
МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МЕТОДАМИ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА (НА ПРИМЕРЕ СТРАН ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА)*

© 2014 г. С.А. Балашова, Е.Ю. Хрусталеv

(Москва)

В статье исследуются показатели инновационного развития стран ЕС методами многомерного статистического анализа. Показано, что если для построения результирующего индекса инновационности использовать модифицированный метод главных компонент, то из априорного набора можно выявить наиболее и наименее значимые факторы, что позволяет более четко определить возможные точки роста.

Ключевые слова: инновационный потенциал, индекс инновационности, методика построения индексов, модифицированный метод главных компонент.

Классификация JEL: C23, C43, C51.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе общественного прогресса проблемам интенсификации инновационного экономического роста уделяется особое внимание как со стороны научного сообщества, так и исполнительной и законодательной власти (Багриновский, 2011; Бендиков, Хрусталеv, 2007; Варшавский, 2012а; Егорова, Смулов, 2004; Полтерович, 2009; Рудцкая, Хрусталеv, 2008, 2009; Стратегия, 2011; Хрусталеv, Славянов, 2011; Цыганов, Рудцкая, Хрусталеv, 2012).

Существуют различные подходы к комплексной оценке уровня инновационного развития на макро-, мезо- и микроуровне (Багриновский, Егорова, 2010; Варшавский, 2012б; Голиченко, 2011; Хрусталеv, 2013; Хрусталеv Е., Хрусталеv О., 2013). В основе этих подходов лежит выделение базовых индикаторов, характеризующих некоторый аспект хозяйственной деятельности, оказывающий влияние на формирование, развитие и реализацию инновационного потенциала, и их “свертка” в единый интегральный индекс. Подходы различаются как по набору базовых индикаторов (что отражает различия в понимании сущности инновационного потенциала), так и методам построения единого синтетического показателя, который является измерителем степени инновационности (см., например, (Матвейкин и др., 2007, с. 7; Матюшок, 2013, с. 5)). Большой вклад в развитие концепции инновационного потенциала и разработку методов его количественной оценки внес Майкл Портер (Porter, Stern, 2002, p. 4; Furman, Porter, Stern, 2002, p. 899).

В большинстве стран Европейского союза мониторинг и оценка состояния инновационной сферы проводится по единой методике, которая разрабатывается и совершенствуется под руководством Комиссии по инновационному развитию ЕС (ProInnoEurope). Применяемая на сегодняшний день методика оценки действует с 2010 г. и основывается на 25 базовых индикаторах, которые объединены в 8 групп инновационных размерностей (innovation dimensions), каждая из которых относится к одному из основных типов. Тремя основными типами инновационных индикаторов являются: возможности, деятельность предприятий, результирующие показатели. Количественной оценкой уровня инновационности служит интегральный индекс (Summary

* Статья подготовлена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-06-00139).

Innovation Index, SII), а каждая инновационная размерность характеризуется соответствующим индексом.

Инновационное табло Евросоюза (Innovation Union Scoreboard (IUS, 2011)) предоставляет в открытом доступе исходные данные, что позволяет анализировать результаты измерения уровня инновационного развития стран ЕС с позиций многомерного статистического анализа.

Целью данной работы является выявление взаимосвязей между группами показателей, характеризующими созданные в стране условия для осуществления инновационной деятельности и зафиксированными в статистических данных результатами этой деятельности, а также построение на основе выделенных Комиссией по инновационному развитию ЕС базовых индикаторов модифицированного интегрального индекса инновационности с использованием модифицированного метода главных компонент с целью определения наиболее значимых показателей, влияющих в настоящее время на инновационное развитие рассматриваемой совокупности стран.

Исходные данные. В работе была использована панель данных, которая включает данные о 27 странах ЕС, 7 странах Европы, не входящих в ЕС, а также средний показатель по ЕС27 за последние пять лет наблюдений (2007–2011 гг.) для следующих переменных: SII – интегральный индекс инновационности; $Z^{11} \equiv HR$ – индекс размерности “Человеческие ресурсы” (тип “Возможности”); $Z^{12} \equiv RS$ – индекс размерности “Открытость, качество и привлекательность исследовательской системы” (тип “Возможности”); $Z^{13} \equiv FS$ – индекс размерности “Финансы и поддержка” (тип “Возможности”); $Z^{21} \equiv FI$ – индекс размерности “Инвестиции предприятия” (тип “Деятельность предприятий”); $Z^{22} \equiv LE$ – индекс размерности “Связи и предпринимательство” (тип “Деятельность предприятий”); $Z^{23} \equiv IA$ – индекс размерности “Интеллектуальные активы” (тип “Деятельность предприятий”); $Y^1 \equiv I$ – индекс размерности “Инноваторы” (тип “Результаты”); $Y^2 \equiv EE$ – индекс размерности “Экономический эффект” (тип “Результаты”).

Первые шесть размерностей объединяют входные показатели для осуществления инноваций, две последних – результаты инновационной деятельности. Каждый индекс строится из набора базовых индикаторов (табл. 1).

После первичной обработки данных (выявление и устранение выбросов, заполнение пропусков в данных по определенному алгоритму) определяются минимальные и максимальные значения для каждого показателя по всему пулу наблюдений и проводится нормализация показателей. Базовые показатели $Xl.j.k$ преобразуются к унифицированному (нормализованному) виду $\tilde{X}l.j.k$ в соответствии с характером зависимости базового показателя с интегральным индексом: так как рост любого индикатора IUS интерпретируется как рост инновационной активности, то базовые индикаторы связаны с интегральным монотонно-возрастающей зависимостью, при которой

$$\tilde{X}l.j.k = \frac{Xl.j.k - \min(Xl.j.k)}{\max(Xl.j.k) - \min(Xl.j.k)},$$

где индексы указывают: l – основной тип; j – номер инновационной размерности, относящейся к данному типу; k – номер показателя внутри размерности. При этом минимальное значение нормализованного показателя равно 0, а максимальное – 1. Индексы размерности строятся как среднее значение входящих в данную группу унифицированных индикаторов, интегральный индекс – как среднее значение всех унифицированных индикаторов (более подробно методика IUS анализируется в (Балашова, 2013, с. 14)).

