

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Н.В. Дилигенский, М.В. Цапенко, А.Н. Давыдов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: usat@samgtu.ru

Работа посвящена вопросам разработки методологии выявления перспективных направлений научных исследований на основе многокритериального оценивания эффективности выполнения научных работ.

Ключевые слова: приоритетные направления развития науки, многокритериальное оценивание, эффективность научных исследований.

Проблема выявления перспективных направлений научных исследований в России и за рубежом является весьма актуальной, поскольку ее решение необходимо для обоснования целесообразности создания инновационной продукции, конкурентоспособной на современных рынках наукоемких товаров и услуг.

Эффективность научных исследований характеризуется значительным числом частных показателей, и общепринятого подхода к их агрегированию и к построению обобщенных критериев не существует. Рассмотрим один из возможных вариантов многокритериального оценивания и выявления перспективных направлений деятельности научных коллективов.

На республиканском уровне в целях модернизации и технологического развития российской экономики, повышения ее конкурентоспособности Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 утверждены приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации:

- 1) безопасность и противодействие терроризму;
- 2) индустрия наносистем;
- 3) информационно-телекоммуникационные системы;
- 4) науки о жизни;
- 5) перспективные виды вооружения, военной и специальной техники;
- 6) рациональное природопользование;
- 7) транспортные и космические системы;
- 8) энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика.

Эти приоритетные направления формируют государственную политику в сфере научной деятельности.

Рассмотрим подход к выявлению перспективных научных исследований на основе определения степени их близости (соответствия) общегосударственным приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники.

Меру степени соответствия (принадлежности) определим на основе применения методологий когнитивного анализа и многокритериального оценивания. Подход к

Николай Владимирович Дилигенский (д.т.н., проф.), зав. кафедрой, каф. управления и системного анализа в теплоэнергетике.

Михаил Владимирович Цапенко (к.э.н., доц.), доцент, каф. управления и системного анализа в теплоэнергетике.

Андрей Николаевич Давыдов (к.т.н., доц.), заместитель проректора по научной работе.

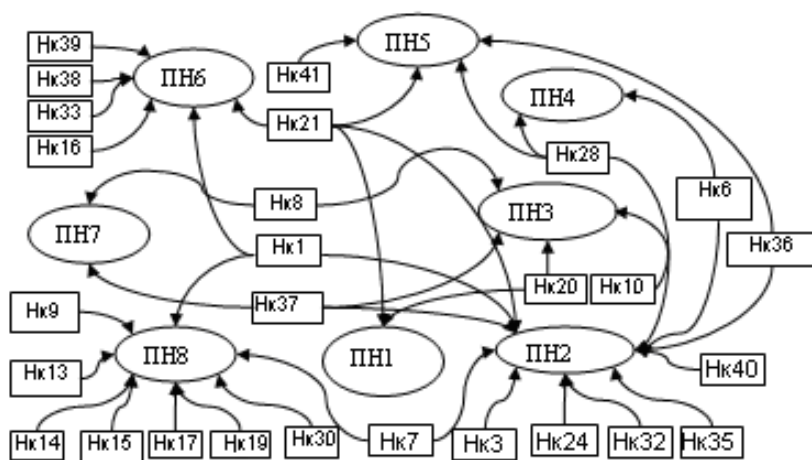
выявлению перспективных направлений изложим на примере изучения спектра научной деятельности крупного научного учреждения, в котором сформирован 41 научный коллектив с разнообразной тематикой.

Для выявления структуры взаимосвязей между приоритетными направлениями (ПН) развития науки и технологий и тематикой исследований научных коллективов (НК) построим взвешенную когнитивную карту (ориентированный взвешенный оргграф) с узлами – совокупностью научных направлений $ПН_i$ ($i = 1, 2 \dots 8$ – порядковый номер приоритетного направления в Указе Президента РФ) и научных коллективов $НК_n$ ($n = 1, 2 \dots 41$ – нумерация научных коллективов) и дугами – существующими связями между $ПН_i$ и $ПН_j$.

Анализ тематики работ научных коллективов, проведенный экспертным оцениванием на основе выполняемых тем, проектов и программ, показал, что выявляется класс из 27 научных коллективов, работающих по проблематике, соответствующей приоритетным направлениям.

