количественно оценить общее число «возможных различимых состояний». Поэтому, не стремясь сформулировать универсальную и конструктивную дефиницию разнообразия любой системы, мы в настоящей работе ограничиваемся определением разнообразия таких объектов и активных, целенаправленных систем⁵, для которых возможно проанализировать и подсчитать число возможных различимых состояний, а также, по крайней мере, три параметра, характеризующих (под)систему управления: число уровней её иерархической структуры, число каналов управляющих воздействий и число каналов обратной связи.

В данной работе рассматриваются: сложная активная, целенаправленная система S_c с управлением, включающая: (под)систему S_{cy} управления (субъект управления) и управляемую (под)систему S_{oy} (объект управления) и анализируются условия, при которых управляющая (под)система S_{cy} управления (субъект управления) сложной системы $S_c = \{S_{cy}, S_{oy}\}$ с управлением определяет её способность целенаправленно воздействовать на управляемую (под)систему S_{oy} (объект управления). В такой постановке задачи рассматриваются *разнообразие не только состояний сложной системы S_c , но и её управляющей (под)системы S_{cy} (субъекта управления)*, поскольку именно это свойство определяет возможности субъекта S_{cy} «уравняться» с объектом S_{oy} .

В соответствии с изложенным толкованием разнообразия управляющей (под)системы S_{cy} представляется целесообразным анализировать два характеризующих её параметра:

c – число каналов управляющих воздействий на объект управления S_{oy} и

b – число каналов обратной связи, по которым субъект управления S_{cy} получает информацию о различных реакциях S_{oy} на управленческие воздействия⁶.

При анализе разнообразия сложных систем управления в расчетах и оценке таких систем используется параметр, характеризующий в явном виде число лиц, непосредственно занятых процессом управления. В последующем анализе сложных систем с управлением будет показано, что соотношение, оценивающее разнообразие таких систем, позволяет использовать только двух параметров c и b .

Аналитическое соотношение, позволяющее оценивать разнообразие сложной активной, целенаправленной системы S_c , может конструироваться следующим образом.

Рассмотрим систему S_c с n уровнями иерархической структуры, которая может находиться в одном из N различимых и доступных для анализа состояний, в которой функционируют c каналов управляющих воздействий (под)системы S_{cy} на объект управления S_{oy} и b каналов обратной связи, по которым субъект управления S_{cy} получает информацию о различных реакциях S_{oy} на управленческие воздействия.

Используя параметры N , n , c и b , можно сконструировать три индекса.

Первый индекс

$$I_1 = \log_2 N, \quad (1)$$

¹ Моделям жизнеспособной системы С. Бир посвятил три книги: «Мозг фирмы», «Сердце предприятия» и «Системы диагностирования организаций».

² Разнообразие [Электронный ресурс] // Энциклопедии и словари. Ушаков Д.Н. Толковый словарь Толковый словарь современного русского языка. М.: Аделант, 2013. Режим доступа: <http://enc-dic.com/ushakov/Raznoobrazie-63551/>.

³ См.: Разнообразие биологическое [Режим доступа] // Энциклопедии и словари: Экологический словарь. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. Режим доступа: <http://enc-dic.com/ecology/Raznoobrazie-Biologicheskoe-839.html>. Разнообразие в экологии – показатель сложности системы, разнокачественности.

⁴ Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Дело, 2003. С. 298–299.

⁵ Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978; Исследования по общей теории систем / Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. М.: Прогресс, 1969. С. 106–124; Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: СИНТЕГ, 2000; Системный анализ в экономике и организации производства: учебник для студентов вузов / Под ред. С.А. Батуева, В.Н. Волковой. Л.: Политехника, 1991; Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М.: Советское радио, 1971; Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике. М.: Экономика, 1970. С. 22. К совокупности таких систем относятся и ЖС.

⁶ c – control – контролировать, управлять, регулировать; b – feedback – обратная связь.