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ДАННЫМ ИННОВАЦИОННОГО ТАБЛО ЕВРОСОЮЗА

Проведем анализ взаимозависимости между индексами, характеризующими инновационный потенциал, и индексами, характеризующими результаты инновационной деятельности. Для этого на основе панели исходных данных оценим объединенную модель

$$Y_{it}^r = \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^3 Z_{it}^{lj} \beta^{ljr} + \alpha^r + \varepsilon_{it}^r \quad (1)$$

Таблица 1. Индикаторы Инновационного табло Евросоюза (IUS)

Возможности				
Человеческие ресурсы				
X1.1.1 – число выпускников аспирантуры на 1 тыс. человек населения в возрасте от 25 до 34 лет	X1.1.2 – процент населения в возрасте от 30 до 34 лет, имеющих законченное высшее образование		X1.1.3 – процент населения в возрасте от 20 до 24 лет, имеющих, по крайней мере, среднее образование	
Открытость, качество и привлекательность исследовательской системы				
X1.2.1 – число научных публикаций с иностранным соавтором на 1 млн человек населения	X1.2.2 – число публикаций, входящих в 10% наиболее цитируемых в мире как процент от общего числа научных публикаций в стране		X1.2.3 – аспиранты из неевропейских стран как процент от общего числа аспирантов	
Финансы и поддержка				
X1.3.1 – расходы на НИОКР в общественном секторе в процентах от ВВП		X1.3.2 – венчурный капитал в процентах от ВВП		
Деятельность предприятий				
Инвестиции предприятия				
X2.1.1 – расходы на НИОКР в предпринимательском секторе в процентах от ВВП		X2.1.2 – расходы на инновации (кроме НИОКР) в предпринимательском секторе в процентах от оборота		
Связи и предпринимательство				
X2.2.1 – доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих внутрифирменные инновации		X2.2.2 – доля инновационных предприятий малого и среднего бизнеса, имеющих кооперационные связи		X2.2.3 – число совместных публикаций ученых общественного и предпринимательского секторов на 1 млн человек населения
Интеллектуальные активы				
X2.3.1 – число заявок на международные патенты на 1 млрд долл. ВВП (по ППС)	X2.3.2 – число заявок на международные патенты на 1 млрд долл. ВВП (по ППС) по общественно значимым проблемам (изменение климата, здоровье)		X2.3.3 – число торговых марок Евросоюза на 1 млрд долл. ВВП (по ППС)	X2.3.4 – число зарегистрированных дизайнов Евросоюза на 1 млрд долл. ВВП (по ППС)
Результаты				
Инноваторы				
X3.1.1 – доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих продуктовые или процессные инновации		X3.1.2 – доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих маркетинговые или организационные инновации		X3.1.3 – быстрорастущие инновационные фирмы ¹
Экономический эффект				
X3.2.1 – занятость в наукоемких сферах деятельности (производство и услуги) в процентах от общей занятости	X3.2.2 – экспорт высоко- и средне-технологичной продукции в процентах от общего экспорта продукции	X3.2.3 – экспорт наукоемких услуг в процентах от общего экспорта услуг	X3.2.4 –продажи нового для рынка или для фирмы товара в процентах от оборота	X3.2.5 – доход от лицензий и патентов в процентах от ВВП

Источник: Innovation Union Scoreboard (IUS, 2011).

¹ Новый индикатор, в настоящее время в построении индексов не участвует из-за отсутствия по нему данных.

и две спецификации модели с фиксированным эффектом – модель с введением фиктивных переменных для каждой страны

$$Y_{it}^r = \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^3 Z_{it}^{lj} \beta^{ljr} + \sum_{i'=1}^{35} \alpha_{i'}^r d_{ii'} + \varepsilon_{it}^r \quad (2a)$$

и модель в первых разностях

$$\Delta Y_{it}^r = \sum_{l=1}^2 \sum_{j=1}^3 \Delta Z_{it}^{lj} \beta^{ljr} + \nu_{it}^r. \quad (2b)$$

Здесь i указывает номер экономической единицы (страны) ($i = 1, \dots, 35$); t – момент времени ($t = 1, \dots, 5$); Y^r – индексы результирующих размерностей ($r = 1, 2$); Z^{lj} – индексы входных размерностей, играющие роль регрессоров, j указывает номер размерности, относящейся к одному из основных типов ($l = 1$ – тип “Возможности”, $l = 2$ – тип “Деятельность предприятий”); β^{ljr} – коэффициенты наклона. В объединенной модели (1) свободный коэффициент α^r является константой (при каждом $r = 1, 2$), этот коэффициент – одинаковый для всех наблюдений. В модели с фиксированными эффектами (2a) свободные коэффициенты $\alpha_{i'}^r$ отражают индивидуальные эффекты экономических единиц, не зависящие от времени, они оцениваются как коэффициенты при $d_{ii'}$ – фиктивных переменных, равных единице для страны с номером i ($i' = i$). В (2b) индивидуальные эффекты элиминированы за счет взятия разности (Δ – разность текущего и предыдущего наблюдений). В (1) и (2) ε_{it}^r и ν_{it}^r – случайные члены, удовлетворяющие обычным условиям регрессионной модели (см., например, (Вербик, 2008, с. 496)). Результаты оценки уравнений (1), (2a) и (2b) приведены в табл. 2.

Объединенная модель (1) – частный случай модели с фиксированным эффектом, в которой предполагается гомогенность выборки, отражающаяся в постоянстве коэффициентов модели. Как видно из данных, представленных в табл. 2, результаты оценки объединенной модели дают неудовлетворительный с точки зрения экономического смысла результат: u для первой (зависимая переменная I) и второй регрессии (зависимая переменная EE) коэффициент при индексе “Финансы и поддержка” имеет отрицательный знак, являясь в то же время статистически значимым. Это может объясняться как мультиколлинеарностью входящих в уравнение регрессоров, так и необоснованностью предположения о гомогенности выборки.

Для обеих спецификаций модели с фиксированным эффектом коэффициенты имеют статистически значимые оценки с “правильными” с точки зрения экономической интерпретации знаками. Кроме того, результаты теста Фишера указывают на предпочтительность МНК-оценки регрессии с фиктивными переменными (2a) перед МНК-оценкой объединенной модели (1).

