

Наукометрическая оценка трендов исследований и разработок в области сверхпроводниковых материалов

© 2012 г. В.В. Бринза, М.Ю. Шляхов, В.В. Логинова *

В настоящее время поиск новых сверхпроводниковых материалов и работы по созданию эффективных технологий их производства масштабно ведутся в США, странах Евросоюза, Японии, Китае, Южной Кореи, России и ряде других государств. Сам факт участия в этих разработках свидетельствует о мировом лидерстве перечисленных стран в ключевых областях научно-технического прогресса. Стратегические преимущества на мировом рынке сверхпроводниковых материалов во многом определяются знанием характерных особенностей его формирования. Именно своевременная информация о практической востребованности различных типов сверхпроводников и перспективных областях их применения, о наиболее активных действующих исследовательских организациях и фирмах-производителях этих материалов, имеющих весомый потенциал для будущего, позволит получить значимые преимущества за счет своевременного сосредоточения финансовых, интеллектуальных и технологических ресурсов на прорывных направлениях исследований и разработок.

Между тем известные данные о темпах развития производства сверхпроводниковых материалов, например [1, 2], оказались недостаточно эффективными вследствие неполного учета закономерностей формирования данного сегмента рынка. Предсказанный на основе этих данных в первой декаде 2000-х годов «бум» производства изделий, функционирующих с проявлением эффекта сверхпроводимости, в реальности не произошел. Рост числа исследований и разработок в этой области был достигнут в первую очередь за счет увеличения перечня изучаемых материалов и расширения номенклатуры опытных образцов соответствующей продукции [3, 4].

Определение основных закономерностей формирования трендов развития рынка сверхпроводников возможен на базе прямого обобщения многоплановой информации, содержащейся в библиографических источниках по рассматрива-

емой тематике, а также последующего выявления направленности и интенсивности соответствующих информационных потоков. Данная процедура рационально реализуется с использованием основных положений наукометрии [5].

Результативность наукометрического подхода по отношению к оценке динамики результатов исследований в области сверхпроводимости продемонстрирована, например, в работе [6].

Цель настоящей работы состоит в определении направленности мировых трендов в области исследований и разработок сверхпроводниковых материалов на основе их наукометрических оценок. Поставленную цель достигали формированием информационных потоков, отображающих динамику исследований и разработок по тематике сверхпроводящих материалов, статистической обработкой сформированных потоков для выявления их трендов и получением результатов, характеризующих направленность выявленных трендов.

Информационные потоки, характеризующие основные стадии создания и продвижения сверхпроводящих материалов на рынок наукоемкой продукции

Для обеспечения возможности прямого сопоставления различных библиографических источников и их объединения в единый информационный поток совокупность публикаций в рамках применения наукометрического подхода должна отвечать ряду требований:

- содержать основные данные об организациях, реализующих представляемые работы;
- включать характеристику типов материалов;
- давать представление о стадиях инновационного цикла;
- указывать отраслевую ориентированность продукции.

Кроме того, для непосредственного внесения в состав единого потока рассматриваемые публикации должны быть взаимно информационно и методически сопоставимы и иметь единый «масштаб» представления. Наконец, задача определения особенностей формируемых информационных потоков сопряжена с обеспечением представительности количества используемых публикаций для протяженного временного периода. Изложенные требования удовлетворяются в случае, когда в качестве

* Бринза В.В. — д-р техн. наук, директор науч.-исслед. центра технол. прогнозирования НИТУ «МИСиС».

Шляхов М.Ю. — главный специалист ОАО «ТВЭЛ».

Логинова В.В. — младший научный сотрудник центра технологического прогнозирования НИТУ «МИСиС».

основного информационного источника привлекаются авторитетные специализированные периодические издания, на протяжении многих лет публикующие мировую тематическую информацию в избранной области в едином методическом ключе.

По отношению к проблематике сверхпроводников таким востребованным изданием зарекомендовал себя бюллетень «SuperconductivityWeb21», издаваемый Международным технологическим центром сверхпроводимости (ISTEC) с двухнедельной периодичностью. Основанный в 1988 г. и располагающийся в Японии, ISTEC концентрирует усилия на базовых исследованиях, разработках в области сверхпроводимости и практическом применении результатов. Центр содействует международному профессиональному взаимодействию путем поддержки и развития контактов с организациями-партнерами, проведению международных конференций и симпозиумов, выпуску сигнальных тематических информационных изданий и т.п. [7]. Бюллетень центра содержит достаточно полную новостную информацию о мировых достижениях в области сверхпроводящих материалов и технологий.