который оценивает разнообразие состояний системы.
 Второй индекс

$$I_c = \frac{c+b}{2\sqrt[n]{c*b}}, \quad (2)$$

оценивает разнообразие каналов управляющих воздействий и каналов обратной связи её управляющей (под)системы S_{cy} .
 Третий индекс разнообразия системы – индекс подобия компонентов управляющей (под)системы – мера множества подобных компонентов в структуре S_{cy} :

$$\mu_s = \sqrt[n]{\prod_i \mu_i}. \quad (3)$$

Здесь μ_s – мера всего множества подобных компонентов в структуре управляющей (под)системы S_{cy} , а μ_i – мера соответствующего i -го подмножества, относящегося к i -му уровню её иерархии. В качестве простейшей меры μ_i можно считать число подобных компонентов i -го уровня структуры управляющей (под)системы.

Поясним смысл меры μ_s . Рассмотрим i -й уровень иерархической структуры управляющей (под)системы S_{cy} и обозначим символами $\langle c_i, b_i \rangle$ пару, в которой c_i – число каналов управляющих воздействий на объект управления S_{oy} , а b_i – число каналов обратной связи, по которым субъект управления S_{cy} получает информацию о различных реакциях S_{oy} на управленческие воздействия. На i -м уровне иерархической структуры выделим пару её компонентов: S_{cy}^1 , обладающий c_i^1 каналами управляющих воздействий на объект управления S_{oy} и b_i^1 каналами обратной связи и S_{cy}^2 , для которого соответствующие параметры равны c_i^2 и b_i^2 .

Компоненты S_{cy}^1 и S_{cy}^2 управляющей (под)системы S_{cy} назовём *подобными*, если они удовлетворяют условиям:

- 1) S_{cy}^1 и S_{cy}^2 принадлежат одному i -му уровню иерархической структуры S_{cy} и
- 2) $I_c^1 = I_c(c_i^1, b_i^1) = I_c^2 = I_c(c_i^2, b_i^2)$.

Примерами подобных компонентов являются следующие:

$$I_c^1 = I_c(c_i^1, b_i^1) \text{ и } I_c^2 = I_c(\kappa c_i^2, \kappa b_i^2), \text{ где целое } \kappa \geq 1.$$

Возможны и другие примеры подобных компонентов управляющей (под)системы S_{cy} .

Поскольку первый индекс I_1 не позволяет учесть разнообразие каналов управляющих воздействий и каналов обратной связи управляющей (под)системы S_{cy} анализируемой системы S_c и мощность множества подобных компонентов (под)системы управления, приходится использовать более сложную конструкцию, вводя в неё индекс I_c и меру μ_s .

Обобщая изложенные соображения и используя индексы разнообразия состояний, каналов управляющих воздействий и каналов обратной связи, а также индекс подобия управляющей (под)системы S_{cy} , можно сконструировать индекс разнообразия системы с управлением:

$$I_d = \log_2 N \frac{c+b}{2\sqrt[n]{c*b}} \sqrt[n]{\prod_i \mu_i}. \quad (4)$$

Рассмотрим примеры простейших систем с управлением и оценим их разнообразие. Очевидно, что разнообразие двухуровневой системы с одним каналом управленческих воздействий $c = 1$ и одним каналом обратной связи $b = 1$, в которой отсутствуют подобные компоненты ($\mu_s = 1$), равно логарифму (по основанию 2) возможных различимых её состояний.

Разнообразие двухуровневой системы с управлением, в которой два канала управления ($c = 2$) и два канала обратной связи ($b = 2$), отсутствуют подобные компоненты ($\mu_s = 1$), также равно $\log_2 N$.

Отметим также, что индекс I_d позволяет оценивать также разнообразие систем, анализируемых в режиме «чёрного ящика»¹. Для таких систем можно использовать параметр c в качестве числа входных каналов, а параметр b как число выходных каналов системы.