В пользу модели с фиксированным эффектом свидетельствует также и то, что при одних и тех же входных ресурсах результат инновационной деятельности в значительной степени должен зависеть от пропущенных или ненаблюдаемых переменных, характеризующих такие индивидуальные особенности стран, как: масштаб экономики, качество государственных институтов, уровень развития рыночных механизмов, степень интеграции в мировую экономику. Если эти эффекты можно рассматривать как постоянные в исследуемый период времени, то модель с фиксированным эффектом является по экономическому содержанию достаточно адекватной. Поэтому при дальнейшей интерпретации результатов будем опираться на оценку уравнений (2a) и (2b).

Переход от уравнения (2a) к уравнению (2b) позволяет, с одной стороны, значительно сократить число оцениваемых параметров, а с другой – избежать “ложных регрессий”. Заметим, что оценка модели в первых разностях (2b) имеет более низкое значение коэффициента детерминации (качество подгонки), чем у (2a), но, тем не менее, указывает на обусловленность изменений результирующего индекса изменениями тех индексов, коэффициенты при которых статистически значимы. Кроме того, такая разница в качестве подгонки говорит о том, что в основном за изменения зависимой переменной отвечают именно ненаблюдаемые (пропущенные) переменные.

Таблица 2. Оценка объединенной модели и модели с фиксированным эффектом взаимосвязи результирующих и входных индексов инновационной деятельности

Регрессоры	Зависимая переменная <i>I</i> – индекс “ <i>Инноваторы</i> ” ²					Зависимая переменная <i>EE</i> – индекс “ <i>Экономический эффект</i> ”				
	МНК-оценка объединенной модели (1)	МНК-оценка модели с фиктивными переменными (2a)		МНК-оценка модели в первых разностях (2b)		МНК-оценка объединенной модели (1)	МНК-оценка модели с фиктивными переменными (2a)		МНК-оценка модели в первых разностях (2b)	
		Все регрессоры	Только значимые	Все регрессоры	Только значимые		Все регрессоры	Только значимые	Все регрессоры	Только значимые
<i>HR</i> – индекс “Человеческие ресурсы”	–0,2* (0,1)	–0,18 (0,23)		–0,11 (0,27)		–0,03 (0,06)	0,19* (0,1)	0,15* (0,08)	0,06 (0,13)	
<i>RS</i> – индекс “Исследовательская система”	–0,14 (0,11)	–0,06 (0,22)		–0,01 (0,02)		0,22*** (0,07)	–0,02 (0,08)		–0,06 (0,09)	
<i>FS</i> – индекс “Финансы и поддержка”	–0,42*** (0,1)	0,01 (0,09)		–0,02 (0,1)		–0,21*** (0,06)	0,01 (0,05)		–0,02 (0,05)	
<i>FI</i> – индекс “Инвестиции предприятия”	0,04 (0,13)	–0,04 (0,12)		–0,07 (0,14)		0,3*** (0,07)	0,16*** (0,05)	0,15*** (0,05)	0,16*** (0,05)	0,15*** (0,05)
<i>LE</i> – индекс “Связи и предпринимательство”	0,88*** (0,12)	0,41*** (0,13)	0,39*** (0,11)	0,39*** (0,12)	0,39*** (0,12)	–0,08 (0,07)	0,13* (0,07)	0,13* (0,07)	0,05 (0,06)	
<i>IA</i> – индекс “Интеллектуальные активы”	0,36*** (0,11)	0,06 (0,17)		–0,12 (0,15)		0,32*** (0,06)	–0,09 (0,08)		–0,14* (0,07)	
<i>R</i> ²	0,57	0,96	0,95	0,10	0,06	0,56	0,96	0,96	0,10	0,06

Примечание. “***”, “**”, “*” обозначают значимость на уровне 1, 5 и 10% соответственно. В круглых скобках приведены значения стандартных ошибок.

После пошагового исключения незначимых факторов из уравнений (2a) и (2b) для результирующего индекса “Инноваторы” единственным значимым фактором остается индекс “Связи и предпринимательство”. Действительно, и тот и другой индексы характеризуют инновационную деятельность предприятий малого и среднего бизнеса. По методологии Innovation Union Scoreboard, к входным относятся показатели: доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих внутрифирменные инновации; доля инновационно активных предприятий малого и среднего бизнеса, имеющих друг с другом партнерские отношения; число совместных публикаций исследователей из университетов (или государственных научно-исследовательских институтов) и из научно-исследовательских лабораторий при предприятиях. Эти показатели отражают скорость распространения знаний и технологий и тесно связаны с показателями, которые отнесены к результирующей размерности “Инноваторы”: доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих технологические (продуктовые и/или процессные) инновации на своем рынке; доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих маркетинговые и/или организационные инновации на своем рынке.

² Все факторы, за исключением *LE*, берутся с лагом 1 в соответствии со ссылочным годом, на основании которого определен индекс “Инноваторы”.

Единственным фактором, который оказывается статистически значимым на уровне 1% при моделировании результирующего индекса “Экономический эффект” по уравнениям (2a)–(2b) (с учетом процедуры пошагового исключения незначимых факторов), является индекс FI , характеризующий инновационную размерность “Инвестиции предприятия”. В формирование этого индекса входят два базовых индикатора: расходы предпринимательского сектора на НИОКР и на инновации (кроме НИОКР). В рассмотренных спецификациях этот индекс имеет положительный значимый коэффициент регрессии, величина которого мало меняется при изменении спецификации.

Малая глубина панели не позволяет проанализировать влияние входных индексов, взятых с большими лагами, на результирующие индексы, однако использование одного лага (с учетом ссылочного года для определения того или иного индикатора) не вносит существенных изменений в приведенные в табл. 2 оценки.