Предварительный анализ содержания выпусков бюллетеня за 10 лет (07.2001 – 12.2011) способствовал выделению 928 представленных в нем работ, соответствующих исследуемой тематике. Выделенные публикации группировали по признаку квартала издания, что дало возможность получить временной ряд, включающий 42 последовательно расположенных значения суммарного числа статей, изданных в течение каждого квартала. В пределах полученного ряда число публикаций в течение квартала колебалось от 9 до 52, в среднем составляя 22 работы.

Для характеристик построенного временного ряда введены следующие обозначения: X_1 – сквозной номер квартала (от № 1, соответствующего 3-му кв. 2001 г., до № 42, соответствующего 4-му кв. 2011 г.); Y_2 – суммарная выборка публикаций в бюллетене по рассматриваемой тематике в течение квартала, X_3 – номер квартала в течение года ($X_3 = 1...4$), X_4 – номер года ($X_4 = 2001...2011$ гг.).

Далее для каждой из выделенных публикаций фиксировали участвующие в ее выполнении организации, рассматриваемые в ней этапы инновационного цикла, типы исследуемых сверхпроводящих материалов и отраслевую востребованность продукции. Особенности информации в реферируемых статьях, дополненные «внешними» данными, определили следующую группу факторов, конкретизирующих участников представляемых работ для их информационных выборок по каждому кварталу:

$X_5...X_{22}$ – признаки географической принадлежности организаций-участников работ (страны Азии и Океании – «1»; европейские страны – «3»; страны Америки – «5»);

$X_{23}...X_{50}$ – рейтинги организаций по признаку частоты их участия в работах, включенных в бюллетень «SuperconductivityWeb21»;

$X_{51}...X_{56}$ – рейтинги базовой организации-участника в каждой публикации по признаку частоты ее упоминания в Google;

$X_{57}...X_{63}$ – статус базовой организации-участника в рамках процесса создания наукоемкой продукции (университет, исследовательский центр – «1»; государственная структура, фонд поддержки – «2»; организация, имеющая множественный или неопределенный статус – «3»; производитель – «4»; потребитель – «5»).

Группу факторов $X_{64}...X_{80}$ ввели для учета типов сверхпроводниковых материалов. При этом использовали следующую градацию материалов: новые сверхпроводящие материалы – «1»; соединения на основе MgB_2 – «2»; высокотемпературные сверхпроводники – «3»; высокотемпературные сверхпроводники первого поколения – «4»; высокотемпературные сверхпроводники второго поколения – «5»; низкотемпературные сверхпроводники – «6»; множество типов сверхпроводников – «7»; неопределенные типы сверхпроводниковых материалов – «8».

Этапы инновационного цикла учитывали, используя факторы $X_{81}...X_{95}$. При этом использовали следующие балльные оценки: «1» – научные исследования; «2» – разработки, технологические инновации; «3» – проектирование, изготовление и пуск в строй нового исследовательского и технологического оборудования, новых производств; «4» – информация о государственном финансировании работ; «5» – информация об объемах и источниках частного финансирования проектов; «6» – создание опытных образцов и установочных партий прототипов для коммерциализации; «7» – сведения о продажах сверхпроводниковой продукции.

Для прогнозирования перспектив востребованности сверхпроводников рынком необходимо определить их отраслевую направленность. Поэтому была использована маркировка отраслей экономики, для которых предназначены различные разрабатываемые материалы. В настоящей работе использовали следующие обозначения отраслей: физика высоких энергий, термоядерная энергетика, транспорт – «1»; измерительная аппаратура – «2»; криогенная техника, военное применение, электроника – «3»; металлургия и производство сверхпроводящих материалов – «4»; медицина – «5»; электроэнергетика – «6»; многоотраслевая востребованность – «7»; неопределенная отраслевая направленность – «8». Совокупность факторов, обобщенно отображающих отраслевую направленность, представлена группой $X_{96}...X_{112}$.