Таким образом, предложенный нами индекс I_d при всей простоте его конструкции позволяет достаточно точно оценивать разнообразие системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-89:Надежность в технике. 1990.1 июля.[Электронный ресурс].Режим доступа: <http://relays.ru/files/norm/2700289.pdf>
2. Бир С. Мозг фирмы. М.: Радио и связь, 1993.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978.
4. Зимин И.Н. К вопросу о долговечности проектов и формировании жизнеспособных систем // Труды ИСА РАН. 2013. Т. 63. № 1. С. 16–29.
5. Докторович А.Б., Зимин И.Н. Модели жизнеспособной системы // Российское государство и социально-экономические вызовы современности: Сборник научных статей. Т. 1. М.: Проспект. 2015. С. 729-739.
6. Долговечность [Электронный ресурс] // Энциклопедии и словари: Большая Советская энциклопедия. Режим доступа: http://enc-dic.com/enc_sovet/Dolgovechnost-14845.html.
7. Долговечность [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Долговечность>.
8. Исследования по общей теории систем / Под ред. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. М.: Прогресс, 1969.
9. Лившиц В.Н. Системный анализ рыночного реформирования нестационарной экономики России: 1992–2013. М.: ЛЕ-НАНД, 2013.
10. Лопатников Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки. 5-е изд., перераб. и

¹ Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Большая Российская энциклопедия; ИНФРА-М, 2003. С. 587–588; Чёрный ящик [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрный_ящик.

