

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ДИФФУЗИИ ТЕХНОЛОГИЙ

К. А. Холмецкий

Белорусский государственный университет

В статье представлена авторская модель диффузии технологий, позволяющая рассчитать такие показатели, как вклад технологических инноваций каждой отрасли промышленности в экономический рост как отдельных отраслей, так и экономики в целом (на основе анализа диффузии данных инноваций в рамках всей экономики); наиболее значимые межотраслевые технологические взаимосвязи; степень автономности технологического развития различных отраслей промышленности. Модель может быть использована в качестве методологического инструментария при анализе экономической эффективности промышленных инноваций.

Начало XXI в. ознаменовалось осознанием во всем мире того, что именно наука определяет темпы и пропорции роста производства, углубление международного разделения и кооперации труда. Технологический фактор приобрел решающее значение для экономического развития в современном мировом хозяйстве — в развитых странах рост ВВП на 80—90 % обеспечивается инновационной деятельностью. В этом контексте актуальной представляется проблема повышения отдачи от научно-технических исследований и разработок, адекватного выделения приоритетов технологического развития.

В современной теории инноваций важное место занимает проблематика межотраслевой диффузии технологий, т.е. взаимопроникновения технологий, разработанных в разных отраслях промышленности. Известно, что повышение технологичности базовых отраслей промышленности, таких как машиностроение, черная металлургия и пр., имеет эффект, выходящий далеко за рамки самих этих отраслей и затрагивающий практически всю национальную экономику. В то же время исследования диффузии технологий в переходных экономиках бывшего СССР в масштабах большого числа отраслей пока не проводились в достаточном объеме. В этой связи целью настоящего исследования является построение адекватной модели межотраслевой диффузии технологий и тестирование ее на статистических данных по одной из переходных экономик, в настоящем случае Белоруссии.

В современной литературе, посвященной проблематике диффузии технологий, принято

разделение данного процесса на перетоки ренты (rent spillovers) и перетоки знаний (knowledge spillovers). В случае перетоков ренты положительные эффекты для производительности фирм-рецепторов технологии связаны с тем, что цены продукции промышленного назначения, приобретаемой этими фирмами, не в полной мере отражают повышение качества либо производительности данной продукции, произошедшее в результате инновационной деятельности ее производителей. Таким образом покупающая фирма присваивает часть ренты, связанной с приростом технологичности приобретаемого фактора производства. Соответственно, основными каналами перетоков ренты является межотраслевая и внутриотраслевая торговля промышленным оборудованием, материалами и компонентами, включая импорт этих видов продукции. Перетоки знаний, в свою очередь, возникают в случае, когда знания, разработанные каким-либо производителем, могут быть использованы другими производителями, при том что последние не возмещают полной стоимости данных знаний разработчику. Это может проявляться в таких экономических явлениях, как недостаточная защита патентованием, неспособность обеспечить достаточную секретность инноваций и возможность инженерного анализа продукции фирмы со стороны конкурентов с целью раскрытия технологии изготовления.

Настоящая модель направлена на анализ диффузии технологий через межотраслевую торговлю продукцией промышленного назначения, как одну из основных форм технологической диффузии. В соответствии с моделью агрегированный уровень технологии отрасли

повышается посредством трех каналов: в результате проведения отраслевых НИОКР, в результате импорта инновационной продукции промышленного назначения и в результате закупок такой продукции у других отраслей национальной экономики (не исключая внутриотраслевую торговлю). В основе подхода лежит базовая предпосылка о зависимости уровня технологии отрасли от НИОКР, осуществленных в отраслях, являющихся поставщиками продукции промышленного назначения для этой отрасли. Указанные НИОКР повышают технологичность компонентов и материалов, используемых отраслью в качестве факторов производства, а значит и вносят вклад в уровень технологии самой отрасли.

Приобретаемая отраслью технология измеряется нами в денежном выражении и отражает затраты на НИОКР других отраслей, *вмененные* в конечную продукцию этой отрасли. Для оценки межотраслевых перетоков технологии нами применяется метод межотраслевого баланса, впервые использованный для анализа диффузии технологий в работе [9] и до сих пор являющимся базовым методом при исследовании этой проблемы. В этой связи для определения величины межотраслевой передачи технологии используются коэффициенты межотраслевого баланса как показатели, отражающие интенсивность промышленного использования продукции различных отраслей.