Таким образом, скомпонованный информационный поток включает публикации по тематике сверхпроводящих материалов, сгруппированные последовательно по 42-м кварталам и охарактеризованные 112-ю факторами. Рассмотрение закономерностей их изменения показало значимые интервалы варьирования, выраженную динамику изменения большинства из них и наличие множественных факторных взаимосвязей. Получение представительного информационного потока создает содержательные предпосылки для определения особенностей динамики исследований и разработок по тематике сверхпроводниковых материалов.

Выявление трендов публикационной активности в период 2001–2011 гг.

В общем случае временные ряды представляют собой проявление объединенного действия четырех составляющих: трендов (т.е. основных тенденций изменения временных рядов), сезонных компонент, различных регулярных колебаний относительно трендов, остатков или случайных эффектов [8]. Применительно к сформированному ряду общей публикационной активности по тематике сверхпроводников, характеризуемой показателем Y_2 , долевого вклада случайных эффектов минимизирован за счет использования в качестве отдельных его значений суммарного числа публикаций, изданных в течение квартала, что уже частично сглаживает сформированный временной ряд. Сезонные компоненты в течение всего рассматриваемого периода для распределения Y_2 отсутствуют, так как коэффициент корреляции между его значениями и X_3 оказался статистически незначимым. Определение трендов, как правило, осуществляют по результатам построения линейных регрессионных зависимостей рассматриваемых показателей относительно временного фактора [8]. Для сформированного в данной работе информационного потока средствами регрессионного анализа на основе метода наименьших квадратов получено:

$Y_2 = 24,08 - 0,11 \cdot X_1$, с округлением результата до целых значений.

Зависимость характеризуется коэффициентом корреляции R между исходными и аппроксимированными значениями показателя, равным $-0,212$, что ниже его критического значения для 40 степеней свободы и 5 %-го уровня значимости, составляющего $0,304$. Таким образом, публикационная активность по тематике сверхпроводящих материалов в течение первого десятилетия XXI века в целом имеет слабый снижающийся тренд (рис. 1). С другой стороны, среднее квадратическое отклонение аппроксимированных значений показателя от исходных значений составляет $6,3$, а их максимальное отклонение равно $15,3$. Достаточно высокий уровень величин последних двух статистических характеристик относительно пределов изменения Y_2 в рассматриваемой выборке данных, а также наличие регулярных колебаний значений данного показателя может свидетельствовать о неоднозначных тенденциях его изменения, которые не отображаются линейной моделью. Неоднозначный характер распределения показателя Y_2 в пределах периода 2001–2011 гг. обуславливает целесообразность привлечения к обработке сформированного временного ряда процедуры кусочно-линейной регрессии. Данная процедура предназначена для построения нескольких отрезков прямых линий применительно к группам исходных значений показателя, последовательно расположенных на временной шкале. Сегментация общей протяженности информационного потока реализуется путем его итеративного множественного разделения до тех пор, пока не будет достигнуто оптимальное соответствие результатов кусочно-линейного регрессионного анализа

исходным данным [9]. Применение указанной процедуры к массиву значений общей публикационной активности по тематике сверхпроводящих материалов показало наличие трех отличающихся отрезков, отображающих динамику показателя Y_2 :

$Y_2 = 22,3 \pm 4,2 \cdot X_1$, $R = 0,107$, для периода от 3 кв. 2001 г. до 2 кв. 2005 г., ($X_1 = 1...16$);

$Y_2 = 0,2 + 1,0 \cdot X_1$, $R = 0,629$, для периода от 3 кв. 2005 г. до 4 кв. 2008 г., ($X_1 = 17...30$);

$Y_2 = 72,9 - 1,5 \cdot X_1$, $R = -0,745$ для периода от 1 кв. 2009 г. до 4 кв. 2011 г., ($X_1 = 31...42$).

Приведенные значения коэффициентов корреляции свидетельствуют о разнонаправленности трендов публикационной активности в области сверхпроводниковых материалов и технологий в течение различных среднесрочных периодов первого десятилетия нашего века. Для периода «стабильности» (до 3-го кв. 2005 г.) отмечается стационарность информационного потока, доказываемая отсутствием статистически значимой зависимости показателя Y_2 от временного фактора X_1 . Промежуток от 3-го кв. 2005 г. до конца 2008 г. характеризуется значимым восходящим трендом в публикационной активности, что может быть объяснено формированием повышенного внимания к исследованиям и разработкам по тематике сверхпроводящих материалов наряду с преждевременным (из-за мирового кризиса 2008–2009 гг.) окончанием ряда проектов и, соответственно, более ранним опубликованием их результатов.

