

## ИНДИКАТОР ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Спиридонова А. В., Фирстов Ю. П., Хусниyarов М. Р.

*«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия (115409, Москва, Каширское ш., д. 31)*

---

Предложен индикатор для прогнозирования кластера исследовательских единиц, поддерживающих научно-технологическое направление «нанозлектроника». С помощью экспертного исследования определен состав рубрик, в наибольшей степени влияющих на развитие направления «нанозлектроника» в НИЯУ МИФИ. Собрана статистика статей, выпущенных на исследуемых кафедрах по этим рубрикам в течение 7-и лет. Определен состав наиболее значимых рубрик. Разработан индикатор согласованности деятельности кластера кафедр, работающих по развитию научно-технологического направления «нанозлектроника». На его основе можно оценивать и прогнозировать развитие научно-технологического направления в университете. Результаты исследования показывают достаточную согласованность работы кафедр. Разработана стратегия развития, повышающая уровень согласованности (а значит и темпов развития). Это позволяет прогнозировать дальнейшую стратегию развития кластера научно-технологического направления.

---

Ключевые слова: индикатор, кластер, статистика, прогнозирование.

## INDICATOR FOR PREDICTION OF SCIENCE-TECHNOLOGY TRENDS PREDICTION

Firstov Y. P., Khusniyarov M. R., Spiridonova A. V.

*“National Research Nuclear University «MEPHI»”, (Kashirskoyeshosse 31, Moscow, 115409, Russian Federation)*

---

An indicator for the research units cluster prediction was proposed which supports "nanotech" scientific technological direction. Composition of groups which influence the most on Nano electronics development in NIYU was determined via expert study. Papers issued by the departments of investigation on these headings for 7 years were statistically collected. Composition of the most important headings was determined. Coherence indicator of working in nanotechnology areas departments' cluster was designed. The results show sufficient departments coherence. Strategy, which increases consistency level (and rates of development as well) was created. This allows you to predict future cluster development strategy.

---

Key words: indicator, cluster, statistics, forecasting.

Развитие нового поколения массовых технологий (например, nanoиндустрии) является следствием и инструментом формирования нового технологического уклада. Поэтому организация сектора НИОКР современных инновационных университетов должна соответствовать принципам и моделям, присущим экономике инноваций [1,2,3]. Его особенность состоит в том, что он должен представлять комплекс взаимосогласованных исследовательских единиц (т. н. кластер), поддерживающих научно-технологическое направление. Развитие технико-экономического направления, например в университете, должно прогнозироваться как развертывание деятельности кластера исследовательских единиц. Важно определить способ описания кластеров исследовательских единиц и разработать критерий оценки их развития. В НИЯУ МИФИ основными исследовательскими единицами являются кафедры, имеющие комплексы исследовательских групп и лабораторий. Кафедры объединяются в факультеты, поддерживающие развитие крупных научно-технологических направлений.

Для описания состава кластера кафедр нужно определить метод сопоставления элементов в кластере. Он определяется следующей важной особенностью систем, развивающихся как инновационные. Необходимо должен проявляться устойчивый комплекс доминирующих направлений (рубрик), по которым происходит их совершенствование. Доминирующие рубрики непосредственно поддерживают развитие друг друга. Например, уменьшение размера транзистора в интегральных схемах (рубрика 1) создает условия для совершенствования методов производства (рубрика 2) [2,3]. Вместе с тем создание новых методов производства (рубрика 2) создает условие для дальнейшего уменьшения размера транзистора (рубрика 1). Исследования по этим рубрикам поддерживают друг друга. В кластере взаимосвязанных кафедр происходит совместное развитие знаний выбранного направления. Каждая из них поддерживает развитие знаний по отдельным группам базовых рубрик в достаточной полноте. Скорость формирования системы знаний (по всему комплексу рубрик) определяется, прежде всего, согласованностью их совершенствования по доминирующим рубрикам.