- доп. М.: Дело, 2003.
11. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: СИНТЕГ, 2000.
 12. Разнообразие [Электронный ресурс] // Энциклопедии и словари. Ушаков Д.Н. Толковый словарь Толковый словарь современного русского языка. М.: Аделант, 2013. Режим доступа: <http://enc-dic.com/ushakov/Raznoobrazie-63551/>.
 13. Разнообразие биологическое [Режим доступа] // Энциклопедии и словари: Экологический словарь. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. Режим доступа: <http://enc-dic.com/ecology/Raznoobrazie-Biologicheskoe-839.html>.
 14. Системный анализ в экономике и организации производства: учебник для студентов вузов / Под ред. С.А. Батуева, В.Н. Волковой. Л.: Политехника, 1991.
 15. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. М.: Советское радио, 1971.
 16. Черный ящик [Электронный ресурс] // Википедия. Свободная энциклопедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Чёрный_ящик.
 17. Черняк Ю.И. Анализ и синтез систем в экономике. М.: Экономика, 1970.
 18. Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Большая Российская энциклопедия: ИНФРА-М, 2003.
 19. Ashby W.R. *Introduction to Cybernetics*. London: Chapman & Hall, 1956.
 20. Bain C., Ransom E., Higgins V. "Private Agrifood Standards: Contestation, Hybridity and the Politics of Standards." *Introduction to an Edited Collection of Articles in International Journal of Sociology of Agriculture and Food* 20.1 (2013): 1–10.
 21. Bamberger M., Cheema S. *Case Studies of Project Sustainability, Implications for Policy and Operations from Asian Experience*. Washington, D.C.: Economic Development Institute, 1990.
 22. Beer S. "The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology." *Journal of the Operational Research Society* 35.1 (1984): 7–25.
 23. Beer S. *Designing Freedom*. Toronto: CBC Learning Systems, 1974
 24. Beer S. *Diagnosing the System for Organizations*. Chichester, London and New York: John Wiley, 1985.
 25. Beer S. *Heart of Enterprise*. London and New York: John Wiley, 1979.
 26. Beer S. *Platform for Change*. London and New York: John Wiley, 1975.
 27. Beer S. *The Brain of the Firm*. London: Penguin, 1972.
 28. Buckl S., Matthes F., Schweda C.M.. "Towards a Method Framework for Enterprise Architecture Management—A Literature Analysis from a Viable System Perspective." *5th International Workshop on Business/IT Alignment and Interoperability (BUSITAL 2010)*. 2010, pp. 46–60.
 29. Delbridge R., Edwards T. "Challenging Conventions: Roles and Processes during Non-isomorphic Institutional Change." *Human Relations* 61.3 (2008): 299–325.
 30. Durante M. "What Model of Trust for Networked Cooperation? Online Social Trust in the Production of Common Goods (Knowledge Sharing)." *Living, Working and Learning Beyond Technology, Proceedings of the Tenth International Conference Ethicomp*. Mantova: University Press, 2008, pp. 211–223.
 31. Espejo R. "The Viable System Model." *Systemic Practice and Action Research* 3.3 (1990): 219–221.
 32. Friedland B., Ransom E., Wolf S. "Agrifood Alternatives and Reflexivity in Academic Practice." *Rural Sociology* 75.4 (2010): 532–537.
 33. Handy C. *Understanding Organizations*. London: Penguin UK, 1993.
 34. Jackson M.C. "The Soul of the Viable System Model." *Systemic Practice and Action Research* 5.5 (1992): 561–564.
 35. Leonard A. "The Viable System Model and Its Application to Complex Organizations." *Systemic Practice and Action Research* 22.4 (2009): 223–233.
 36. Leonard A. "The Viable System Model and Knowledge Management." *Kybernetes* 29.5/6 (2000): 710–715.
 37. Mondlane A.I. "Behaviour Conceptual Modelling for Vulnerability and Risk Management Using Viable System Model Framework." *International Journal of Intercultural Information Management* 3.1 (2012): 1–14.
 38. Murad R.S., Cavana R.Y. "Applying the Viable System Model to ICT Project Management." *International Journal of Applied Systemic Studies* 4.3 (2012): 186–205.
 39. Pettigrew A.M., Fenton E.M. "Complexities and Dualities in Innovative Forms of Organizing." *The Innovating Organization*. London: Sage, 2000, pp. 279–300.
 40. Preece G., Shaw D., Hayashi H. "Using the Viable System Model (VSM) to Structure Information Processing Complexity in Disaster Response." *European Journal of Operational Research* 224.1 (2013): 209–218.
 41. Ransom E. "Botswana's Beef Global Commodity Chain: Explaining the Resistance to Change." *Journal of Rural Studies* 27.4 (2011): 431–439.
 42. Ransom E. "The Rise of Agricultural Animal Welfare Standards as Understood Through a Neo-Institutional Lens." *International Journal of Sociology of Agriculture and Food* 15.3 (2007): 26–44.
 43. Ransom E., Bain C. "Gendering Agricultural Aid: An Analysis of Whether International Development Assistance Targets Women and Gender." *Gender and Society* 25.1 (2011): 48–74.
 44. Ransom E., Wright W. "Constructing Culinary Knowledge: Food and Agricultural Change in Community Cookbooks." *Food, Culture & Society* 16.4 (2013): 669–689.
 45. Schwaninger M. "Stafford Beer (1926–2002)." *ProjectsISSS*. N.p., October 2004. Web. <http://projects.iss.org/doku.php?id=stafford_beer_by_markus_schwaninger>.
 46. Thompson R., Laws A., Reilly D., Taleb-Bendiab A., Llewellyn-Jones D. "A Set Theory Analysis of Ecological Dependence Amid an Agent Infrastructure in Beer's Viable System Model through Viable Computer Systems." *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence* 3.3 (2011): 188–196.
 47. Vidgen R. "Cybernetics and Business Processes: Using the Viable System Model to Develop an Enterprise Process Architecture." *Knowledge and Process Management* 5.2 (1998): 118–131.
 48. Weick K.E. "Enacted Sensemaking in Crisis Situation." *Journal of Management Studies* 25.4 (1988): 305–317.
 49. Weick K.E. *The Social Psychology of Organizing*. Reading, MA: Addison-Wesley Pub. Co., 1969.

Цитирование по ГОСТ Р 7.0.11—2011:

Докторович, А. Б. Разнообразие и сложность жизнеспособной системы / А.Б. Докторович // *Пространство и Время*. — 2015. — № 3(21). — С. 86—91. Стационарный сетевой адрес: 2226-7271prov_st3-21.2015.25.