

## Информационно-аналитическая система мониторинга и анализа выполнения региональных социально-экономических программ

*А.В. Ломазов<sup>1</sup>, О.А. Иващук<sup>1</sup>, В.А. Ломазов<sup>1,2</sup>, Е.В. Нестерова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,*

<sup>2</sup>*Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, Белгород*

**Аннотация:** Работа посвящена проблематике использования современных цифровых технологий для управления реализацией программ развития региональных социально-экономических систем. Предложен подход, основанный на применении интеллектуальных информационных систем мониторинга и анализа хода выполнения программ. В качестве модели представления знаний о предметной области предложено использовать аппарат теории лингвистических переменных и нечетких продукционных правил, что позволяет учесть высокий уровень неопределенности. Входящая в информационную систему машина вывода основана на явно интерпретируемой процедуре нечеткого логического вывода Мамдани, что дает возможности формирования объяснений хода рассуждений. Предварительные результаты опытной эксплуатации исследовательского прототипа разработанной системы могут служить подтверждением эффективности предложенных проектных решений.

**Ключевые слова:** региональная социально-экономическая программа, лингвистическая переменная, нечеткое продукционное правило, нечеткий логический вывод, информационно-аналитическая система.

### Введение

Одним из эффективных механизмов устойчивого развития регионов является комплекс социально-экономических проектов и программ, разработка и реализация которых способствует повышению уровня жизни населения, что является важной задачей региональных органов власти [1]. Этим обусловлено многообразие региональных программ социально-экономического развития, направленных на развитие отдельных кластеров экономики (например, [2]) и социальных сфер ([3,4]) или носящих комплексный характер применительно к отдельным территориям ([5]).

Общей проблемой управления региональными программами (проектами) социально-экономического развития является формирование и оценка значений показателей выполнения программ, которые, зачастую, (особенно в социальной сфере [6]) носят качественный или количественно-качественный (гибридный) характер.

Целью настоящего исследования является разработка инструментария интеллектуальной поддержки мониторинга и анализа реализации программ развития региональной социально-экономической системы. Лежащие в основе разработанной информационно-аналитической системы модели и методы искусственного интеллекта (применяемые для обработки экспертных знаний) позволяют сократить время принятия и повысить научную обоснованность управленческих решений при возможной корректировке проектов (программ).

### **Индикативное модельное описание региональных социально-экономических программ**

В рамках индикативного подхода будем полагать, что реализация программы связана с достижением показателями развития региональной социально-экономической системы в заданные моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$  значений не хуже, чем нормативные целевые значения, что формально может быть записано в виде системы ограничений (неравенств):

$$IndSoc^-_j(t_i) \leq NormIndSoc^-_j(t_i), \quad IndSoc^+_j(t_i) \geq NormIndSoc^+_j(t_i) \quad (1)$$

$$IndEc^-_j(t_i) \leq NormIndEc^-_j(t_i), \quad IndEc^+_j(t_i) \geq NormIndEc^+_j(t_i)$$

где  $IndSoc(t_i)$ ,  $IndEc(t_i)$  – измеряемые в момент времени  $t_i$ , а  $NormIndSoc(t_i)$ ,  $NormIndEc(t_i)$ , – задаваемые программой для этих моментов времени нормативные целевые значения социальных и экономических показателей. Верхний индекс + (–) означает принадлежность рассматриваемого показателя к группе позитивных (негативных) показателей, для которых улучшение связано в увеличением (уменьшением) значения показателя. В дальнейшем (для избежания излишней громоздкости) без ограничения общности все показатели будем считать позитивными, что позволит не указывать этот индекс. Нижний индекс  $j$  – номер рассматриваемого показателя в соответствующем перечне показателей  $INDSoc$ ,  $INDEc$ .

---

Введем для каждого рассмотренного неравенства бинарный показатель, отражающей его выполнение и принимающий значения  $1$  (ограничение выполняется) или  $0$  (ограничение не выполняется). Тем самым, ход выполнения программы развития региональной социально-экономической системы в момент времени  $t_i$  описывается кортежем

$$FIND(t_i) = \langle FINDSoc(t_i), FINDEc(t_i) \rangle \quad (2)$$

каждая компонента которого отражает выполнение соответствующих групп неравенств из системы ограничений (1).