При этом если состав направлений исследований кафедр слишком различается, то связи между ними теряются. Исследовательские единицы перестают выступать как единый согласованный «фронт». Если состав рубрик слишком однороден, то стирается различие и теряется эффективность работы комплекса исследовательских единиц. Вопрос состоит в определении свойств кафедр, создающих эффективную кооперацию (кластер), поддерживающую быстрое развитие.

Его удобно исследовать на примере группы кафедр, работающих в области нанoeлектроники, поскольку нанoeлектроника является результатом и инструментом формирования нового технико-экономического уклада [3,4]. В качестве объекта исследования выбран один из ведущих вузов в указанной области – национальный исследовательский ядерный университет НИЯУ МИФИ [5].

Прежде всего, нужно выявить базовые рубрики. Для этого проанализируем публикации кафедр по нанoeлектронике.

В результате статистической обработки экспертных мнений были выделены основные рубрики (табл. 1), по которым осуществляется совместная деятельность кафедр НИЯУ МИФИ в области нанoeлектроники.

*Таблица 1. Рубрики развития нанoeлектроники в НИЯУ (сокращенный вариант)*

<b>Наименование рубрики</b>
Разработка универсальных цифровых БИС

Технология производства цифровых БИС
Разработка аналогово-цифровых БИС
Технология производства аналогово-цифровых БИС
Микроэлектронные датчики и сенсорные системы
Применения универсальных БИС
Применение специализированных БИС
Приборы натуральных исследований и средства моделирования
Материалы нанoeлектроники
Радиационная стойкость БИС

Поскольку радиационная стойкость (и отчасти новые материалы нанoeлектроники) является тематикой, сопряженной с секретностью, то в данной статье результаты деятельности по соответствующим рубрикам не приводятся.

Приведем статистику публикаций НИЯУ МИФИ в журналах ВАК по выбранным рубрикам за 2005–2011 годы (табл. 2).

Таблица 2. Статистика публикаций по полугодиям (сокращенный вариант)

Рубрика	Год (полугодия)													
	2005		2006		2007		2008		2009		2010		2011	
1.Разработка цифровых больших интегральных схем (БИС).	1	1	1	2	3	1	2	2	2	3	2	2	1	3
2.Технологии производства цифровых БИС	0	1	1	0	2	1	1	2	1	2	3	3	2	3
3.Разработка аналого-цифровых и специальных БИС.	1	0	1	2	1	0	3	3	2	4	2	1	2	2
4.Технологии производства аналого-цифровых и специальных БИС	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	3	2	2	2
5.Микроэлектронные датчики и сенсорные системы.	1	0	1	1	1	0	1	2	2	3	3	0	3	2
6.Применение универсальных БИС.	2	1	1	2	1	1	1	1	2	4	3	2	1	2
7.Применение специализированных БИС.	1	0	2	2	1	0	1	0	1	2	2	1	3	1
8.Приборы для натуральных исследований и средства моделирования.	1	0	1	1	1	2	3	2	2	4	3	3	1	3
9.Приборы для испытаний БИС в массовом производстве.	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1

Поскольку в разработках схмотехники современной электроники, основанной на системах автоматизации проектирования, проектирование содержания цифровых СБИС и

ядра вариантов их применения представляют практически одно целое, то в дальнейшем мы объединим рубрики 1 и 6, а также 3 и 7.

Для анализа согласованности группы кафедр как кластера нужно выбрать состав рубрик, вносящих наибольший вклад в развитие системы кафедр как целого и оценить уровень их влияния, т.е. определить вес в сводном индикаторе.

Для этого проанализированы корреляции временных рядов, представленных строками таблицы 2 [6]. Определен блок рубрик, имеющих наибольшее влияние на развитие нанoeлектроники в НИЯУ МИФИ (таблица 3).