Следует отметить, что передача технологии между отраслями может осуществляться и опосредованно, через третьи отрасли. Так, например, большинство новых моделей автомобилей и самолетов оборудованы высококачественными электронными компонентами, отвечающими за автоматическое управление двигателем или системы навигации. При этом производители машин как правило не приобретают напрямую эти компоненты у их производителей из микроэлектронной отрасли, а получают уже вмонтированными в двигатели и оборудование, произведенные, в свою очередь, третьими производителями. В то же время НИОКР, осуществленные в микроэлектронной отрасли, безусловно, сказываются на производительности авто- и авиационной отрасли. Для учета такого рода взаимосвязей недостаточно использовать коэффициенты прямых затрат межотраслевого баланса. Вместо них в большинстве работ используются либо коэффициенты полных затрат, от-

ражающие прямые и опосредованные затраты на единицу конечного спроса на продукцию отрасли, либо коэффициенты модифицированной обратной матрицы Леонтьева, отражающие прямые и опосредованные затраты на единицу совокупного спроса на ее продукцию.

В математической форме величина диффузии технологий в отрасль j , как правило, определяется следующим образом:

$$T_i = \sum_{j=1}^n r_j b_{ji} X_j, \quad (1)$$

где T_i — технология отрасли i , полученная от других отраслей через диффузию (здесь и далее под технологией будут пониматься затраты на НИОКР — как собственные, так и осуществленные прямыми и косвенными поставщиками отрасли — вмененные в продукцию той или иной отрасли); r_j — затраты на НИОКР на единицу выпуска продукции в отрасли j , b_{ji} — коэффициент полных затрат продукции отрасли j отрасли i (в некоторых работах — коэффициент модифицированной обратной матрицы Леонтьева), X_j — выпуск отрасли j (в денежном выражении).

Новизна предлагаемого нами подхода связана, прежде всего, с использованием концепции абсорбционной способности (absorptive capacity) для корректировки вычислений интенсивности межотраслевых перетоков технологии. Как известно, абсорбционная способность экономических субъектов отражает их способность к усвоению знаний и технологий извне, в том числе и к адаптации своего производственного процесса к улучшенному оборудованию и компонентам, приобретаемым у поставщиков. Основными факторами абсорбционной способности, согласно большинству современных исследований, являются собственные НИОКР фирм. Данное положение можно записать в математической форме следующим образом:

$$ABC_i = \beta r_i + \gamma, \quad (2)$$

где β и γ — коэффициенты (γ можно интерпретировать как автономный уровень абсорбционной способности, не зависящий от НИОКР отрасли); r_i — затраты на НИОКР отрасли i на единицу ее выпуска.

Специфика модели (учет абсорбционной способности) не позволяет использовать для расчетов коэффициенты полных затрат при вычислении опосредованной диффузии технологий, т.к. в данном случае абсорбционная спо-

способность отраслей-посредников действует в качестве своеобразного «фильтра», искажающего первоначальный «сигнал», т.е. количество передаваемой технологии. В зависимости от своего значения абсорбционная способность может как интенсифицировать поток передаваемой технологии, так и снижать его, что делает необходимым пошаговый учет всех операций по передаче технологии и делает невозможным использование агрегированных коэффициентов полных затрат. Такой пошаговый подход предполагает разделение процесса диффузии технологий на следующие фазы:

1) Первоначально отрасль i приобретает некоторое количество технологии в результате проведения собственных НИОКР и импорта инновационного оборудования, т.е.

$$TINT_{i,0} = r_i + imp_i, \quad (3)$$

где $TINT_{i,t}$ — технология на рубль выпуска отрасли i , полученная отраслью i в период t ; imp_i — НИОКР, вмененные в продукцию промышленного назначения, импортируемую отраслью, на единицу выпуска отрасли i (метод определения данного показателя будет описан ниже).

2) Впоследствии эта технология начинает диффундировать во все остальные отрасли экономики согласно формуле

$$TINT_{ij,t} = a_{ij} TINT_{i,t-1} ABC_j, \quad (4)$$

где $TINT_{ij,t}$ — технология, нормированная на выпуск отрасли j , переданная отрасли j отраслью i в период t ; a_{ij} — коэффициент прямых затрат продукции отрасли i отрасли j ; ABC_j — абсорбционная способность отрасли j (условно назовем этот процесс цикл 1).