Рассмотрим более подробно социальные аспекты программы (соответствующие показатели и ограничения), имея в виду, что анализ по остальным комплексам показателей программы производится аналогичным образом. Представим  $FINDSoc(t_i)$ , в виде бинарного вектора

$$FINDSoc(t_i) = \langle FINDSoc(t_i)_1(t_i), FINDSoc(t_i)_2(t_i), \dots, FINDSoc(t_i)_k(t_i) \rangle \quad (3)$$

$$FINDSoc(t_i)_j(t_i) \in \{0, 1\}, \quad j = 1, 2, \dots, k$$

Будем полагать, что перечне  $INDSoc$  имеются подгруппы «дублирующих» показателей  $INDSoc^1, INDSoc^2, \dots, INDSoc^p$ , таких что в рамках анализа выполнения программы достаточно достижение нормативного значения хотя бы одним из показателей подгруппы (остальные индикаторы могут быть даже не измерены). Тогда бинарный показатель  $FINDSoc$  вычисляется по логической формуле:

$$FINDSoc(t_i) = \bigwedge_{s=1}^p \left( \bigvee_{IndSoc_j \in INDSoc^s} FINDSoc_j(t_i) \right) \quad (4)$$

где значение  $1$  (*true*) означает выполнение комплекса социальных показателей в момент времени  $t_i$ , а  $0$  (*false*) – невыполнение,  $\wedge, \vee$  – знаки операций конъюнкции и дизъюнкции.

Для более подробного анализа формула (4) может быть обобщена на нечеткий случай, в рамках которого входящие в эту формулу показатели могут принимать промежуточные между  $0$  и  $1$  значения, что отражает

степень выполнения соответствующих ограничений (степень истинности утверждений о выполнении ограничений), т.е.

$$FIndSoc(t_i), FIndSoc_j(t_i) \in [0, 1], \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (5)$$

где входящие в формулу (4) операции конъюнкции ( $\wedge$ ) и дизъюнкции ( $\vee$ ) заменяются (в соответствии с [7]) на функции *min* и *max*. Однако при этом остаются вопросы интерпретации нечетких значений показателей  $FIndSoc_j(t_i)$  и способов их определения, что делает более обоснованным использование модельных описаний теории лингвистических переменных [8].

Формальное лингвистическое описание показателей  $FIndSoc$ ,  $FIndSoc_j$  представляется в виде кортежей:

$$\begin{aligned} &\langle LingFIndSoc, UnIndSoc, TbaseIndSoc, GIndSoc, MIndSoc \rangle \quad (6) \\ &\langle LingFIndSoc_j, UnIndSoc_j, TbaseIndSoc, GIndSoc_j, MIndSoc_j \rangle, \\ &j = 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

где  $LingFIndSoc$ ,  $LingFIndSoc_j$  – наименования лингвистических переменных;  $UnIndSoc$ ,  $UnIndSoc_j$  – универсальные множества лингвистических переменных, содержащие все возможные измеренные числовые значения показателей  $IndSoc$ ,  $IndSoc_j$ , (в процентах к нормативным числовым значениям  $NormIndSoc$ ,  $NormIndSoc_j$ );  $TbaseIndSoc = \{low, medium, high\}$  – общее базовое терм-множество для рассматриваемых значений;  $MIndSoc_j$  – синтаксические правила, позволяющие порождать наименования термов из наименований элементов  $TbaseIndSoc$  (что приводит к формированию терм-множества  $TIndSoc$ ); семантические правила, устанавливающие соответствия между термами из  $TIndSoc$  и нечеткими подмножествами  $UnIndSoc$ ,  $UnIndSoc_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ). Функции принадлежности этих множеств могут иметь, в частности, трапециевидный тип.

Связь между показателем  $UnIndSoc$ , отражающим общую степень выполнения группы социальных нормативов, и степенью выполнения

отдельных нормативов  $FIndSoc_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) задается нечеткими продукционными правилами вида:

$$\text{if } F_{low}(FIndSoc_1, FIndSoc_2, \dots, FIndSoc_k) \text{ then } (FIndSoc - low) \quad (7)$$

$$\text{if } F_{medium}(FIndSoc_1, FIndSoc_2, \dots, FIndSoc_k) \text{ then } (FIndSoc - medium)$$

$$\text{if } F_{high}(FIndSoc_1, FIndSoc_2, \dots, FIndSoc_k) \text{ then } (FIndSoc - high)$$

где  $F_{low}$ ,  $F_{medium}$ ,  $F_{high}$  – лингвистические выражения относительно соответствий числовых значений  $FIndSoc_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) термам из  $TIndSoc$ .