При этом 9 коллективов выполняют научные исследования по нескольким направлениям – 5 НК по двум, 3 НК по трем и один научный коллектив – по четырем ПН. Исследования, проводимые в 14 научных коллективах, не отвечают приоритетным направлениям.

На основе проведенного анализа построена когнитивная карта, представляющая систему связей между тематикой работ научных коллективов $НК_n$ и перспективными направлениями $ПН_i$ (рис. 1).



Р и с. 1. Когнитивная карта взаимодействий

Она дает качественную картину взаимодействий перспективно-ориентированных научных исследований, показывает структурный вклад каждого из 27 научных коллективов в соответствующие приоритетные направления развития науки, технологий и техники.

Когнитивная карта выявляет каналы влияния выполняемых научных работ. Так, по проблематике приоритетного направления «Безопасность и противодействие терроризму» выполняют научные исследования два коллектива, «Индустрия наносистем» – двенадцать коллективов, «Информационно-телекоммуникационные системы» – четыре, «Науки о жизни» – два, «Перспективные виды вооружений, военной и специальной техники» – четыре, «Рациональное природопользование» – шесть,

«Транспортные и космические системы» – два, «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» – девять научных коллективов.

При этом по каждому каналу связи «приоритетное направление – научный коллектив» количественный вклад проводимых исследований может существенно различаться и зависит от научного потенциала коллектива.

Для учета этого фактора оснастим ветви оргграфа когнитивной карты весовыми коэффициентами, характеризующими интенсивность воздействий по соответствующим каналам, т. е. построим взвешенную когнитивную карту. В качестве весовых коэффициентов возьмем показатели глобальной, обобщенной эффективности научных коллективов. Критерий обобщенной эффективности сформируем на основе 11 частных показателей результативности научной деятельности коллективов, характеризующих объем и уровень выполняемых работ, приоритеты интеллектуальной собственности, количество выигранных грантов, полученных наград, значимость публикаций, защиту диссертаций и т. д. Совокупность этих частных показателей для научных коллективов приведена в табл. 1.

Свертку разнородных частных показателей в глобальный критерий проведем на основе методологии *DEA* [1], [2], [3], позволяющей получать обобщенные оценки эффективности без использования информации о рангах (значимостях) частных разнородных критериев путем решения соответствующих задач математического программирования.

Задачу для отыскания обобщенного критерия эффективности научного исследования сформулируем в виде функционала эффективности для n -го научного коллектива

$$f_n = \max_{u_{in} \in G} (u_{1n}y_{1n} + u_{2n}y_{2n} + \dots + u_{kn}y_{kn}) \quad (1)$$

и системы ограничений, определяющей область значений G весовых коэффициентов u_{in} :

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{11} \cdot y_{11} + u_{21} \cdot y_{21} + u_{31} \cdot y_{31} + \dots + u_{k1} \cdot y_{k1} \leq 1, \\ u_{12} \cdot y_{12} + u_{22} \cdot y_{22} + u_{32} \cdot y_{32} + \dots + u_{k2} \cdot y_{k2} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ u_{1n} \cdot y_{1n} + u_{2n} \cdot y_{2n} + u_{3n} \cdot y_{3n} + \dots + u_{kn} \cdot y_{kn} \leq 1, \\ u_{in} \geq 0, \\ k = \{1, 2 \dots 11\}; n = \{1, 2 \dots 41\}. \end{array} \right. \quad (2)$$

В (1), (2) y_{kn} – удельные относительно численности научных работников 11 частных показателей эффективности 41 научного коллектива. Постановка (1), (2) является задачей линейного математического программирования.