Разложение результирующего индекса инновационности на индексы инновационных размерностей с учетом правила их построения показывает, что интегральный индекс SII строится из индексов размерностей на основе соотношения

$$SII = (HR + RS + LE)/8 + (FS + FI + I)/12 + IA/6 + 5EE/24.$$

Следовательно, наибольший вклад в построение результирующего индекса дает размерность “Экономический эффект”, а размерности “Финансы и поддержка”, “Инвестиции предприятия” и “Инноваторы” учитываются с наименьшим весом. Однако такое соотношение весов является результатом числа индикаторов, характеризующих ту или иную инновационную размерность (чем больше индикаторов, тем выше вес размерности), а не отражением относительной важности рассматриваемой размерности.

Таким образом, в подходе, реализуемом IUS, вес той или иной размерности фактически определяется экспертным путем благодаря отбору и группировке базовых индикаторов.

Построение результирующего индекса, на основании которого измеряется степень инновационности, с учетом взаимосвязей различных инновационных размерностей, может дать более развернутый результат, так как “статистический анализ множества объектов, даже если по каждому из них зарегистрированы значения набора признаков, будет неполным, ущербным, если ограничиваться при этом только средними значениями и не использовать разнообразные характеристики тесноты и структуры связей между ними” (Айвазян и др., 1989, с. 15). Анализ совокупности индексов инновационных размерностей методом главных компонент показывает, что в качестве результирующего индекса инновационности можно предложить использовать первую главную компоненту, которая будет воспроизводить 64% дисперсии рассматриваемой совокупности (см. Приложение, п. 1). Однако в этом случае нагрузки не могут рассматриваться как веса, так как не имеют нормировки.

ПОСТРОЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ИНДЕКСОВ ИННОВАЦИОННОСТИ

Применим модифицированный метод главных компонент (Айвазян, 2003, с. 40; 2012) для построения индексов инновационных размерностей и интегрального индекса инновационности с учетом взаимосвязей базовых индикаторов.

Для группы показателей, относящихся к одной инновационной размерности, модифицированный индекс строится согласно следующему алгоритму. Находятся собственные числа λ ковариационной матрицы $\mathbf{R}$ вектора унифицированных показателей данной группы, т.е. решается характеристическое уравнение ($\mathbf{I}$ – единичная матрица)

$$|\mathbf{R} - \lambda \mathbf{I}| = 0. \quad (3)$$

Собственные числа λ упорядочиваются по убыванию, т.е. $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$, где p – размерность вектора унифицированных показателей для данной группы (в данном случае $p = 2, \dots, 5$ в зависимости от рассматриваемой инновационной размерности).

Затем определяется число m_0 интегральных показателей для данной группы, исходя из условия

$$m_0 = \min \left\{ m \mid \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_m}{\lambda_1 + \dots + \lambda_p} > 0,55 \right\} \quad (4)$$

(результатирующий индекс должен отвечать за большую долю дисперсии исходных индикаторов).

Если $m_0 = 1$ (условие выполняется для пяти инновационных размерностей), то индекс группы строится как взвешенная сумма унифицированных базовых показателей. Веса определяются исходя из требования, согласно которому интегральный индекс несет максимум информации (в смысле максимума дисперсии) об исходных базовых показателях.

Таким образом, после решения характеристического уравнения (3) и выявления наибольшего собственного значения определяются компоненты собственного вектора $a = (a_1, \dots, a_p)^T$ ковариационной матрицы $\mathbf{R}$ как решение системы уравнений

$$(\mathbf{R} - \lambda_1 \mathbf{I})a = 0. \quad (5)$$

Значение интегрального индекса данной размерности $MInd_{l,j}$ строится как модифицированная первая главная компонента:

$$MInd_{l,j} = \sum a_k^2 \tilde{X}_{l,j,k}, \quad (6)$$

где j – номер размерности, относящейся к инновационному типу с номером l . Суммирование ведется по всем базовым показателям, отнесенным к данной размерности.

Из свойств метода главных компонент следует, что $\sum a_k^2 = 1$, т.е. интегральный индекс строится как взвешенное среднее унифицированных базовых показателей данной группы, значения индекса варьируют в той же шкале, что и значения унифицированных показателей, а веса могут интерпретироваться как степень важности показателя при построении интегрального индекса.

В результате применения данного алгоритма имеем следующие формулы для определения модифицированных индексов, которые могут быть использованы для характеристики:

- качества, открытости и привлекательности научно-исследовательской системы страны:

$$MInd_{1.2} \equiv MRS = 0.33\tilde{X}_{1.2.1} + 0.36\tilde{X}_{1.2.2} + 0.31\tilde{X}_{1.2.3};$$

- финансирования и поддержки за счет средства государства и венчурных фондов

$$MInd_{1.3} \equiv MFS = 0.5\tilde{X}_{1.3.1} + 0.51\tilde{X}_{1.3.2};$$

- степени предпринимательской активности и кооперации при производстве инноваций

$$MInd_{2.2} \equiv MLE = 0.35\tilde{X}_{2.2.1} + 0.35\tilde{X}_{2.2.2} + 0.30\tilde{X}_{2.2.3};$$

- интеллектуальных активов

$$MInd_{2.3} \equiv MIA = 0.29\tilde{X}_{2.3.1} + 0.29\tilde{X}_{2.3.2} + 0.16\tilde{X}_{2.3.3} + 0.26\tilde{X}_{2.3.4};$$

- инновационной активности организаций малого и среднего бизнеса

$$MInd_{3.1} \equiv MI = 0.5\tilde{X}_{3.1.1} + 0.51\tilde{X}_{3.1.2}.$$

За счет изменения весов при базовых индикаторах модифицированные индексы MRS , MLE и MIA воспроизводят большую долю дисперсии включенных в соответствующие группы индикаторов, чем построенные как средние арифметические RS , LE и IA .

Для оставшихся трех размерностей первая главная компонента не удовлетворяет условию (4). В этом случае следует применить алгоритм расчета, изложенный в (Айвазян и др., 2006, с. 57). Исходная группа разбивается на две подгруппы (в принципе, подгруппа может содержать только один базовый показатель). Принадлежность базовых показателей к той или иной подгруппе определяется двумя требованиями: они должны характеризовать какой-то один аспект анализируемой инновационной размерности и быть в достаточной мере взаимно коррелированными.

