

УДК 004.9:330.46

ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИИ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

¹Ломазов А.В., ²Ломазов В.А., ²Петросов Д.А.¹ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: info@bsu.edu.ru;²ФГБОУ ВПО «Белгородский государственный аграрный университет
имени В.Я. Горина», Белгород, e-mail: info@bsaa.edu.ru

Работа посвящена применению методологии экспертных технологий при оценивании сложных динамических систем для поддержки принятия решений по выбору вариантов управления. На примере социально-экономических систем рассмотрена проблема структурирования совокупности показателей с учетом периодизации временного интервала функционирования. Предложено иерархическое агрегирование показателей по периодам времени, вложенное в иерархию оценочных показателей системы. В рамках предложенного подхода полученные на основе абсолютных значений и экспертных суждений вербальные значения показателей за разные временные периоды преобразованы соотношением к единой безразмерной количественной измерительной шкале. Агрегирование производится в форме линейной свертки показателей с весовыми коэффициентами, отражающими относительную значимость показателей в разные периоды времени. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы свидетельствуют о его эффективности.

Ключевые слова: социально-экономическая система, экспертные технологии, иерархия показателей

A HIERARCHY OF ESTIMATED INDICATORS OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS BASED ON EXPERT TECHNOLOGY

¹Lomazov A.V., ²Lomazov V.A., ²Petrosov D.A.¹Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin, Belgorod, e-mail: info@bsu.edu.ru;²Belgorod State National Research University, Belgorod, e-mail: info@bsaa.edu.ru

The work is devoted to the application of the methodology of the expert techniques in estimating complex dynamic systems to support decision-making on the selection of management options. As an example the problem of structuring the set of indicators based on the periodization of the time interval of the socio-economic system is considered. Hierarchical aggregation of indicators by periods of time embedded in the hierarchy of performance indicators system is proposed. Within the framework of the proposed approach verbal indicator values for different time periods, received based on absolute values and expert judgments, converted by relating to the unified dimensionless quantitative measuring scale. Aggregation is made in the form of linear convolution of indicators with weights, reflecting the relative importance of indicators in different time periods. Preliminary results of the proposed approach in the framework of a research prototype information-analytical system demonstrates its effectiveness.

Keywords: socio-economic system, expert technology, the hierarchy of indicators

Для эффективной разработки и обеспечения последующего функционирования сложных (например, социально-экономических) систем (СЭС) необходим специализированный информационно-аналитический инструментарий, обеспечивающий требуемое качество управления этим процессом [1, 3]. Основой поддержки принятия управленческих решений является комплекс показателей, отражающих текущее и прогнозируемое состояние системы. Однако традиционные подходы к построению оценочных показателей (метод анализа иерархий, метод аналитических сетей и др. [10, 12]) не позволяют в полной мере отразить динамику развития систем и нуждаются в дальнейшем развитии.

Цель настоящей работы состоит в создании инструментария поддержки много-

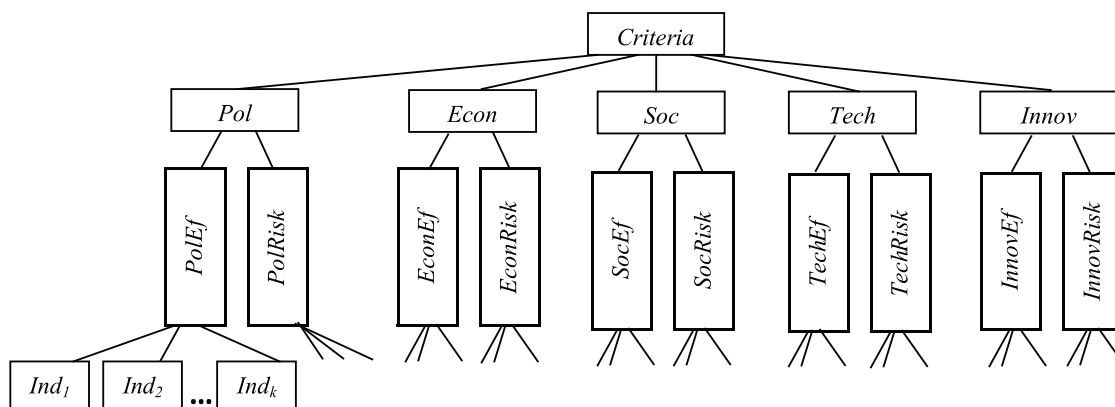
критериального экспертного оценивания динамических социально-экономических систем (ДСЭС) с учетом взаимосвязей между показателями, относящимися к различным периодам времени.