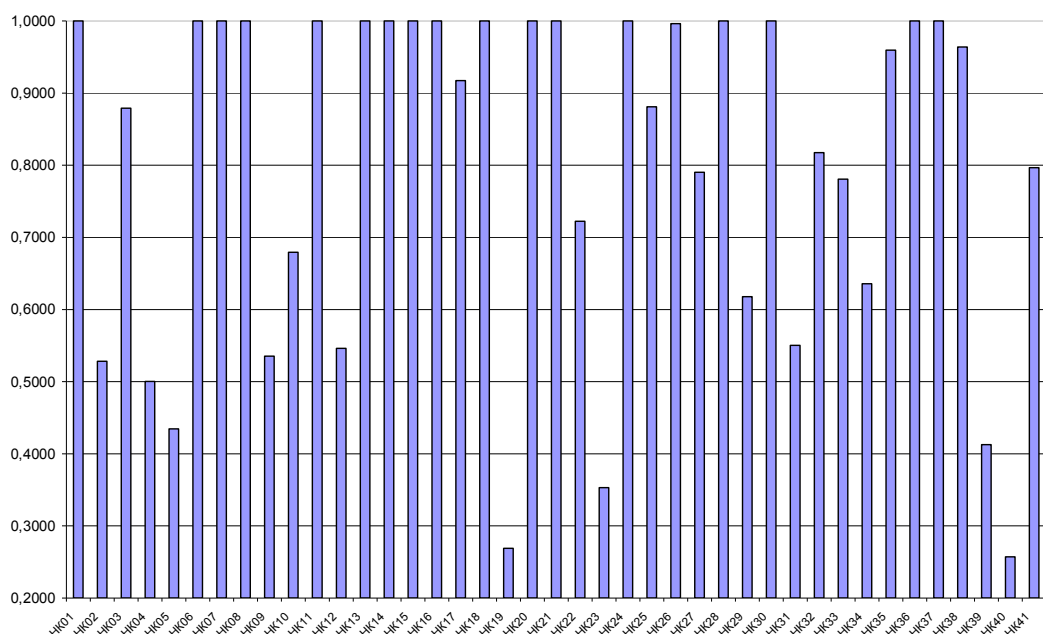
Методам решения задач нелинейного математического программирования типа (1), (2) посвящено достаточно большое количество работ [4], [5], [6], в которых выявлена специфика постановок (1), (2), исследована неединственность решений как относительно значений функционалов f_n , так и относительно весов u_k , v_m , а также разработаны конструктивные способы решений.

Таблица 1

Частные показатели эффективности научных коллективов

№№	Монографии	Статьи	Защиты	Руководство защитами	НТП	Гранты	НИР	Интел. собств.	Научные меро-я.	Связи с организациями	Дисс. советы	ДЕА оценка
НК01	0.00	17.63	1.57	6.43	2.00	0.08	8.04	0.44	3.50	1.40	1.93	1,0000
НК02	2.32	8.36	1.00	1.25	0.24	0.25	0.94	0.30	0.00	0.00	2.00	0,5282
НК03	1.95	20.84	0.75	1.53	0.40	0.00	3.67	0.33	1.50	0.70	1.42	0,8791
НК04	0.00	2.27	0.75	0.00	0.00	0.00	0.07	0.06	0.00	5.80	0.00	0,5003
НК05	1.27	7.90	2.00	2.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.70	0.87	0,4345
НК06	0.17	25.04	0.00	4.13	3.54	0.63	35.08	1.19	0.92	12.13	4.00	1,0000
НК07	0.00	7.35	4.58	2.53	2.79	2.01	12.42	0.34	0.74	3.85	0.67	1,0000
НК08	0.00	7.02	3.30	3.67	0.83	0.38	9.00	0.12	0.52	10.95	1.15	1,0000
НК09	0.78	7.50	2.59	1.33	0.00	0.00	0.89	0.17	0.00	0.90	1.83	0,5353
НК10	0.20	3.48	0.38	0.69	0.18	0.03	0.66	0.35	1.62	4.00	1.90	0,6794
НК11	5.50	22.92	3.36	12.08	1.42	1.05	16.92	0.00	2.17	2.00	1.95	1,0000
НК12	0.09	3.89	1.10	0.92	0.00	0.00	2.76	0.33	1.75	0.00	0.00	0,5461
НК13	1.09	12.80	3.36	10.25	2.13	1.49	11.28	0.00	1.25	6.40	3.55	1,0000
НК14	2.31	15.44	2.93	1.67	0.12	0.01	4.95	3.36	0.00	0.30	1.13	1,0000
НК15	1.67	12.10	4.77	4.09	1.17	3.26	11.36	0.77	0.48	5.05	3.97	1,0000
НК16	0.31	6.52	3.75	4.13	0.20	0.24	33.27	0.39	2.97	1.45	1.67	1,0000
НК17	0.23	13.88	2.93	7.50	0.15	0.67	6.17	0.00	0.00	2.00	3.58	0,9173
НК18	4.27	15.43	1.43	11.79	0.00	0.17	0.00	0.00	3.36	0.35	0.13	1,0000
НК19	0.00	5.25	0.00	0.54	0.00	0.00	4.68	0.50	0.31	1.00	0.40	0,2690
НК20	1.52	18.70	2.06	12.38	0.00	0.64	3.12	0.28	0.99	3.03	3.62	1,0000
НК21	1.10	8.71	6.88	2.44	5.25	0.12	27.67	1.16	0.67	3.15	1.50	1,0000
НК22	0.00	5.54	0.92	0.63	0.06	0.08	0.93	0.31	1.00	1.33	2.93	0,7224
НК23	0.81	6.97	0.39	2.95	0.00	0.33	0.48	0.00	0.33	0.00	1.27	0,3530
НК24	0.40	22.68	4.03	2.75	0.02	0.00	11.16	0.10	0.42	2.50	1.58	1,0000
НК25	1.03	4.09	2.25	4.20	0.03	0.07	0.00	0.00	1.41	5.90	2.40	0,8810
НК26	3.98	11.83	0.00	12.15	0.02	0.08	0.61	0.07	1.67	0.90	1.07	0,9964
НК27	0.71	12.25	3.83	3.92	1.08	0.37	7.46	0.84	0.00	0.00	1.20	0,7903