Субиндекс подгруппы $SubInd_{l.j.s}$ ($l.j$ – номер размерности, $s = 1, 2$ – номер подгруппы) строится по формуле (6), где суммируются не все базовые индикаторы рассматриваемой размерности, а только те, которые включены в подгруппу s (предварительно определяется наибольшее собственное число ковариационной матрицы векторов подгруппы и собственный вектор по формулам (3)–(5)). Субиндексы каждой группы объединяются в единый индекс по формуле

$$MInd_{l.j_n} = 1 - \rho_{l.j_n}, \quad (7a)$$

где $\rho_{l.j_n}$ – “взвешенное” евклидово расстояние от наблюдения n :

$$(SubInd_{l.j.1}, SubInd_{l.j.2}) \quad (n = 1, \dots, N, N = 175)$$

до эталона (1, 1) в соответствующем двумерном пространстве:

$$\rho_{l.j_n} = \sqrt{\nu_1 (SubInd_{l.j.1_n} - 1)^2 + \nu_2 (SubInd_{l.j.2_n} - 1)^2}. \quad (7b)$$

Неотрицательные нормированные веса $\nu_1, \nu_2 \left(\sum_{p=1,2} \nu_p = 1 \right)$ определяются пропорционально дисперсиям субиндексов:

$$\nu_s = \frac{Var(SubInd_{l.j.s})}{Var(SubInd_{l.j.1}) + Var(SubInd_{l.j.2})}, \quad s = 1, 2;$$

$$Var(SubInd_{l.j.s}) = 1/N \sqrt{\sum (SubInd_{l.j.s_n} - \overline{SubInd_{l.j.s}})^2}. \quad (7c)$$

Для размерности “Человеческие ресурсы” анализ корреляционных связей и матрицы нагрузок показывает, что два первых показателя могут быть объединены в подгруппу, субиндекс которой $SubInd_{1.1.1}$ строится как их среднее значение. Объединение построенного субиндекса с оставшимся показателем по формулам (7a)–(7c) приводит к значению модифицированного индекса $MInd_{1.1} \equiv MHR$, который посредством регрессионного анализа может быть выражен в виде линейной комбинации базовых индикаторов по приближенной формуле

$$MInd_{1.1} \equiv MHR \approx 0.22\tilde{X}_{1.1.1} + 0.27\tilde{X}_{1.1.2} + 0.46\tilde{X}_{1.1.3}.$$

Заметим, что если вместо условия (4) применить так называемое “правило Кайзера”, при котором

$$m_0 = \max \{m \mid \lambda_m > (\lambda_1 + \dots + \lambda_p)/p\},$$

то вся группа $MInd_{1.1}$ может быть описана только первой главной компонентой. В этом случае первые два индикатора будут иметь больший вес по сравнению с третьим в силу его малой корреляционной связи с ними.

Несмотря на то, что размерность “Инвестиции предприятия” имеет всего два базовых индикатора, ее нельзя охарактеризовать одной главной компонентой, так как показатели очень слабо коррелируют друг с другом. Поэтому индекс $MInd_{2.1} \equiv MFI$ строится сразу по формулам (7), где в роли субиндексов выступают сами базовые индикаторы. В виде линейной комбинации базовых показателей субиндекс можно приближенно записать так:

$$MInd_{2.1} \equiv MFI \approx 0.4\tilde{X}_{2.1.1} + 0.34\tilde{X}_{2.1.2},$$

т.е. большой вес придается показателю, характеризующему затраты на научные исследования и разработки. Заметим, что, как показано в (Balashova, Matyshok, 2012, р. 228; Рудцкая, Хрусталева, Цыганов, 2009), именно этот фактор, наряду с прямым финансированием государством затрат бизнеса на НИОКР, является действенной мерой, стимулирующей увеличение инновационной активности в предпринимательском секторе.

Размерность “Экономический эффект” была разбита на две подгруппы, в первую вошли Х3.2.1 – занятость в наукоемких сферах деятельности, Х3.2.3 – экспорт наукоемких услуг, Х3.2.5 – доход от лицензий и патентов – как имеющие тесные корреляционные связи и наибольшие нагрузки при построении первой главной компоненты. Во вторую подгруппу попали Х3.2.2 – экспорт высоко- и среднетехнологичной продукции и Х3.2.4 – удель-

ный вес инновационных товаров. Применение формул (3)–(7) и представление модифицированного индекса экономической эффективности через базовые индикаторы приводит к соотношению:

$$MInd_{3.2} \equiv MEE \approx 0.13\tilde{X}_{3.2.1} + 0.25\tilde{X}_{3.2.2} + 0.18\tilde{X}_{3.2.3} + 0.2\tilde{X}_{3.2.4} + 0.18\tilde{X}_{3.2.5}.$$

Таким образом, при оценке экономической эффективности согласно рассмотренному алгоритму наибольший вес придается удельному весу высоко- и среднетехнологичных товаров в общем объеме экспорта товаров.

Модифицированный результирующий индекс инновационности (Modified Summary Innovation Index) $MSII$ строится из индексов инновационных размерностей по формулам, аналогичным (7a)–(7c):

$$MSII = 1 - \sqrt{\sum_l \sum_j \nu_{lj} (MInd_{l,j} - 1)^2},$$

$$\nu_{ij} = Var(MInd_{l,j}) / \sum_l \sum_j Var(MInd_{l,j}). \quad (8)$$

Полученные по формуле (8) значения модифицированного результирующего индекса инновационности $MSII$ для данной выборки не существенно отличаются от значений результирующего индекса SII , который строится как среднее арифметическое всех базовых индикаторов, и практически не вносит изменений в рейтинг стран по степени инновационности (см. Приложение, п. 2). Однако разложение $MSII$ по базовым индикаторам средствами регрессионного анализа позволяет определить, какие базовые индикаторы из априорного набора оказались наиболее существенными для характеристики рассматриваемой совокупности, а какие практически не вносят свой вклад и могут быть исключены из апостериорного набора базовых индикаторов. Для решения этой задачи идентифицировалась линейная модель

$$MSII_{it} = \sum_{l,j,k} \theta_{l,j,k} \tilde{X}_{l,j,k, it} + \varepsilon_{it}. \quad (9)$$

Здесь $\theta_{l,j,k}$ – параметры регрессионного уравнения, имеющие смысл весовых коэффициентов при оценке уровня инновационного развития той или иной страны. Сделав оценку по всему пулу наблюдений, исключив незначимые факторы и выбрав наилучший вариант модели с учетом информационных критериев Акаике и Шварца, получили оценки 16 весовых коэффициентов. Они принимают значения от 0,14 до 0,015, среднее значение равно 0,06 (см. Приложение, п. 3).