Многокритериальное экспертное оценивание динамических социально-экономических систем на основе экспертных суждений

Многообразие целей, характерное для СЭС, порождает многокритериальность при их оценивании. В настоящее время для построения комплексных оценок СЭС широко используется PEST-анализ [12], позволяющий выделить политические (*Pol*), экономические (*Econ*), социальные (*Soc*) и технологические (*Tech*) аспекты системы. Дополнительным аспектом, который

целесообразно учитывать при оценивании СЭС, является инновационность (*Innov*), во многом определяющая перспективы развития системы [5, 6, 8]. Необходимость оценивания прогнозируемых состояний системы обуславливает разделение планируемых значений показателей (*Pl*) и значения показателей при действии (с некоторой вероятностью) неблагоприятных факторов (*Risk*). Например, в соответствии с построенной иерархией оценочных показателей (рисунок) показатель *PolRisk* отражает экономические (*Pol*) риски (*Risk*) при функционировании системы.

– исторической периодизации (период определяется как промежуток между значимыми событиями);
 – трендовой периодизации (период определяется наличием единого тренда);
 – параллельной периодизации (используется трендовая периодизация некоторого главного показателя);
 – комбинированного подхода.
 Интегрированное значение показателя определяется с учетом экспертных мнений об относительной значимости (для каждого показателя) каждого периода, например (как это принято в классическом варианте



Иерархия оценочных показателей социально-экономических систем

Нижний уровень иерархии (листья ориентированного графа) соответствует показателям (индикаторам, *Ind*), значения которых получены на основе экспертных заключений и приведены к единой безразмерной шкале. Показатели более высоких уровней носят интегрированный характер и получены на основе показателей предыдущего уровня. Корень иерархии (*Criteria*) представляет собой общую оценку СЭС и зачастую выступает в качестве критерия в решающем правиле при принятии управленческих решений по выбору вариантов развития системы.

Динамический характер оцениваемой системы предполагает зависимость показателей ДСЭС от времени. Кусочно-постоянная аппроксимация этой зависимости соответствует периодизации временного интервала функционирования системы *T*, состоящей в его разбиении на непересекающиеся подинтервалы (периоды):

$$T = \bigcup_{i=1}^n T_i; \quad T_i \cap T_j = \emptyset \quad \text{при } i \neq j.$$

При этом для каждого показателя возможно свое разбиение, исходя из подходов:
 – календарной периодизации (год, квартал, месяц);

метода анализа иерархий [12]), в виде линейной свертки:

$$Ind = \sum_{i=1}^n w_i Ind^i,$$

где w_i – весовые коэффициенты периодов: $w_i \geq 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1$, а Ind_i – значения показателей за период $T_i, i = 1, 2, \dots, n$.

Выделение подпериодов в составе периодов приводит к иерархической периодизации. В этом случае значения интегрированных по времени показателей определяются в виде многократной линейной свертки. Так, например, при глубине (числе уровней) периодизации $P = 3$:

$$Ind = \sum_{i=1}^n w_i \left(\sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} \left(\sum_{l=1}^{n_{ijl}} w_{ijl} Ind^{ijl} \right) \right); \quad (1)$$

$$w_i, w_{ij}, w_{ijl} \geq 0; \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1; \quad \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} = 1;$$

$$\sum_{l=1}^{n_{ijl}} w_{ijl} = 1 \quad \text{при } i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n_i.$$

Иерархию показателей по периодам времени можно назвать вложенной (Nested

Time Hierarchy, NTH) в иерархию оценочных показателей системы, поскольку она может быть применена к отдельным показателям, приведенным на рис. 1. Выбор варианта применения NTH, начиная с листовых вершин иерархического дерева ListNTH (LNTH) и до его корня RootNTH (RNTH), а также включая промежуточные варианты, порождает свой набор весовых коэффициентов относительной значимости периодов времени (Time Weights, TW), определяемых на основе экспертиз – наиболее трудоемких (и, как правило, несущих наибольшее число возможных ошибок) этапов процедуры оценивания. При этом наименьшее количество весов периодов времени подлежит определению при корневой вложенности RNTH. Например, при глубине периодизации $P = 4$ и при количестве подпериодов первого уровня – n , второго уровня – n_i ($i = 1, \dots, n$), третьего уровня – n_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n_i$) и четвертого уровня – n_{ijl} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n_i; l = 1, \dots, n_{ij}$) количество WT составит

$$N_{RTW} = n + \sum_{i=1}^n n_i + \sum_{i=1}^n \left(n_i \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} \right) + \sum_{i=1}^n \left(n_i \sum_{j=1}^{n_i} n_{ij} \left(\sum_{l=1}^{n_{ij}} n_{ijl} \right) \right). \quad (2)$$

При листевой вложенности LNTH количество весов периодов времени составит

$$N_{LTW} = \sum_{r=1}^s N_{TW}^r,$$

где N_{TW}^r , $r = 1, 2, \dots, s$ определяются по формулам вида (2), построенным для каждого листа (первичного индикатора) $Ind_1, Ind_2, \dots, Ind_s$, представленного на рис. 1.