3) Каждая из отраслей, получив определенное количество технологии из отрасли i , впоследствии также начинает распространять эту технологию во все остальные отрасли экономики через свои собственные промышленные поставки (цикл 2).

4) и т.д. (циклы 3...∞) (ограниченность процесса диффузии может быть вызвана значениями абсорбционной способности меньше 1 (в этом случае процесс по форме напоминает динамику прироста валового дохода через механизм инвестиционного мультипликатора), а также моральным устареванием технологии).

В итоге модель позволяет проследить прямую и сколь угодно опосредованную диффузию технологий, приобретенных первоначально

отраслями экономики через собственные НИОКР или импорт. При этом технология, получаемая посредством импорта отраслью i (imp_i), вычисляется аналогичным образом, как и в случае с межотраслевой диффузией. Она определяется:

— количеством импортируемой продукции промышленного назначения, произведенной различными иностранными отраслями промышленности, на единицу выпуска отрасли i ;

— количеством НИОКР (в денежном выражении), проведенных в зарубежных странах в различных отраслях промышленности, приходящимся на единицу импортируемой продукции из этих стран;

— абсорбционной способностью отрасли i .

В соответствии с этим величина технологии, приобретаемой через импорт отраслью i , составляет:

$$imp_i = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ji} IMP_j^k r_j^k ABC_j}{X_i}, \quad (5)$$

где IMP_j^k — величина импорта продукции, произведенной j -й отраслью страны k ; r_j^k — затраты на НИОКР на единицу выпуска отрасли j в стране k ; X_i — выпуск отрасли i ; m — число стран-экспортеров; n — число отраслей, продукция которых импортируется; α_{ji} — коэффициент использования импорта продукции j -й отрасли i -ой отраслью, определяемый как

$$\alpha_{ji} = \frac{IMP_{ji}}{IMP_j}. \quad (6)$$

Здесь IMP_{ji} — промышленное потребление импортируемой продукции j -й отрасли i -й отраслью; IMP_j — общая величина промышленного потребления импортируемой продукции j -й отрасли всеми национальными отраслями.

Таким образом экзогенными параметрами построенной модели являются: параметры, характеризующие абсорбционную способность (β и γ), затраты на НИОКР каждой отрасли (в своей стране и во всех странах-торговых партнерах), выпуск продукции каждой отрасли (в своей стране и во всех странах-торговых партнерах), матрица коэффициентов прямых затрат, матрица коэффициентов затрат импортируемой продукции.

В соответствии с задачей настоящего исследования нами было проведено моделирование

описанного процесса диффузии технологий для экономики Республики Беларусь с использованием средств программного пакета *Maplesoft Maple 9.5*. При этом нами были использованы данные межотраслевого баланса отечественной и импортируемой продукции в ценах покупателей за 2002—2003 гг., разработанные отделом межотраслевого баланса Министерства статистики РБ. Для определения диффузии технологий через внешнюю торговлю Республики Беларусь был использован ряд баз данных, разработанных управлением науки, технологии и промышленности ОЭСР, охватывающих статистику внешней торговли и отраслевых затрат на НИОКР в странах ОЭСР, а также в некоторых странах, не являющихся членами этой организации [1, 7, 8]. Данные, касающиеся отраслевых затрат на НИОКР в Республике Беларусь, были взяты из статистического ежегодника Республики Беларусь за 2003 г. [14].

В итоге на выходе модели были получены значения годового прироста уровня технологии различных отраслей, выраженные через коэффициенты β и γ уравнения (2).

В то же время нами была поставлена задача установить взаимосвязь между диффузией технологий и базовыми экономическими параметрами — производительностью и ростом выпуска. Под приростом производительности отрасли в данном случае понимается та часть прироста валового выпуска отрасли, которая не связана с приростом затрат физического капитала и труда. Следует отметить, что могут наблюдаться и отрицательные значения отраслевой производительности, проявляющиеся в отставании темпов роста выпуска от темпов роста затрат.