Определим в качестве основных индикаторов инновационного развития те факторы, вес которых при расчете индекса инновационности превышает 0,06. К таким факторам относятся семь показателей из априорного набора:

- уровень образования молодежи (фактор $X1.1.3$, вес 0,06) из размерности “Человеческие ресурсы”;
- индекс цитируемости научных публикаций, имеющий наибольший вес (фактор $X1.2.2$, вес 0,14), и доля аспирантов из неевропейских стран (фактор $X1.2.3$, вес 0,06) из размерности “Открытость, качество и привлекательность исследовательской системы”;
- оба фактора размерности “Финансы и поддержка” (фактор $X1.3.1$ имеет вес 0,06, фактор $X1.3.2$ имеет вес 0,09);
- расходы на НИОКР (фактор $X2.1.1$, вес 0,10) из размерности “Инвестиции предприятия”;
- доля предприятий малого и среднего бизнеса, осуществляющих технологические инновации (фактор $X3.1.1$, вес 0,11), – единственный фактор, относящийся к результирующим размерностям.

Заметим, что никакой из выделенных факторов сам по себе не показателен для уровня инновационного развития. Так, наибольшее значение фактора $X1.1.3$ (более 90%) имеют страны бывшего социалистического лагеря – Хорватия, Словения и Польша, которые по классифика-

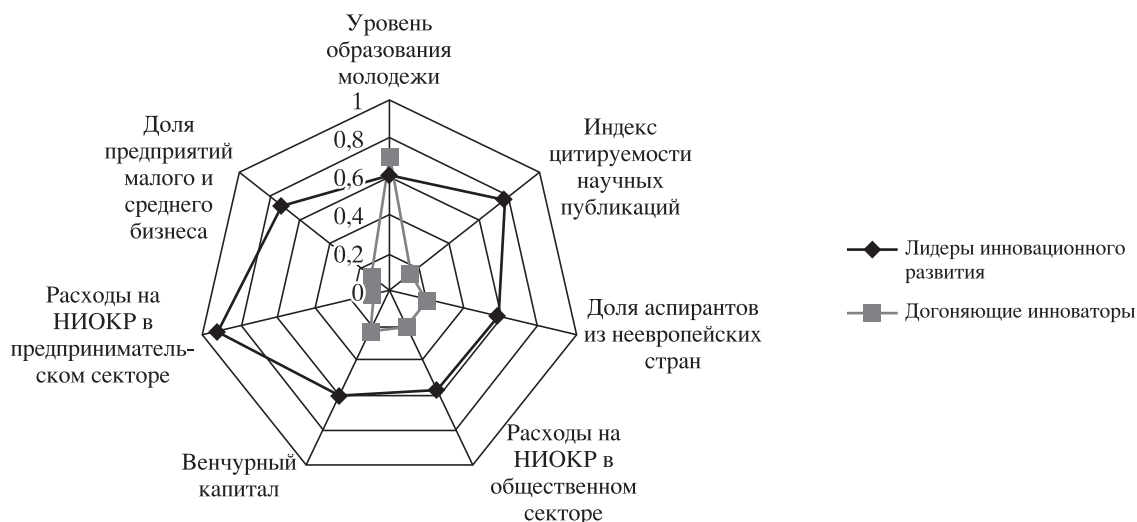


Рис. 1. Сравнение стран-лидеров инновационного развития и стран, отстающих в инновационном развитии, по значению ключевых индикаторов

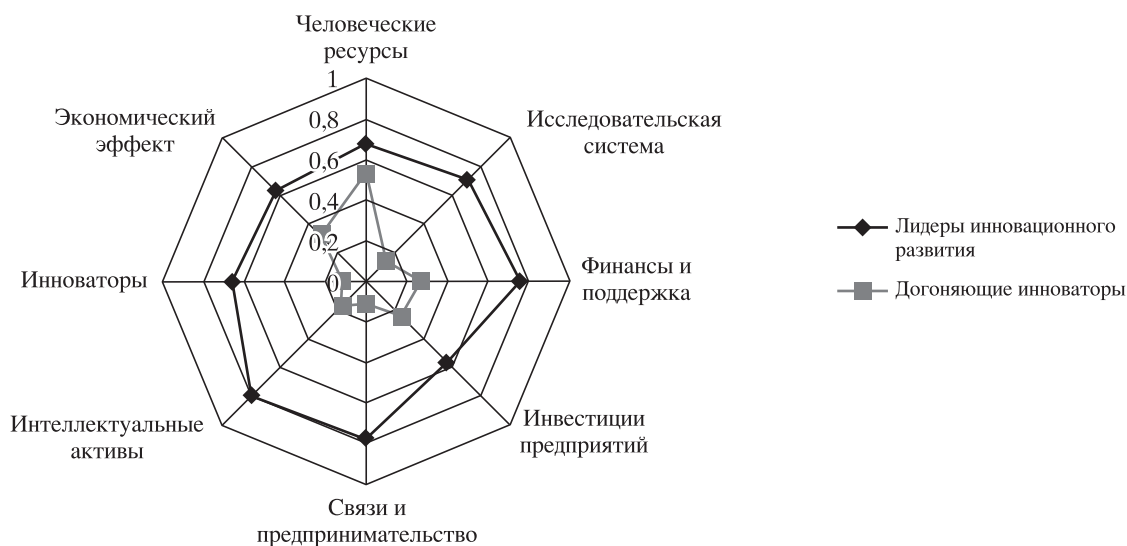


Рис. 2. Сравнение стран-лидеров инновационного развития и стран, отстающих в инновационном развитии, по значению модифицированных индексов инновационных размерностей

ции IUS относятся к группе умеренных инноваторов (см. Приложение, п. 2), в то время как у Дании – инновационного лидера – значение этого показателя всего 68%. Показательно, что для инновационных лидеров все ключевые факторы и все индексы, характеризующие инновационные размерности, имеют высокие значения, в то время как у стран, отстающих в инновационном развитии, разные аспекты инновационной деятельности развиты неравномерно (рис. 1, 2)³.