№№	Монографии	Статьи	Защиты	Руководство защитами	НТП	Гранты	НИР	Интел. собств.	Научные мероп-я.	Связи с организаци- ями	Дисс. советы	DEA оценка
НК28	0.00	20.62	4.03	2.02	0.48	0.08	7.19	0.54	0.10	1.30	3.58	1,0000
НК29	0.00	3.10	0.00	0.69	0.35	0.31	7.69	0.92	1.08	1.25	0.00	0,6179
НК30	7.89	10.71	0.56	5.25	0.00	0.01	4.10	0.11	1.33	3.40	4.47	1,0000
НК31	0.49	11.53	0.90	0.00	0.00	0.27	0.36	1.01	0.00	0.10	0.00	0,5502
НК32	2.74	6.09	2.06	4.27	0.23	0.52	3.20	0.64	0.05	4.30	3.00	0,8174
НК33	0.01	19.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.58	0,7808
НК34	2.18	8.25	2.75	2.29	0.03	0.00	0.64	0.00	1.23	0.55	0.73	0,6356
НК35	0.00	13.70	3.30	0.90	0.88	0.00	4.64	0.17	1.40	5.50	2.50	0,9594
НК36	1.15	9.08	5.70	5.68	0.50	0.00	1.71	0.08	0.00	0.70	2.17	1,0000
НК37	0.77	8.22	1.11	4.58	0.56	0.00	8.72	0.28	0.00	1.30	5.58	1,0000
НК38	0.18	10.81	0.00	0.00	0.05	0.00	1.74	1.57	1.78	2.36	1.07	0,9639
НК39	1.24	3.73	1.83	0.34	0.70	0.00	3.24	0.14	0.15	1.80	0.00	0,4126
НК40	0.00	1.88	0.90	0.75	0.48	0.08	6.98	0.17	0.00	0.00	0.80	0,2572
НК41	0.05	7.65	0.92	1.53	0.17	0.00	27.50	0.58	0.08	0.00	1.00	0,7966



Р и с. 2. Рейтинг научных коллективов

Результаты решения 41 задачи математического программирования в виде *DEA* оценок обобщенной эффективности деятельности научных коллективов, полученные на основе подхода, предложенного в [7], также приведены в табл. 1 и представлены на рис. 2.

Они выявляют 17 научных коллективов с максимальной эффективностью $f = 1$, образующих Парето – оптимальное множество. При этом тематика 15 Парето – эффективных коллективов отвечает приоритетным направлениям науки, технологий и техники. Анализ полученных обобщенных *DEA* оценок также выявляет, что по приоритетным направлениям работают более квалифицированные научные коллективы. Усредненный научный потенциал этих 27 коллективов $f = 0,8716$ выше, чем у других 14 коллективов $f = 0,6826$, более чем на 25 %.

Полученные обобщенные показатели возьмем в качестве весов во взвешенном орграфе, отвечающем когнитивной карте (рис. 1).

На их основе вклад научных коллективов в приоритетное i -тое направление развития науки, технологий и техники B_i будем характеризовать научным уровнем выполняемых работ и интегральным научным потенциалом проводящих исследования коллективов.