Поскольку отраслевая производительность является статистически измеримым показателем, на основе установления регрессионной зависимости между ее динамикой и величиной диффузии технологий в отрасль, определяемой в аналитическом виде с помощью модели, возможно определить неизвестные параметры модели, т.е. β и γ , и таким образом сделать модель практически применимой для определения экономического эффекта диффузии инноваций различных отраслей. В этой связи нами была построена модель линейной регрессии, связывающая реальные статистически наблюдаемые значения отраслевой производительности с модельными значениями отраслевых уровней технологии, а именно:

$$dMFP_i = c1 \cdot Z_i + c2, \quad (7)$$

где $dMFP_i$ — относительный прирост производительности отрасли, Z_i — прирост технологии отрасли в соответствии с моделью, $c1$ и $c2$ — коэффициенты регрессии.

В контексте настоящей модели прирост технологии отрасли формируется за счет собственных НИОКР (r_i), технологии, приобретенной по каналам диффузии через внешнюю торговлю (imp_i), и технологии, приобретенной по каналам межотраслевой диффузии ($TINT_i$). Следовательно,

$$Z_i = TINT_i + r_i + imp_i. \quad (8)$$

Коэффициент $c2$ отображает автономное изменение производительности отрасли с течением времени, что есть не что иное как степень морального устаревания технологии. В связи с этим при адекватном моделировании он должен иметь отрицательное значение.

Значения отраслевой производительности были определены с помощью методики ОЭСР [4]. В соответствии с этой методикой динамика отраслевой производительности вычисляется по формуле

$$\ln\left(\frac{MFP_t}{MFP_{t-1}}\right) = \ln\left(\frac{Q_t}{Q_{t-1}}\right) - \ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right), \quad (9)$$

где t — временной индекс; Q — величина совокупного выпуска; X — величина совокупных затрат, определяемая формулой

$$\ln\left(\frac{X_t}{X_{t-1}}\right) = \frac{1}{2}(s_t^L + s_{t-1}^L)\ln\left(\frac{L_t}{L_{t-1}}\right) + \frac{1}{2}(s_t^S + s_{t-1}^S)\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right), \quad (10)$$

где L — затраты труда; S — величина капитальных затрат; s^L и s^S — относительные доли затрат труда и капитала в общей величине затрат.

Для вычисления производительности отраслей в соответствии с этой методикой данные о затратах труда и капитала были взяты из статистического ежегодника Республики Беларусь за 2003 г. В результате были получены следующие данные для 9 основных отраслей промышленности Республики Беларусь:

Таким образом для каждой отрасли было получено соответствующее уравнение формы (7). Далее по методу наименьших квадратов были рассчитаны значения всех неизвестных параметров (табл. 2).

Данные, использованные для определения значений производительности факторов производства отраслей белорусской промышленности

	относительный прирост выпуска	относительный прирост затрат труда	относительный прирост основных фондов	относительный прирост производительности
Электроэнергетика	1,312	1,097	1,519	-0,133
Топливная промышленность	1,445	1,381	1,387	0,041
Черная металлургия	1,540	1,373	1,340	0,138
Химическая и нефтехимическая промышленность	1,390	1,320	1,324	0,049
Машиностроение и металлообработка	1,342	1,297	1,279	0,047
Лесная и деревообрабатывающая промышленность	1,461	1,329	1,390	0,057
Промышленность строительных материалов	1,553	1,426	1,264	0,195
Легкая промышленность	1,224	1,178	1,230	0,002
Пищевая промышленность	1,291	1,249	1,366	-0,044

Таблица 2

Коэффициенты регрессионной модели

Коэффициенты	Значения
β	-2.212
γ	7.057
$c1$	0.759
$c2$	-0.233

Следует отметить, что параметр β , связывающий затраты на НИОКР отрасли с ее абсорбционной способностью, имеет отрицательное значение. Это вполне объяснимо, поскольку наряду с положительным эффектом НИОКР для абсорбционной способности, связанным с расширением знаний и навыков, может также существовать и отрицательный эффект, обусловленный выведением отрасли из устоявшихся технологических стандартов в результате инноваций. Как следствие это может ограничить возможности внедрения в производственный процесс продукции внешних производителей. Таким образом полученный результат свидетельствует о низкой степени межотраслевой координации НИОКР, что безусловно негативно отражается на инновационной восприимчивости белорусской экономики в целом.

Остальные эндогенные параметры модели получили предсказуемые значения: в частности, коэффициент морального устаревания $c2$ оказался отрицательным, а коэффициент $c1$, связывающий прирост уровня технологии отрасли с темпом роста ее производительности, — положительным.