Таблица 3. Веса значимости базовых рубрик<sup>1</sup>

Рубрика	Вес в сводном индикаторе
1. Разработка и применение цифровых больших интегральных схем (БИС).	0,2
2. Технологии производства цифровых БИС	0,1
3. Разработка и применение аналого-цифровых и специальных БИС.	0,2
4. Технологии производства аналого-цифровых и специальных БИС	0,1
5. Микроэлектронные датчики и сенсорные системы.	0,1
6. Приборы для натуральных исследований и средства моделирования.	0,1
7. Приборы для испытаний БИС в массовом производстве.	0,05

Рассмотрим комплекс кафедр на предмет его соответствия структуре идеального кластера. Рассмотренными выше рубриками исследований занимаются кафедры, описанные в таблице 4.

Таблица 4. Описание областей деятельности кафедр

Номер кафедры	Область деятельности кафедры в наноиндустрии
70	Наноматериалы, физика материалов, технологии производства.
27	Новые технологии производства БИС, особенности схемотехники и организации БИС в связи с применением новых технологий.
3	Схемотехника БИС, применения, испытания и моделирование.
26	Разработка организации БИС и изучение их использования в новых применениях.
2	Применение БИС в сложных технических системах.

Каждая кафедра ведет исследования по определенной совокупности свойственных ей рубрик с разной степенью интенсивности. При этом устанавливается естественный порядок передачи знаний между кафедрами (представленный их порядком в таблице 4). Действительно, результаты, полученные в области физики наноматериалов (каф 70) прежде всего используются в исследовании новых технологий производства (каф 27). Результаты исследования новых технологий производства используются для разработки новой схемотехники БИС (каф 3 и 27) и т. д.

<sup>1</sup> Сумма весов не равна 1 по причине отсутствия информации о работах по радиационной стойкости.

Для разных кафедр разные рубрики имеют разную степень значимости (влияния) в деятельности кафедр. В таблице 5 приведены полученные опросом экспертов ранги влияния (доминирования) рубрик в исследовательской деятельности кафедр (наибольший ранг соответствует 5).

Таблица 5. Уровень значимости рубрик для кафедр

Рубрика	Кафедра 27	Кафедра 3	Кафедра 26	Кафедра 70	Кафедра 2
1.Разработка и применение цифровых больших интегральных схем (БИС).	5	4	3		1
2.Технологии производства цифровых БИС	4	1		5	
3.Разработка и применение аналого – цифровых и специальных БИС.	2	5	2		3
4.Технологии производства аналого-цифровых и специальных БИС	3	2	1	4	
5.Микроэлектронные датчики и сенсорные системы.	1		5	3	4
6.Приборы для натуральных исследований и средства моделирования.	1	3	4	2	5
7.Приборы для испытаний БИС в массовом производстве.				1	2

Уровень значимости связан, например, с активностью публикаций. Активности публикаций кафедр по разным рубрикам должны соответствовать величине ранга значимости. Если кластер идеальный, то ни одна из кафедр не является «отстающей». Поэтому можно полагать, что объемы публикаций по рубрикам соответствуют рангу рубрики. Тогда величина ранга значимости рубрики для кафедры в идеальном кластере должна определять число сделанных по ней публикаций (таблица 6).

Для того чтобы элементы кластера составляли единое целое в процессе создания знаний по некоторой рубрике нужно выполнение условия их согласованности. Оно состоит в том, что величины активности публикаций по одной рубрике для разных кафедр должны соотноситься между собой по ранговому распределению /7,8/, т.е. соответствовать, например, 2 в степени n. Поэтому в идеальном кластере распределение публикаций в рубрике по кафедрам должно соответствовать ранговому распределению (например, как в таблице 6).

Таблица 6. Пример соотношения рангов и величин активности публикаций по одной рубрике в идеальном кластере

Рубрика	Кафедра 27	Кафедра 3	Кафедра 26	Кафедра 70	Кафедра 2

1. Разработка цифровых больших интегральных схем (БИС).	Ранг 4	Ранг 3	Ранг 2		Ранг 1
	Оценка активности 16	Оценка активности 4	Оценка активности 2		Оценка активности 1

Определим распределение публикаций по всем рубрикам и кафедрам для идеального кластера. Установим значения активности публикаций в соответствии со значениями рангов, представленных в таблице 5. Получим соответствующую таблицу распределения активности публикаций для идеального кластера (таблица 7). Следует отметить, что в таблице 7 некоторые строки содержат не 5 элементов (как следует для совершенно идеального кластера), но лишь 4. Это связано с тем, что имеющаяся совокупность кафедр и набор рубрик не полны [2]. Это не позволяет определить совершенно идеальную модель. Поэтому примем модель, представленную таблицей 7 в качестве достаточно идеальной.