Выделенные показатели (за исключением X1.1.3) тесно коррелируют с большей частью базовых индикаторов из априорного набора и могут рассматриваться как ключевая группа в том смысле, что их изменение невозможно без комплекса мер, направленных на улучшение условий инновационной деятельности во всех сферах.

³ Значения ключевых индикаторов и модифицированных индексов инновационных размерностей получены усреднением по соответствующей группе стран.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

Все показатели инновационной деятельности тесно коррелированы. Однако при контроле других переменных появление инновационно активных предприятий в малом и среднем бизнесе наиболее тесно связано с наличием развитой бизнес-среды и ее интеграцией с научно-исследовательской системой страны. В то же время экономический эффект от инноваций достигается в первую очередь за счет собственных расходов предприятий на инновации (в том числе, на НИОКР).

Из априорного набора базовых индикаторов могут быть выделены семь ключевых показателей, которые достаточно полно характеризуют уровень инновационного развития той или иной страны. При этом ключевую роль играют не только финансовые показатели (затраты на НИОКР, достаточность венчурного капитала), но и уровень образования молодежи, а также качество национальных научных достижений.

Страны, лидирующие по уровню инновационного развития, демонстрируют достаточно равномерное развитие всех аспектов инновационной деятельности. Однако рассчитанный с помощью модифицированного метода главных компонент индекс инвестиций предприятий показывает недостаточность вложений в инновации в предпринимательском секторе даже у стран-лидеров, в особенности в те виды инновационной деятельности, которые непосредственно не связаны с исследованиями и разработками: приобретение машин и оборудования, новых технологий, проведение маркетинговых исследований, обучение персонала и проч., что влечет за собой недостаточно высокий экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян С.А. (2012). Анализ качества и образа жизни населения. М.: Наука.
- Айвазян С.А. (2003). К методологии измерения синтетических категорий качества жизни населения // *Экономика и математические методы*. № 2.
- Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. (1989). Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика.
- Айвазян С.А., Степанов В.С., Козлова М.И. (2006). Измерение синтетических категорий качества жизни населения региона и выявление ключевых направлений совершенствования социально-экономической политики (на примере Самарской области и ее муниципальных образований) // *Прикладная эконометрика*. № 2.
- Багриновский К.А. (2011). Об оценке перспектив инновационной деятельности // *Экономика и математические методы*. Т. 47. № 1.
- Багриновский К.А., Егорова Н.Е. (2010). Методы анализа инновационных технологий на основе индекса Фаррела // *Экономика и математические методы*. Т. 47. № 1.
- Балашова С.А. (2013). Глобальные индексы как средство комплексной оценки инновационного потенциала // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. № 6.
- Бендиков М.А., Хрусталева Е.Ю. (2007). Методологические основы исследования механизма инновационного развития в современной экономике // *Менеджмент в России и за рубежом*. № 2.
- Варшавский А.Е. (2012а). Этика, экономика и инновации // *Экономика и математические методы*. Т. 48. № 1.
- Варшавский А.Е. (2012б). Проблемные инновации: основные риски // *Концепции*. № 1–2.
- Вербик М. (2008). Путеводитель по современной эконометрике. М.: Научная книга.
- Голиченко О.Г. (2011). Основные факторы развития национальной инновационной системы. М.: Наука.
- Егорова Н.Е., Смулов А.М. (2004). Финансовые источники кредитования высоких технологий и наукоемких производств. В кн.: *“Инновационный менеджмент в России”*. М.: Наука.
- Матвейкин В.Г., Дворецкий С.И., Минько Л.В., Таров В.П., Чайникова Л.Н., Летунова О.И. (2007). Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития. М.: Машиностроение–1.

- Матюшок В.М.** (2013). Приоритетные направления развития экономики России: формирование и оценка инновационного потенциала // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. № 7.
- Полтерович В.М.** (2009). Проблема формирования национальной инновационной системы // *Экономика и математические методы*. Т. 45. № 2.
- Рудцкая Е.Р., Хрусталеv Е.Ю.** (2008). Интеграционная методология инновационного развития наукоемких производств // *Инновации*. № 8.
- Рудцкая Е.Р., Хрусталеv Е.Ю., Цыганов С.А.** (2009). Конкурсное финансирование начальных этапов инновационной деятельности // *Аудит и финансовый анализ*. № 2.
- Рудцкая Е.Р., Хрусталеv Е.Ю.** (2009). Концепция инновационного развития российской экономики // *Вестник университета*. № 2.
- Стратегия инновационного развития (2011). Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. № 2227-р.
- Хрусталеv Е.Ю., Славянов А.С.** (2011). Проблемы формирования инвестиционной стратегии инновационно-ориентированного экономического роста // *Проблемы прогнозирования*. № 3.
- Хрусталеv Е.Ю.** (2013). Теоретические основы построения семантической системы знаний об инновационном развитии экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. № 8.
- Хрусталеv Е.Ю., Хрусталеv О.Е.** (2013). Модельное обоснование инновационного развития наукоемкого сектора российской экономики // *Экономический анализ: теория и практика*. № 9.
- Цыганов С.А., Рудцкая Е.Р., Хрусталеv Е.Ю.** (2012). Совершенствование конкурсных механизмов поддержки и финансирования научной, научно-технической и инновационной деятельности // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. № 11.
- Balashova S., Matyshok V.** (2012). The Impact of Public R&D Expenditure on Business R&D: Russia and OECD Countries / European Integration Process in Western Balkan Countries. Coimbra.
- Furman J.L., Porter M.E., Stern S.** (2002). The Determinants of National Innovative Capacity // *Research Policy*. Vol. 31.
- IUS (2011). The Innovation Union Scoreboard 2010, 2011 [Электронный ресурс] // ProInnoEurope. Режим доступа: <http://www.proinno-europe.eu/metrics>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ. (дата обращения: октябрь 2013 г.).
- Porter M.E., Stern S.** (2002). National Innovative Capacity. The Global Competitiveness Report 2001–2002. New York: Oxford University Press.