Подстановка полученных значений коэффициентов регрессии в модель позволяет добиться существенного соответствия между статистическими и модельными значениями приростов производительности, о чем свидетельствует рисунок (коэффициент детерминации составил более 0,9). Это дает основание полагать, что разработанная модель достаточно адекватно отражает механизм межотраслевой диффузии технологии, в конечном итоге формирующий соотношение темпов роста производительности между отраслями.

Таким образом построенная нами модель оказалась вполне применимой для анализа переходной экономики. С помощью нее возможно определить следующие показатели:

- масштабы и направления диффузии технологических инноваций, осуществленных в каждой конкретной отрасли промышленности, а также влияние данной диффузии на прирост производительности каждой из отраслей экономики;

- наиболее значимые межотраслевые технологические взаимосвязи;

- степень автономности технологического развития различных отраслей промышленности;

- наиболее приоритетные направления вложений в НИОКР в отраслевом разрезе на основе учета последующей диффузии результатов НИОКР в другие отрасли;

- эффект импорта продукции промышленного назначения, осуществляемого различными

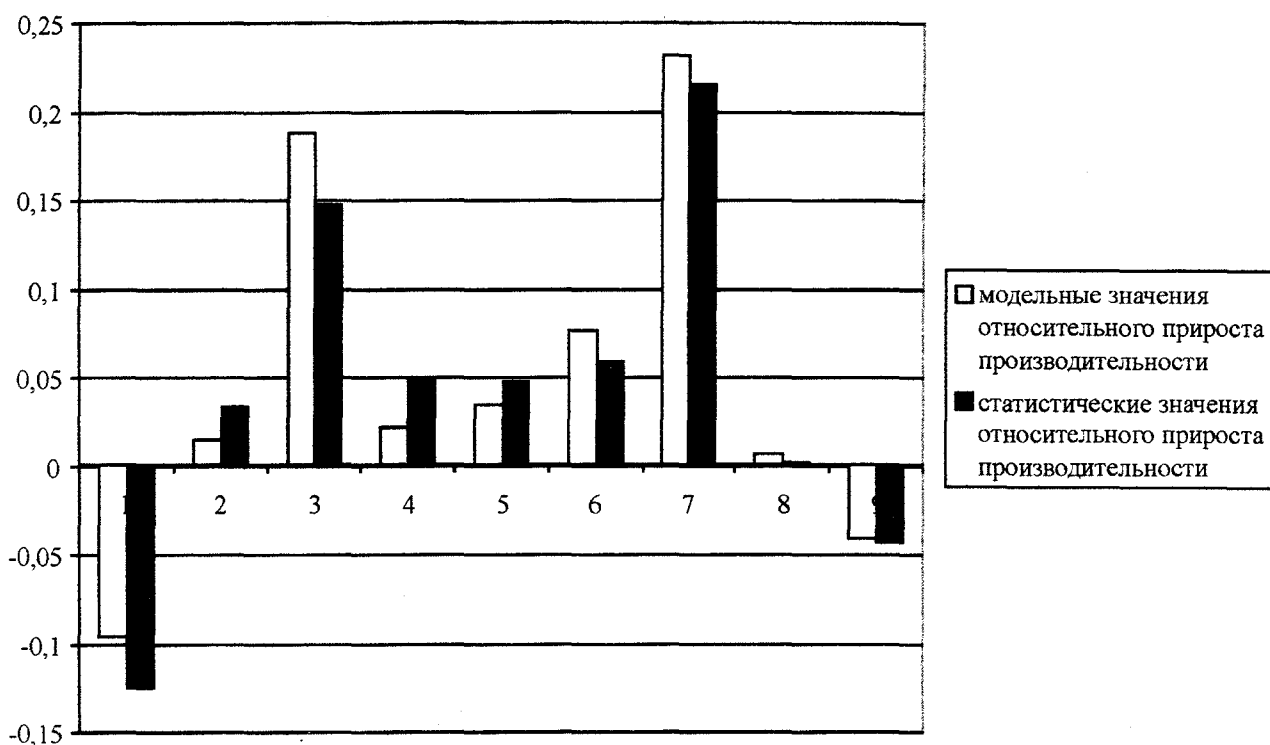


Рис. 1. Сопоставление реальных статистических и полученных с помощью модели значений годовых приростов производительности отраслей промышленности РБ: 1 — электроэнергетика; 2 — топливная промышленность; 3 — черная металлургия; 4 — химическая и нефтехимическая промышленность; 5 — машиностроение и металлообработка; 6 — лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность; 7 — промышленность строительных материалов, включая стекольную и фарфоро-фаянсовую промышленность; 8 — легкая промышленность; 9 — пищевая промышленность