Весовые коэффициенты TW могут быть определены методом парных сравнений [12]:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n C_{ij}} / \sum_{m=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n C_{mj}},$$

где коэффициенты матрицы парных сравнений C_{ij} , отражающие степень значимости индикатора Ind_i по сравнению с индикатором Ind_j , принимают значения из множества $\{1/9, 1/8, \dots, 1, 2, \dots, 9\}$ или методом ранжирования [9, 10]:

$$w_i = \frac{n+1-R_i}{R_1+R_2+\dots+R_n},$$

где R_i ($i = 1, 2, \dots, n$) – ранги рассматриваемых индикаторов.

Второй подход представляется в данном случае более предпочтительным в силу его относительной простоты.

Предлагаемый подход к учету взаимосвязей между показателями ДСЭС, относящимися к различным периодам времени, безусловно, является громоздким, поскольку предполагает необходимость использования большого числа показателей и связей, что, впрочем, по-видимому, является неизбежным. Однако этот недостаток в какой-то степени компенсируется за счет структурирования совокупности показателей и применения единообразных иерархических конструкций. При этом возрастает роль технологии измерения первичных показателей (индикаторов) системы.

Определение значений индикаторов системы на основе экспертных знаний

Измерение оценочных показателей СЭС предполагает не только определение абсолютных значений (*ValAbs*), но и экспертное оценивание (*ValVerb*) этих значений в некоторой вербальной шкале (например, в простейшей шкале <маленькое значение, среднее значение, большое значение>), отражающее значимость конкретного абсолютного значения индикатора в контексте предметной области в соответствии с правилом перехода *Scale(abs, verb)*. Однако использование значений индикаторов в общей иерархии оценивания СЭС требует перехода от вербальных значений к относительным числовым значениям (*ValRel*), для чего используется правило *Scale(verb, rel)*.

Для определения относительных значений индикаторов ДСЭС с использованием NTH предлагается основанная на подходе, предложенном в [7], процедура, основные этапы которой приведены в таблице.

Выполнение этапов предлагаемой процедуры измерения значений индикаторов требует привлечения трех категорий исполнителей:

- специалист, обладающий навыками измерения абсолютных значений индикаторов и обработки информации;

- эксперт, обладающий знаниями (носящими, как правило, слабо формализованный «интуитивный» характер) в предметной области, соответствующей измеряемому индикаторам;

- когнитолог (инженер по знаниям), владеющий технологиями представления и обработки знаний.

При этом для повышения объективности результатов экспертиз целесообразно привлечение разных экспертов на различных этапах процедуры измерения индикатора.

Заключительный этап предполагает анализ полученных значений индикаторов с точки зрения их чувствительности от возможных изменений экспертных суждений ([2, 8]) и ответственности другим (в некоторой степени аналогичным) результатам измерений.

Основные этапы измерения индикатора

№ п/п	Этап	Исполнитель
1.	Подготовительный этап	
1.1.	Определение диапазона возможных абсолютных значений индикатора	эксперт
1.2.	Выбор диапазона возможных вербальных значений индикатора	когнитолог, эксперт
1.3.	Выбор диапазона возможных относительных значений индикатора	когнитолог
1.4.	Построение шкалы перевода значений из абсолютной числовой шкалы в вербальную шкалу $Scale(abs, verb)$	когнитолог, эксперт
1.5.	Построение шкалы перевода значений из вербальной шкалы в относительную балльную шкалу $Scale(verb, rel)$	когнитолог,
1.6.	Периодизация временного интервала для измеряемого индикатора	эксперт
2.	Этап проведения измерений	
2.1.	Определение абсолютного значения индикатора $ValAbs_t, t = 0, 1, \dots, T$	специалист
2.2.	Определение вербального значения индикатора $ValVerb_t, t = 0, 1, \dots, T$	специалист
2.3.	Определение относительного значения индикатора $ValRel_t, t = 0, 1, \dots, T$	специалист
3.	Заключительный этап	
3.1.	Оценка чувствительности относительного значения индикатора от изменений экспертных суждений	когнитолог, специалист
3.2.	Оценка достоверности относительного значения индикатора	эксперт

Окончательным результатом измерения является построение кортежа

$$IND = \langle Name; ValAbs_t, t = 0, 1, \dots, T; ValVerb_t, t = 0, 1, \dots, T; ValRel_t, t = 0, 1, \dots, T; Scale(abs, verb); Scale(verb, point) \rangle.$$

Наличие трех значений индикатора IND приводит к тому, что областью его допустимых значений $Dind$ является декартово произведение абсолютного, вербального и относительного доменов: $Dind = Dabs \times Dverb \times Drel$. Использование трех типов значений формального индикатора дает возможность преобразования значений в зависимости от способа получения и цели использования данных в рамках разных иерархий оценочных показателей.