Таблица 7. Соотношение величин активностей исследований по рубрикам для идеального кластера

Рубрика	Кафедра 27	Кафедра 3	Кафедра 26	Кафедра 70	Кафедра 2
1. Разработка и применение цифровых больших интегральных схем (БИС).	32	16	8		2
2. Технологии производства цифровых БИС	8	4	2	16	
3. Разработка и применение аналого-цифровых и специальных БИС.	8	32	1		16
4. Технологии производства аналого-цифровых и специальных БИС	4	2	1	8	
5. Микроэлектронные датчики и сенсорные системы.	1		16	2	8
6. Приборы для натуральных исследований и средства моделирования.		2	8	4	16
7. Приборы для испытаний БИС в массовом производстве.				1	1

Теперь нужно сопоставить сконструированную таблицу 7 с таблицей реальных данных по комплексу кафедр. В таблице 8 приведены реальные статистические данные о публикациях кафедр по доминирующим рубрикам. В целом, объем публикаций отражает активность исследований по рубрике. Однако в ряде случаев могут быть опубликованы малосодержательные статьи для формальной отчетности. Поэтому для оценки активности исследований нужно принять во внимание объем финансирования, который удается получить кафедре для проведения исследований по рубрике. Анализ соответствия объемов

<sup>2</sup> В частности, вследствие того, что по соображениям секретности исключены рубрики, связанные с разработкой новых материалов нанoeлектроники и радиационной стойкостью.

публикаций и объемов финансирования для НИЯУ МИФИ показал устойчивое наличие пропорциональности объемов финансирования и числа публикаций. Это позволяет предположить, что число «пустых» статей невелико. При анализе активности исследований можно полагаться на статистику публикаций.

*Таблица 8. Число статей, опубликованных кафедрами по каждой рубрике*

Можно оценить соответствие выбранной группы кафедр модели вполне идеального кластера. Для этого вычислены коэффициенты ранговой корреляции между одноименными строками идеальной матрицы (таблица 7) и реальной (таблица 8). Затем полученные коэффициенты корреляции просуммированы с учетом коэффициентов вклада рубрики в

<b>Рубрика</b>	<b>Кафедра 27</b>	<b>Кафедра 3</b>	<b>Кафедра 26</b>	<b>Кафедра 70</b>	<b>Кафедра 2</b>
1. Разработка и применение цифровых больших интегральных схем (БИС).	21	12	5	0	5
2. Технологии производства цифровых БИС	10	3	1	7	
3. Разработка и применение аналого – цифровых и специальных БИС.	23	8	0	0	11
4. Технологии производства аналого-цифровых и специальных БИС	4	2	1	7	0
5. Микроэлектронные датчики и сенсорные системы.	5	2	3	0	2
6. Приборы для натуральных исследований и средства моделирования.	5	13	5	0	0
7. Приборы для испытаний БИС в массовом производстве.	0	2	1	1	1

общее развитие (представленных в таблице 3). После нормирования полученный результат соответствия составил 0,5 (в идеале он равен 1). Это означает, что деятельность кафедр пока не слишком согласована. Нужно рассмотреть вопрос об оптимизации состава рубрик и установлении баланса исследовательской активности по ним. Приближение значения индикатора к 1 будет говорить о повышении потенциала эффективного развития кластера кафедр.

Таким образом, разработан индикатор оценки потенциала развития кластера кафедр, поддерживающего научно-технологического направление.

Важно определить стратегию развития, в контексте которой следует осуществлять прогнозирование.