Наконец, в послекризисный период 2009–2011 гг., в течение которого публиковались работы, финансировавшиеся во время кризиса ограниченно и с задержками, ожидаемо тренд имеет нисходящее направление (рис. 2).

Выявленная разнонаправленность трендов публикационной активности свидетельствует о возможном изменении тенденций в степени внимания исследователей для отдельных среднесрочных периодов первого десятилетия XXI века как к основным группам сверхпроводящих материалов, так и к их разработкам для различных отраслей экономики.

Определение направленности трендов исследований и разработок по тематике сверхпроводниковых материалов

Формирование многофакторного информационного потока, характеризующего основные стадии создания и продвижения сверхпроводящих материалов на рынки наукоемкой продукции, обеспечило достаточно быстрое определение тенденций изменения основных их составляющих. Экспресс-оценками направленности трендов служили коэффициенты выборочной корреляции между одним из рассматриваемых факторов, значения которого включены в информационный поток, а также величиной X_1 , характеризующей изменение времени (в кварталах). При этом статистически значимая положительная величина коэффициента корреляции отражала восходящий тренд в динамике рассматриваемого фактора, статистически значимая отрицательная величина коэффи-

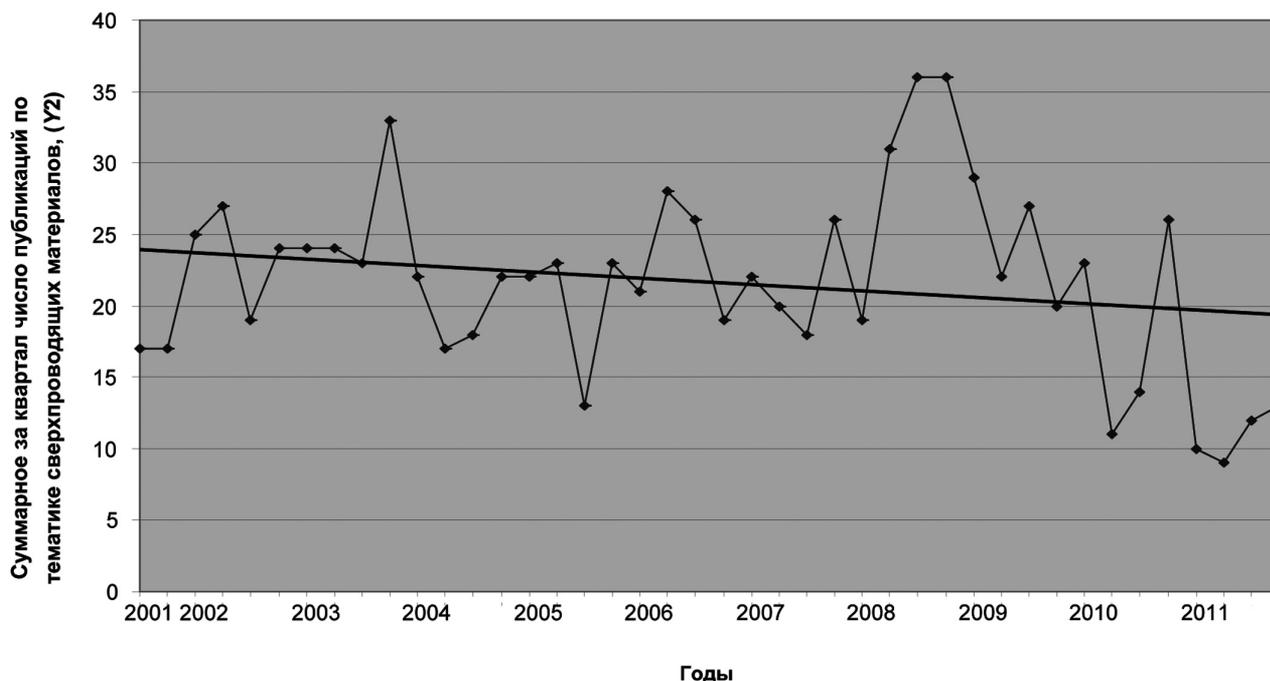


Рис. 1. Долгосрочный тренд публикационной активности по тематике сверхпроводниковых материалов в период 2001–2011 гг.

