

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 авиастроительной 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 поэтапный учет всех операций по передаче технологии и делает невозможным использование агрегированных коэффициентов полных затрат. Такой поэтапный 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:

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

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).

Таблица 1

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

	относительный прирост выпуска	относительный прирост затрат труда	относительный прирост основ- ных фондов	относительный прирост произ- водительности
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

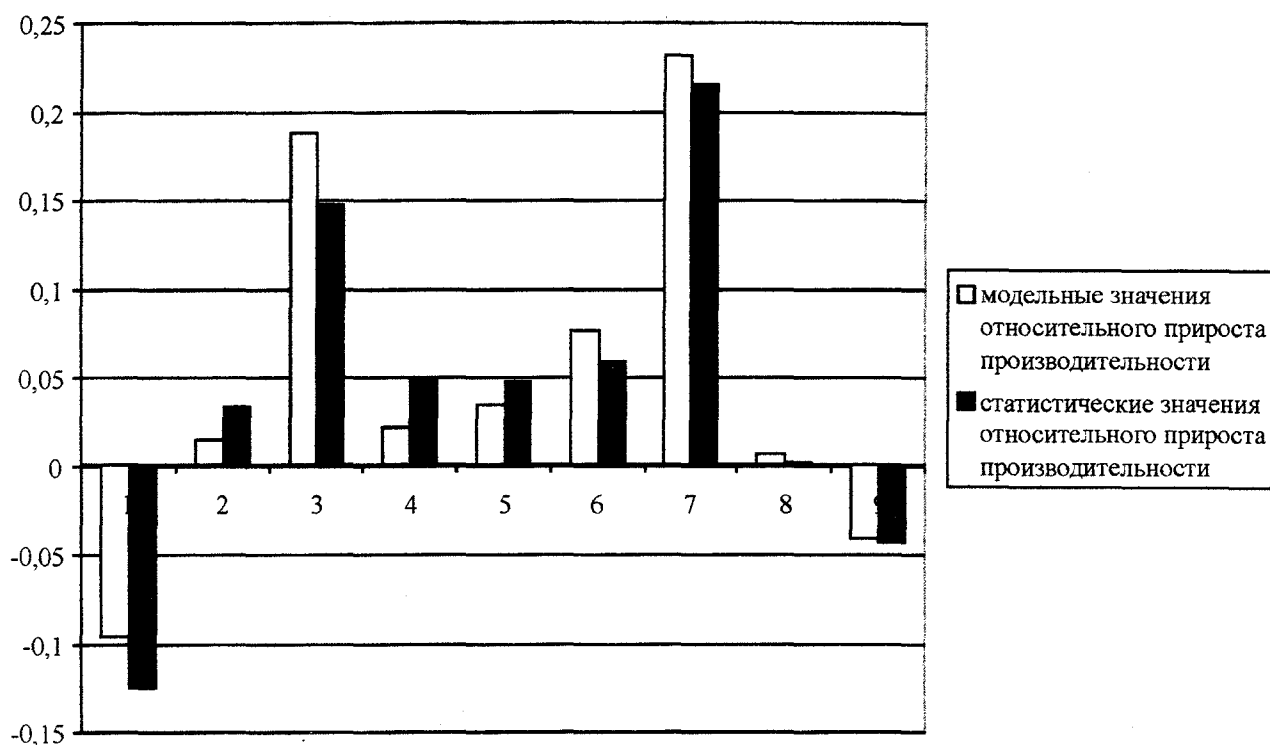


Рис. 1. Сопоставление реальных статистических и полученных с помощью модели значений годовых приростов производительности отраслей промышленности РБ: 1 — электроэнергетика; 2 — топливная промышленность; 3 — черная металлургия; 4 — химическая и нефтехимическая промышленность; 5 — машиностроение и металлообработка; 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 «БІП—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.