Например,

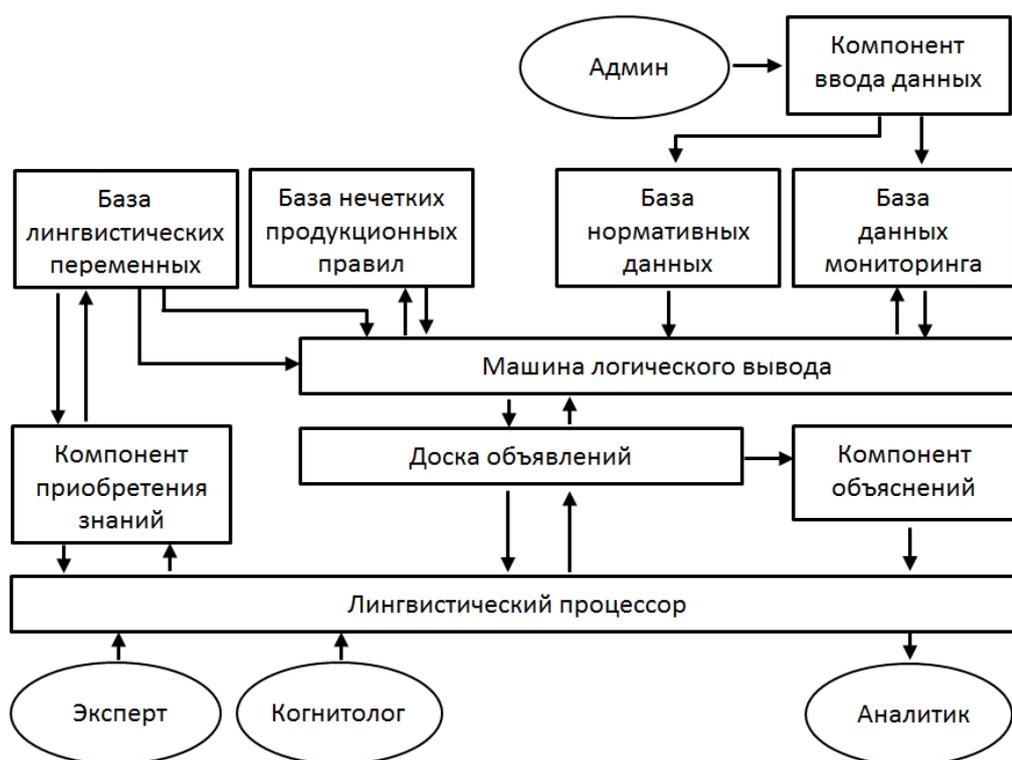
$$F_{low} = (FIndSoc_1 - low) \wedge (FIndSoc_2 - low) \wedge ((FIndSoc_3 - low) \wedge (FIndSoc_3 - medium))$$

Конкретный вид выражений  $F_{low}$ ,  $F_{medium}$ ,  $F_{high}$  задается экспертами, исходя из своего опыта и знания предметной области.

Анализ выполнения программ развития региональной социально-экономической системы на момент времени  $t_i$  в части достижения требуемых значений социальными экономическими показателями ( $FINDEc(t_i)$ ) производится аналогичным образом.

### **Инструментарий мониторинга и анализа выполнения региональных социально-экономических программ**

Для поддержки мониторинга и анализа выполнения региональных социально-экономических программ разработана информационно-аналитическая система, структура которой приведена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структура информационно-аналитической системы мониторинга анализа выполнения региональных социально-экономических программ

Руководство эксплуатацией информационно-аналитической системы осуществляет администратор, функциональные обязанности которого включают ввод нормативных данных программы, задаваемых при ее начальной разработке (корректировке) и данных мониторинга ее выполнения, для чего предусмотрен специальный компонент системы (*Компонент ввода данных*). Раздельное хранение этих видов данных в разных базах (*База нормативных данных* and *База данных мониторинга*) позволяет использовать разные форматы представления информации и разграничить доступ для обеспечения необходимого уровня защищенности данных.

Пользователи системы (*Эксперт, Когнитолог, Аналитик*) взаимодействуют с ней на ограниченном подмножестве естественного языка (отражающего специфику программы) с использованием компонента *Лингвистический процессор*. *Эксперт* и *Когнитолог* выполняют наполнение

баз знаний (*База лингвистических переменных* и *База нечетких продукционных правил*), разделение которых отражает специфику используемого методологического аппарата (и предметной области) и является еще одной особенностью разработанной системы.

Обработка знаний и фактов (данных) на основе алгоритма нечеткого логического вывода Мамдани [9] производится (в рамках решения задачи анализа) компонентом *Машина вывода*, после чего ее результат (в виде оценки хода выполнения программы и рекомендаций по ее возможной корректировке) передается в область рабочей памяти (*Доска объявлений*) и далее (через компонент *Лингвистический процессор*) передается пользователю *Аналитик*, поставившему задачу. По специальному запросу *Аналитик* может получить формируемое специальным компонентом (*Компонент объяснений*) обоснование результатов, что может служить дополнительной проверкой корректности работы системы и повышает доверие к выработанным рекомендациям.

### **Заключение**

Применение программного подхода для решения задач устойчивого развития региональной экономики и социальной сферы обусловлено высокими требованиями к управлению социальными, экологическими, экономическими, технологическими и научно-инновационными процессами в рамках реализации программ частно-государственного партнерства. Необходимый уровень управления не может быть достигнут без широкого использования современных цифровых интеллектуальных технологий.