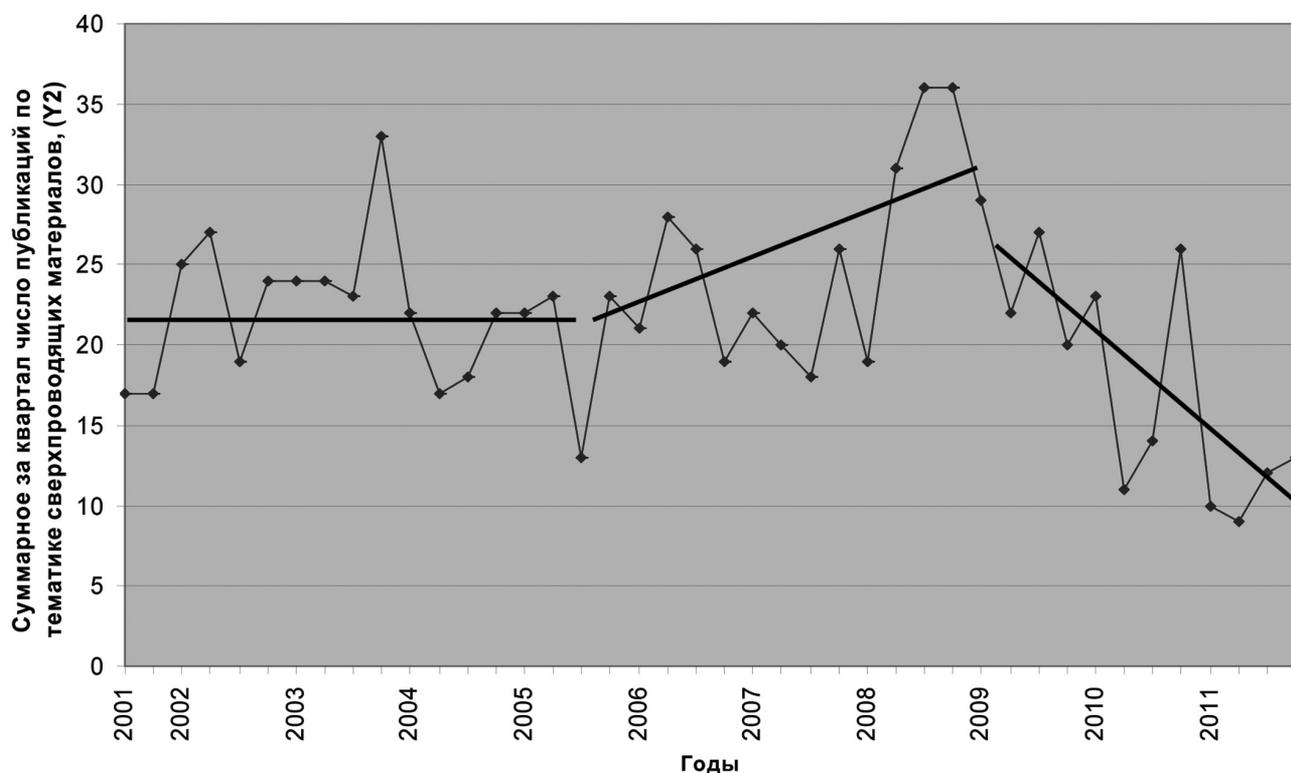


Рис. 2. Среднесрочные тренды, наиболее содержательно отображающие публикационную активность по тематике сверхпроводниковых материалов

коэффициента корреляции показывала наличие его нисходящего тренда, а статистически незначимая величина коэффициента свидетельствовала о постоянстве фактора в пределах заданного временного периода. В данной работе значимость коэффициентов корреляции определяли для 5-процентного уровня.