Заключение

Предложенный в работе подход к структурированию совокупности показателей динамических социально-экономических систем, основанный на использовании вложенных иерархий (НТН), позволяет учесть соотношения значимости показателей в разные периоды времени, что способствует повышению научной обоснованности управленческих решений. Предварительные результаты применения предложенного подхода в рамках исследовательского прототипа информационно-аналитической системы многокритериального оценивания ДСЭС свидетельствуют о его эффективности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 14-07-00246 и № 15-07-05715.

Список литературы

1. Акупиан О.С., Ломазов В.А., Петросов Д.А. Модели и методы мониторинга реализации региональных социально-экономических проектов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – С. 270–270.
2. Дмитриев М.Г., Ломазов В.А. Оценка чувствительности линейной свертки частных критериев при экспертном определении весовых коэффициентов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 1. – С. 52–56.
3. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
4. Ломазов В.А., Ломазова В.И., Нехотина В.С. Информационные модели и методы многокритериальной оценки региональных социально-экономических проектов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – Т. 25. – № 1–1. – С. 112–116.
5. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения / В.А. Ломазов, Е.В. Нестерова // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 4. – С. 145–149.
6. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки социальных инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). – 2013. – № 8 (28). – С. 48.

7. Ломазов В.А., Ломазова В.И., Михайлова В.Л., Петросов Д.А. Информационное моделирование инновационно-инвестиционных проектов // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–2. – С. 339–340.

8. Ломазов В.А., Нестерова Е.В., Петросов Д.А. Учет чувствительности результатов многокритериального оценивания от изменений экспертных суждений при выборе региональных инновационно-инвестиционных проектов в области здравоохранения // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 3–0. – С. 192–196.

9. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М.: Академия, 2009. – 400 с.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide / Global Standart. Project Management Institute, USA. – 2008. – 496 p.

11. Lomazov V.A., Nehotina V.S. An assessment of regional socio-economic projects // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. – 2013. – № 3. – С. 190–193.

12. Saaty T.L. The analytic hierarchy process. – New York: McGraw Hill, 1980. – 287 p.

References

1. Akupijan O.S., Lomazov V.A., Petrosov D.A. Modeli i metody monitoringa realizacii regionalnyh socialno-jekonomichekikh proektov // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. no. 3. pp. 270–270.

2. Dmitriyev M.G., Lomazov V.A. Otsenka chuvstvitelnosti lineynoy svertki chastnykh kriteriyev pri ekspertnom opredelenii vesovykh koeffitsiyentov // Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy. 2014. no. 1. pp. 52–56.

3. Litvak B.G. Jekspertnye tehnologii v upravlenii. M.: Delo, 2004. 400 p.

4. Lomazov V.A., Lomazova V.I., Nehotina V.S. Informacionnye modeli i metody mnogokriterialnoj ocenki regionalnyh socialno-jekonomichekikh proektov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2013. T. 25. no. 1–1. pp. 112–116.

5. Lomazov V.A., Nesterova E.V. Kriterii ocenki investitsionnykh innovatsionnykh proektov v sfere zdravookhraneniya /

V.A. Lomazov, E.V. Nesterova // Jekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. 2013. no. 4. pp. 145–149.

6. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V. Kriterii otsenki sotsialnykh investitsionnykh innovatsionnykh proektov v sfere zdravookhraneniya // Sovremennyye issledovaniya sotsialnykh problem (elektronnyy nauchnyy zhurnal). 2013. no. 8 (28). pp. 48.

7. Lomazov V.A., Lomazova V.I., Mikhaylova V.L., Petrosov D.A. Informatsionnoye modelirovaniye innovatsionno-investitsionnykh proektov // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2015. no. 1–2. pp. 339–340.

8. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V., Petrosov D.A. Uchet chuvstvitelnosti rezultatov mnogokriterialnogo otsenivaniya ot izmeneniy ekspertnykh suzheniy pri vybore regionalnykh innovatsionno-investitsionnykh proektov v oblasti zdravookhraneniya // Fundamentalnyye issledovaniya. 2015. no. 3–0. pp. 192–196.

9. Petrovskiy A.B. Teoriya prinyatiya resheniy. M.: Akademiya, 2009. 400 p.

10. A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK Guide / Global Standart. Project Management Institute, USA. 2008. 496 p.

11. Lomazov V.A., Nehotina V.S. An assessment of regional socio-economic projects // Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. 2013. no. 3. pp. 190–193.

12. Saaty T.L. The analytic hierarchy process. New York: McGraw Hill, 1980. 287 p.

Рецензенты:

Дюкарев Ю.М., д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры математики и физики, ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина», г. Белгород;

Жиляков Е.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.