Проблема выбора направлений совершенствования кластера состоит в том, что резкие изменения активности не допустимы, так как могут привести к возникновению ошибок. Действительно, изменения активности деятельности кафедр по рубрикам тесно увязаны технической политикой, составом оборудования, подготовкой кадров и др. Резкое изменение содержания деятельности может привести к созданию обратной связи с накоплением ошибок рассогласования. Поэтому изменение состояния кластера должно происходить небольшими «шагами», но очень быстро за счет постоянного поддержания согласованности. Для этого должна реализовываться стратегия распределения средств, обеспечивающая максимально быстрое движение кластера к идеальному состоянию. Стратегия развития описывается в виде комплекса рекомендаций по распределению средств по рубрикам исследования: + повышение активности, - понижение, = неизменность.

В частности, для оптимизации, т.е. для приближения состояния кластера (таблица 8) к идеальной модели (таблица 7) следует произвести изменения, представленные в упрощенной таблице 9.

Таблица 9. Пример описания стратегии развития

	Рубрики	Кафедра 3	Кафедра 26
1	Схемотехника БИС	=	-
2	Технологии производства аналого-цифровых БИС	+	-
3	Технологии производства цифровых БИС	+	-
4	Разработка датчиков и сенсоров	-	=
5	Производство измерительной аппаратуры	-	+

Для кафедры 3, например, нужно повышать активность исследований в области технологий производства (рубрики 2, 3). Это означает, что нужно сосредоточить внимание на взаимосвязи технологий производства и схемотехники, возникающих вследствие перехода в нанодиапазон. Для кафедры 26, например, нужно повышать активность в области исследований по рубрике 5. Это означает, что при разработке датчиков и сенсоров усилить внимание к возможностям конкретного применения в аппаратуре. По соответствующим сценариям нужно осуществлять прогнозирование развития.

Таким образом, предложенный индикатор является инструментом определения согласованности развития исследовательских единиц, поддерживающих развитие научно-технологического направления. Если согласованность высокая, то можно достаточно

уверенно прогнозировать дальнейшие направления развития. Если согласованность низкая, то прогнозировать развитие достаточно бессмысленно, оно не будет достоверным в силу накопления системой ошибок рассогласования. Оценка по предложенному индикатору определяет обоснованность применения методов прогнозирования для развития научно-технологического направления.

### Список литературы

1. Громыко Г. Л. Теория Статистики. – М.: Инфра-М, 2009. – С.474.
2. Елкин С. В., Фирстов Ю. П. Техничко-экономический анализ трансформации в новый технологический уклад. НТИ сер.1. – 2011, № 7. – С. 6-15.
3. Елкин С. В., Журова Е. П. Применение ранговых распределений для анализа рынка нанопродуктов и нанотехнологий // Нанотехника. – 2010. – №1(21). – С.18-24.
4. Коровкина Л. Н., Фирстов Ю. П. Системные барьеры в области наноиндустрии в России с 1997 по 2007 г. // Нанотехника. – 2009. – № 3 (19). – С.101-105.
5. Лабурцева В. А. Кафедры института как кластер наноиндустрии // Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов вузов в области нанотехнологий и наноматериалов: Сборник студенческих научных работ. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – С. 65-67.
6. Нанотехнологии как ключевой фактор нового технологического уклада / Под ред. С. Ю. Глазьева, В. В. Харитоновна. – М.: Травант, 2009. – С.256.
7. Фирстов Ю. П. Особенности смены комплексов технологий в инновационной экономике // Вестник Университета. – 2009. – № 2. Государственный университет управления. – С.316-319.
8. Шаров А. А., Шрейдер Ю. А. Системы и модели. – М.: Сов. Радио, 1985.

### Рецензенты:

Тупчиенко В. А., доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Управление бизнес-проектами», Министерство образования и науки Российской Федерации, Ф ГАОУ ВПО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва.

Агеев Александр Иванович, доктор экономических наук, профессор, генеральный директор НП «Институт экономических стратегий», г. Москва.