Результаты определения направленности трендов исследований, разработок и производства различных типов сверхпроводников приведены в **табл. 1**. Как следует из их рассмотрения, стабильно постоянная публикационная активность связана с тематикой, посвященной соединению MgB_2 ,

Таблица 1

Направленность трендов исследований, разработок и производства различных типов сверхпроводников, содержащихся в тематических публикациях					
Номер фактора	Наименование материалов	Знаки трендов изменения факторов для периодов			
		2001–2011 гг.	2001–2005 гг.	2005–2008 гг.	2009–2011 гг.
X64	Новые сверхпроводящие материалы	+	0	+	0
X65	Соединения на основе MgB ₂	0	0	0	0
X66	Высокотемпературные сверхпроводники	–	–	+	–
X67	Высокотемпературные сверхпроводники первого поколения	0	0	0	–
X68	Высокотемпературные сверхпроводники второго поколения	+	+	0	0
X69	Низкотемпературные сверхпроводники	0	0	0	0
X70	Множество типов сверхпроводников	0	0	0	0
X71	Неопределенные типы сверхпроводниковых материалов	0	+	+	0

Таблица 2

Динамика числа публикаций, посвященных различным этапам инновационного цикла сверхпроводников					
Номер фактора	Наименование этапа инновационного цикла	Знаки трендов изменения факторов для периодов			
		2001–2011 гг.	2001–2005 гг.	2005–2008 гг.	2009–2011 гг.
X81	Научные исследования	0	0	+	0
X82	Разработки, технологические инновации	0	+	0	0
X83	Проектирование, изготовление и пуск в строй нового оборудования, производств	0	0	+	–
X84	Информация о государственном финансировании работ	0	0	0	0
X85	Информация об объемах и источниках частного финансирования работ	0	0	0	0
X86	Создание опытных образцов и установочных партий прототипов для коммерциализации	0	0	0	0
X87	Сведения о продажах сверхпроводниковой продукции	0	0	0	0

низкотемпературным сверхпроводникам, а также исследованиям двух или более типов сверхпроводниковых материалов.

Общие восходящие тренды для работ, посвященных новым материалам и высокотемпературным сверхпроводникам второго поколения, обусловлены ростом их числа, соответственно, в течение 2005–2008 гг. (для X64) и 2001–2005 гг. (для X68).

Снижающийся тренд числа публикаций о высокотемпературных сверхпроводниках в течение 2001–2005 и 2009–2011 гг. объясняется отмеченным выше снижением интереса исследователей и разработчиков к высокотемпературным сверхпроводникам первого поколения (X67) после кризиса 2008 г. При этом локальные изменения динамики факторов X67 и X71 (табл. 1) не оказывают значимого влияния на формирование их долгосрочных трендов.

При рассмотрении долгосрочных трендов публикационной активности по тематике основных этапов инновационного цикла сверхпроводников создается впечатление о постоянстве ежеквартальной численности всех групп опубликованных работ в период 2001–2011 гг., что отображается отсутствием значимых величин коэффициентов корреляции между факторами X81 – X87 и фактором времени X1 (табл. 2).

Между тем в рамках менее протяженных периодов выявлены значимые возрастающие тренды публикационной активности по отношению к этапам создания и продвижения на высокотехнологичные рынки сверхпроводниковой продукции – этапов научных исследований, разработок и технологических инноваций (факторы X81 и X82).

Кроме того, обнаружены разнонаправленные локализованные тренды для числа публикаций, посвященных проектированию, изготовлению и пуску в строй нового оборудования и производств (фактор X83). При этом тенденция к снижению уровня фактора X83 в течение 2009–2011 гг., безусловно, является следствием уменьшения объемов финансирования капиталоемких проектов создания новых производственных мощностей в послекризисный период.

Отмеченные восходящие среднесрочные тренды публикационной активности по тематике начальных этапов инновационного цикла сверхпроводящих материалов на фоне сохранения постоянства числа работ, публикуемых данные о государственном и частном финансировании соответствующих тематических проектов (факторы X84 и X85), свидетельствуют о наличии необходимых предпосылок для дальнейшего наращивания научно-технического прогресса в области сверхпроводниковых материалов.

Важной частью формирования рынка инновационной продукции является отраслевая направленность соответствующих публикаций. Анализ сформированного информационного потока на предмет выявления изменений их отраслевых трендов показал лишь частичное совпадение долгосрочных и среднесрочных тенденций в динамике работ, посвященных применению продукции, использующей эффект сверхпроводимости, в различных отраслях экономики (табл. 3). Данное совпадение зафиксировано по отношению к высокотехнологичным производствам измерительной

Таблица 3

Изменение трендов публикационной активности по тематике сверхпроводниковой продукции для различных отраслей экономики