В работе рассмотрена задача разработки инструментария интеллектуальной поддержки мониторинга и анализа реализации программ регионального развития с учетом высокого уровня неопределенности, обусловленного как спецификой социально-экономических процессов, так и возможными изменениями внешних условий. Успешность выполнения

отдельных этапов программы предложено оценивать по степени достижения нормативных значений целевых показателей, для чего использован аппарат представления знаний о предметной области в виде лингвистических переменных, описывающих показатели, и нечетких продукционных правил, определяющих связи между показателями. Использование интерпретируемой процедуры нечеткого логического вывода Мамдани дает возможность формирования объяснений хода рассуждений при получении (логическом выводе) значений показателей, которые не могут быть непосредственно измерены.

Предложенные проектные решения использованы при разработке интеллектуальной информационной системы мониторинга и анализа выполнения программ. Предварительные результаты опытной эксплуатации исследовательского прототипа разработанной системы могут служить подтверждением эффективности ее использования при управлении программами регионального социально-экономического развития. Дальнейшие исследования в данном направлении предлагается развивать, дополняя функционал системы возможностями модификации программ на основе экспертных суждений, а также моделей и методов эволюционного синтеза дискретных систем с заданным поведением [10,11], что позволит осуществлять своевременную поддержку корректировки региональной социально-экономической политики при изменении условий ее реализации.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00855А.*

### **Литература**

1. Blewitt J. Understanding sustainable development. London: Routledge, 2017. 426 p.
2. Зильберова И.Ю., Томашук Е.А., Бобкина В.А. Формирование эффективной организационно - технической структуры реализации целевых



программ // Инженерный вестник Дона, 2020, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6298/.

3. Ломазов В.А., Нестерова Е.В. Критерии оценки социальных инвестиционных инновационных проектов в сфере здравоохранения // Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал). 2013. № 8. С. 48.

4. Беляков С.А. Куклин В.Ж., Токарева Г.С. Анализ целей и задач региональных программ развития образования // Экономика образования, 2015. № 2, с.81-91.

5. Турьянский А.В., Ужик В.Ф., Чугай Д.Ю., Китаёв Ю.А. Проблемы социально-экономического развития села Белгородской области и пути их решения. Белгород: БелГАУ, 2010. 111 с.

6. Белов В.М., Пивкин, Грищенко Л.А., Архипова А.Б. Гибридный метод оценивания качества социально значимой деятельности // Инженерный вестник Дона, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6821/.

7. Halpern J. Y. Reasoning about uncertainty. Cambridge: MIT Press, 2003. 497 p.

8. Zadeh L. A. The role of soft computing and fuzzy logic in the understanding, design and development of information, intelligent systems // News of Artificial Intelligence. 2001. №2-3. 7.

9. Mamdani E. H. Applications of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant // Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1974. 121(12). Pp. 1585–1588.

10. Жилияков Е.Г., Ломазова В.И., Ломазов В.А. Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем // Информационные системы и технологии. 2010. № 6 (62). С. 66-70.

11. Петросов Д.А., Ломазов В.А., Басавин Д.А. Эволюционный синтез систем на основе заданной элементной базы компонентов // Научные

---



ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 2015. № 7 (204). С. 116-124.

### References

1. Blewitt J. Understanding sustainable development. London: Routledge, 2017. 426 p.
2. Zilberova I.Yu., Tomashuk E.A., Bobkina V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6298/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2020/6298/).
3. Lomazov V.A., Nesterova Ye.V. Sovremennyye issledovaniya sotsial'nykh problem (elektronnyy nauchnyy zhurnal), 2013. № 8. P. 48.
4. Belyakov S.A. Kuklin V.Zh., Tokareva G.S. Ekonomika obrazovaniya, 2015. № 2, Pp. 81-91.
5. Tur'yanskiy A.V., Uzhik V.F., Chugay D.Yu., Kitayov Yu.A. Problemy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya sela Belgorodskoy oblasti i puti ikh resheniya. [Problems of socio-economic development of the village of the Belgorod region and ways to solve them]. Belgorod: BelGAU, 2010. 111 p.
6. Belov V.M., Pivkin Ye.N, Grishchenko L.A., Arkhipova A.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6821/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6821/).
7. Halpern J. Y. Reasoning about uncertainty. Cambridge: MIT Press, 2003. 497 p.
8. Zadeh L. A. News of Artificial Intelligence. 2001. №2-3. 7.
9. Mamdani E. H. Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, 1974. 121(12). Pp. 1585-1588.
10. Zhilyakov Ye.G., Lomazova V.I., Lomazov V.A. Informatsionnyye sistemy i tekhnologii, 2010. № 6 (62). Pp. 66-70.
11. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Basavin D.A. Nauchnyye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika, 2015. № 7 (204). Pp. 116-124.