Научный уровень определим как среднюю величину *DEA*-оценок эффективности N ветвей орграфа, входящих в соответствующий концепт когнитивной карты

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N DEA(HK_n^i), i = 1, 2, \dots, 8. \quad (3)$$

Научный потенциал обеспечения i -того приоритетного направления определим суммарным вкладом эффективностей коллективов, работающих по соответствующей проблематике, взятых с весами, отвечающими долям участия коллективов в работах анализируемого направления,

$$P_i = \sum_{n=1}^N \frac{1}{M_n} DEA(HK_n^i), i = 1, 2 \dots 8, \quad (4)$$

где M_n – число приоритетных направлений, по которым выполняются исследования в n -том научном коллективе.

Результаты расчетов по (3), (4) в соответствии со структурой оргграфа рис. 1 и обобщенными DEA-оценками табл. 1, нормированные на интервале $[0, 1]$, приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Научное обеспечение приоритетных направлений

№	Приоритетные направления	Научный уровень исследований	Научный потенциал коллективов	Системный вклад научного учреждения	Ранги приоритетов направлений
1	Безопасность и противодействие терроризму	1,0000	0,1126	0,5826	7
2	Индустрия наносистем	0,9094	1,0000	1,0000	1
3	Информационно-телекоммуникационные системы	0,9199	0,3021	0,6400	5
4	Науки о жизни	1,000	0,3021	0,5892	6
5	Перспективные виды вооружения, военной и специальной техники	0,9492	0,2821	0,6449	4
6	Рациональное природопользование	0,8596	0,5609	0,7440	3
7	Транспортные и космические системы	1,0000	0,1251	0,5892	6
8	Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика	0,8580	0,9564	0,9502	2

Анализ полученных показателей выявляет степень соответствия направлений перспективных исследований научных коллективов национальным приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники. Видно, что наибольший вклад научное учреждение вносит в проведение исследований по приоритетному направлению «Индустрия наносистем» и несколько меньший – в направление «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика». Вклад в развитие других приоритетных направлений меньше на 25-40 %.

Настоящее исследование проведено в рамках выполнения Государственного контракта Минобразования и науки РФ № 16.740.11.0749.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. HANDBOOK ON DATA ENVELOPMENT ANALYSIS edited by: *William W. Cooper, Lawrence M. Seiford, Joe Zhu* // Kluwer Academic Publishers, 2004 – 593 p.
2. *Farrel M.J.* The Measurement of Productive Efficiency // Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General), Vol. 120, Part III, 1957, 253 – 281 p.
3. *Charnes A., Cooper W., Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, pp. 429 – 444.

4. *Banker R.D., Charnes A, Cooper W.* Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis // *Management Science*, Vol. 30, No. 9, 1984, pp. 1078–1092.
5. *Дилигенский Н.В., Цапенко М.В.* Математическое моделирование и обобщенное оценивание эффективности производственно-экономических систем // *Труды VI Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*. Самара, СНЦ РАН. – 2004. – С. 96-106.
6. *Дилигенский Н.В., Цапенко М.В.* Методология DEA: оценка эффективности экономических объектов, анализ метода и свойств решений // *Межвузовский сборник научных трудов «Высшее образование, бизнес, предпринимательство – 2001»*. Самара, СамГТУ, Поволжский институт бизнеса. – 2001. – С. 149-159.
7. *Дилигенский Н.В., Цапенко М.В., Давыдов А.Н.* Методология и технологии формирования и классификации знаний о деятельности научных коллективов // *Труды XII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах»*. Самара, СНЦ РАН. – 2011. – С. 95-103.

Статья поступила в редакцию 4 октября 2011 г.

MULTICRITERION METHODOLOGY IDENTIFYING PROMISING LINES OF RESEARCH PERSPECTIVE

N.V. Diligensky, M.V. Tsapenko, A.N. Davydov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100

This paper describes the development of a methodology to identify promising lines of research based on multi-criteria evaluation of the effectiveness of scientific researches.

Keywords: *priorities for the development of science, multicriteria evaluation, the effectiveness of scientific research.*

*Nikolay V. Diligensky (Dr. Sci. (Techn.)), Head of Dept.
Mihail V. Tsapenko (Ph.D. (Techn.)), Associate professor.
Andrey N. Davydov (Ph.D. (Techn.)), Head of Dept.*