Номер фактора	Наименование отраслей экономики	Знаки трендов изменения факторов для периодов			
		2001–2011 гг.	2001–2005 гг.	2005–2008 гг.	2009–2011 гг.
X96	Физика высоких энергий, термоядерная энергетика	0	0	0	–
X97	Измерительная аппаратура	0	0	0	0
X98	Криогенная техника, военное применение, электроника	–	–	0	0
X99	Металлургия, производство сверхпроводящих материалов	+	0	+	0
X100	Медицинская промышленность	–	0	0	0
X101	Электроэнергетика	0	0	0	–
X102	Многоотраслевая востребованность	+	0	+	0
X103	Неопределенная отраслевая направленность	0	0	0	0

аппаратуры (фактор X97), криогенной технике, военному применению, электронике (фактор X98), металлургии и производству самих сверхпроводников (фактор X99), а также продукции многоотраслевой востребованности (фактор X102).

Иная динамика отмечена для медицинской промышленности (фактор X100) и энергетике (факторы X96 и X101): для значений соответствующих факторов выявлены значимые отличия в трендах различной протяженности. В частности, важным сигналом для рынка представляются снижающиеся тренды публикационной активности в послекризисный период 2009–2011 гг. в области физики высоких энергий, термоядерной и электроэнергетики (табл. 3). При этом долгосрочный тренд факторов X96 и X101 отмеченной тенденции не отвечает. Вместе с тем в публикациях медицинской направленности снижение внимания, отмечаемое соответствующим долгосрочным трендом фактора X100, при рассмотрении его среднесрочных тенденций не подтверждается.

Представленные результаты наукометрического анализа публикационной активности по тематике сверхпроводниковых материалов содержат достаточно емкую информацию для подготовки стратегических решений в области развития рынка данного вида инновационной продукции. Вместе с тем использование сформированного информационного материала в рамках данной методологии позволяет продолжить и углубить анализ трендов инновационного развития исследований, разработок и практической реализации проектов в области сверхпроводниковых материалов. Так, значительный интерес представляют следующие моменты: характеристика участников процесса создания рассматриваемой инновационной продукции (факторы X5 – X63); долевые соотношения между публикациями о различных типах сверхпроводниковых материалов и этапах инновационного цикла; основные отраслевые сегменты, номенклатура востребованной ими продукции и т.д. Важной является практическая возможность использования сформированного многомерного информационного потока для прогнозирования тенденций основных его составляющих в будущем. Эти результаты авторы предполагают представить в следующих публикациях.

Заключение

Результаты, представленные в работе, показали эффективность привлечения средств наукометрии к определению трендов исследований и разработок в области сверхпроводниковых материалов. При этом наукометрический подход использован для формирования и последующей оценки информационных потоков, характеризующих особенности создания и продвижения данных материалов на международные рынки наукоемкой продукции. В ходе наукометрического анализа динамики публикационной активности по рассматриваемой тематике определена максимальная содержательность среднесрочных трендов, которые в пределах долгосрочного периода 2001–2011 гг. продемонстрировали прямую зависимость от макроэкономических процессов. Выявленную направленность среднесрочных трендов числа публикаций по тематике сверхпроводниковых материалов целесообразно учитывать при подготовке стратегических решений по дифференцированной поддержке различных этапов их инновационного цикла.

Библиографический список

1. WTEC Panel Report on Power Applications of Superconductivity in Japan and Germany, № PB-103161 (www.wtec.org/loyola/scpa). WTEC Inc., Baltimore, MD, USA. 1998. – 158 p.
2. Сайт консорциума европейских компаний, специализирующихся на практическом применении сверхпроводимости. www.conectus.org. Дата обращения: 15.06.2012.
3. Исследование мирового и российского рынков низкотемпературных сверхпроводящих материалов (НТСП). Исследовательская группа ИнфоМайн. Отчет. www.infomine.ru. 2010. – 103 с.
4. www.ccas-web.org/superconductivity/overview
5. *Налимов В.В., Мульченко З.М.* Наукометрия. Изучение развития науки как информационного процесса. – М.: Наука, 1969. – 192 с.
6. *Zhu Q., Willett P.* Bibliometric analysis of Chinese superconductivity research // *Aslib Proceedings*. 2011. Vol. 63. Iss 1, p. 101–109.
7. www.istec.or.jp
8. *Кэндел М.* Временные ряды. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 200 с.
9. *Котюков В.И.* Многофакторные кусочно-линейные модели. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 215 с.