Поступила в редакцию
12.05.2013 г.

1. Листинг из программы Eviews 7.0. Анализ индексов инновационных размерностей методом главных компонент

Principal Components Analysis								
Included observations: 175 after adjustments								
Computed using: Ordinary correlations								
Extracting 8 of 8 possible components								
Eigenvalues: (Sum = 8, Average = 1)								
Number	Value	Difference	Proportion	Cumulative Value	Cumulative Proportion			
1	5,09	4,24	0,64	5,09	0,64			
2	0,85	0,18	0,11	5,93	0,74			
3	0,66	0,09	0,08	6,59	0,82			
4	0,57	0,18	0,07	7,16	0,90			
5	0,39	0,20	0,05	7,55	0,94			
6	0,19	0,03	0,02	7,74	0,97			
7	0,16	0,06	0,02	7,90	0,99			
8	0,10	–	0,01	8,00	1,00			
Eigenvectors (loadings)								
Variable	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6	PC 7	PC 8
HR	0,32	–0,22	0,17	0,76	0,47	–0,02	0,12	0,09
RS	0,38	–0,33	0,02	–0,34	0,21	0,07	–0,65	0,40
FS	0,34	–0,56	–0,05	–0,16	–0,40	0,06	0,58	0,22
FI	0,34	0,38	0,16	0,37	–0,68	0,01	–0,26	0,22
LE	0,41	–0,08	–0,28	0,02	–0,06	0,45	–0,15	–0,72
IA	0,40	0,06	0,10	–0,18	0,03	–0,82	0,01	–0,34
I	0,30	0,45	–0,71	–0,05	0,22	–0,02	0,22	0,32
EE	0,31	0,42	0,59	–0,34	0,25	0,34	0,30	0,02
Ordinary correlations								
	HR	RS	FS	FI	LE	IA	I	EE
HR	1,00							
RS	0,57	1,00						
FS	0,53	0,77	1,00					
FI	0,53	0,47	0,46	1,00				
LE	0,64	0,79	0,74	0,66	1,00			
IA	0,59	0,78	0,67	0,67	0,77	1,00		
I	0,35	0,47	0,33	0,51	0,69	0,59	1,00	
EE	0,40	0,56	0,35	0,59	0,52	0,69	0,40	1,00

2. Значения интегральных индексов инновационности *SII* и *MSII* для 2011 г.

Группа	Страна	Значение <i>SII</i>	Значение <i>MSII</i>	Позиция в рейтинге по <i>SII/MII</i>
Инновационные лидеры	Швеция	0,755	0,728	1/1
	Дания	0,724	0,685	2/2
	Германия	0,700	0,664	3/3
	Финляндия	0,691	0,662	4/4
Инновационные последователи	Бельгия	0,621	0,631	5/5
	Великобритания	0,620	0,565	6/9
	Нидерланды	0,596	0,572	7/7
	Австрия	0,595	0,604	8/6
	Люксембург	0,595	0,569	9/8
	Ирландия	0,582	0,515	10/11
	Франция	0,558	0,550	11/10
	Словения	0,521	0,515	12/12
	Кипр ⁴	0,509	0,435	13/16
	Эстония	0,496	0,508	14/13
	Италия	0,441	0,440	15/15
	Португалия	0,438	0,452	16/14
	Чешская Республика	0,436	0,390	17/17
	Испания	0,406	0,377	18/18
Умеренные инноваторы	Венгрия ⁵	0,352	0,257	19/20
	Греция	0,343	0,336	20/19
	Мальта	0,340	0,231	21/22
	Словакия	0,305	0,225	22/23
	Польша	0,296	0,224	23/24
Догоняющие инноваторы	Румыния	0,263	0,185	24/26
	Литва	0,255	0,235	25/21
	Болгария	0,239	0,186	26/25
	Латвия	0,230	0,172	27/27

⁴ По значению модифицированного индекса Кипр должен быть отнесен к умеренным инноваторам.

⁵ По значению модифицированного индекса Венгрия, Мальта, Словакия и Польша должны быть отнесены к группе “Догоняющие инноваторы”.

3. Листинг из программы Eviews 7.0. Результат оценки уравнения (8)

Dependent Variable: MSII

Method: Least Squares

Sample (adjusted): 1 172

Included observations: 85 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X1.1.3_U	0,06	0,00	19,37	0,00
X1.2.2_U	0,14	0,01	16,68	0,00
X1.2.3_U	0,06	0,00	16,07	0,00
X1.3.1_U	0,06	0,01	10,03	0,00
X1.3.2_U	0,09	0,00	18,75	0,00
X2.1.1_U	0,10	0,01	12,61	0,00
X2.1.2_U	0,02	0,00	3,68	0,00
X2.2.1_U	0,05	0,01	4,24	0,00
X2.2.2_U	0,03	0,00	6,23	0,00
X2.2.3_U	0,04	0,01	7,12	0,00
X2.3.2_U	0,03	0,01	3,73	0,00
X2.3.4_U	0,05	0,00	13,88	0,00
X3.1.1_U	0,11	0,01	10,87	0,00
X3.1.2_U	0,05	0,00	9,70	0,00
X3.2.2_U	0,02	0,00	5,18	0,00
X3.2.5_U	0,03	0,01	3,78	0,00
R-squared	0,999	Mean dependent var		0,45
Adjusted R-squared	0,999	S.D. dependent var		0,17
S.E. of regression	0,005	Akaike info criterion		-7,78
Sum squared resid.	0,001	Schwarz criterion		-7,32
Log likelihood	346,5	Hannan-Quinn criter.		-7,59
Durbin-Watson stat	2,22			

Integrated Assessment of Innovation Performance by Methods of Multivariate Statistics (Case of European Union)

S.A. Balashova, E.J. Khrustalev

The indicators of innovation performance of EU countries tested and evaluated by methods of multivariate statistical analysis. It is shown that the modified method of principal components to create the summary innovation index gives the ability to emphasize the most significant factors, which can be regarded as growing-points of innovation development.

Keywords: innovative capacity, innovation indexes, methodology of index creation, modified method of principal components.

JEL Classification: C23, C43, C51.