отраслями промышленности, для темпов экономического роста;

- соотношение импорта технологичной продукции и внутренних НИОКР в качестве источников технологического развития отраслей промышленности.

Полученные показатели могут быть использованы:

- для оценки экономической эффективности отраслевых инноваций с учетом их последующей диффузии в другие отрасли при формировании приоритетных направлений государственной поддержки развития промышленного производства и инвестиционных программ;

- составления прогнозов экономического развития, отражающих динамику основных показателей материального производства;

- определения приоритетных направлений развития межотраслевой научно-технической кооперации;

- определения направлений субсидирования, а также предоставления тарифных и иных преференций при осуществлении промышленного импорта высокотехнологичной продукции;

- определения приоритетных направлений привлечения прямых иностранных инвестиций.

В целом выявленная статистическая значимость диффузии технологий для динамики производительности отраслей промышленности подтверждает тот факт, что этот процесс играет большую роль в экономическом развитии страны. Большие объемы межотраслевой торговли промышленным оборудованием, материалами и компонентами, являющиеся следствием, как правило, более интенсивного разделения труда и отраслевой специализации, несомненно являются важнейшим фактором экономического роста. В этом проявляется определенный синергетический эффект, связанный с увеличением отдачи от каждого компонента системы (в данном случае экономических отраслей) вследствие более интенсивных системных взаимосвязей между элементами, обуславливающих более активную роль каждого элемента в целой системе. В этой связи рост интенсивности межотраслевой диффузии технологий представляет собой большой резерв для эконо-

мического роста всей экономики, что несомненно должно стать одним из краеугольных камней экономической политики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ANBERD - R&D Expenditure in Industry (ISIC Rev.3) Vol 2004 release 01 / OECD — [Electronic resource]. www.sourceoecd.org
2. Barro R. J., Sala-I-Martin X. Economic Growth. — Cambridge MA: MIT Press, 1999.
3. Los B., Verspagen B. Technology spillovers and their impact on productivity // Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics. — Cheltenham: Edward Elgar, 2004.
4. Measuring Productivity — OECD Manual: Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth / OECD. — Paris, 2001.
5. Mohnen P. R&D Externalities and Productivity Growth // STI Review. — 1996, vol. 18. — P. 39—66.
6. Papaconstantinou G., Sakurai N., Wyckoff A. Embodied Technology Diffusion: An Empirical Analysis for 10 OECD Countries // STI working papers. — 1996, № 1.
7. STAN Bilateral Trade Database Vol 2005 release 01 / OECD. — [Electronic resource]. — www.sourceoecd.org

8. STAN Industry Vol 2005 release 03 / OECD. — [Electronic resource]. — www.sourceoecd.org
9. Terleckyj N. E. Effects of R&D on the productivity growth of industries: an exploratory study. — Washington: National Planning Association, 1974.
10. Wolff E. N. Spillovers, Linkages, and Technical Change // Economic Systems Research. — 1997, vol. 9. — P. 9—23.
11. Внешняя торговля Беларуси: состояние, проблемы, перспективы / О. С. Булко, И. А. Михайлова-Станюта, И. М. Абрамов, С. Ю. Солодовников. — Мн.: НО ООО «БИП-С», 2002.
12. Гохберг Л. М. Статистика науки и инноваций — инструмент обоснования научно-технической политики // Человек и труд. — 2000. — № 4. — С. 12—17.
13. Иванова Н. И. Национальные инновационные системы. — М.: Наука, 2002.
14. Статистический ежегодник Республики Беларусь: 2003 / Министерство статистики и анализа республики Беларусь. — Мн., 2003.
15. Технологические инновации в промышленности и сфере услуг / Гохберг Л. М., Бурьян Г. А., Красовской О. В., Кузнецова И. А. — М.: Центр исследований и статистики науки, 2001.