Вестник ЦЭМИ РАН. 2018-2023

ISSN 2658--3887

URL - <http://cemi.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 1 Том 1. 2018

Количественная оценка инновационной активности на микроуровне: непараметрический подход

Светлов Николай Михайлович

Центральный экономико-математический институт РАН

Российская Федерация, Москва

Аннотация

Предложен новый показатель инновационной активности хозяйствующего субъекта, отражающий изменение его положения в пространстве ресурсов и продукции по отношению к смещающейся границе производственных возможностей. Разработана итеративная процедура определения этого показателя и скорректированных с его учётом показателей технологической эффективности, использующая видоизменённую DEA-задачу линейного программирования.

Ключевые слова: инновационная активность, граница производственных возможностей, DEA, технологический уклад, технологическая эффективность

Дата публикации: 20.11.2018

Ссылка для цитирования:

Светлов Н. М. Количественная оценка инновационной активности на микроуровне: непараметрический подход // Вестник ЦЭМИ РАН. – 2018. – Т. 1. – Выпуск 1. URL: <https://cemi.jes.su/s111111110000049-6-1/>. DOI: 10.33276/S0000049-6-1

¹ **Введение.** В статье (Дементьев, 2015) приводятся аргументы в пользу сохранения в условиях постиндустриальной экономики закономерной периодичности смены технологических укладов. Отмечается, что процесс замещения одного уклада другим происходит в определённой последовательности. В.Е. Дементьев, в частности, пишет: «Анализ закономерностей технологического

развития показывает, что первоначально роль новой технологии широкого применения сводится к замене некоторых составляющих уже существующих технологий. Эффект такой замены определяется в основном синергией от внедрения в существующий технологический уклад отдельных фрагментов будущего уклада. В дальнейшем на первый план выходит синергия от взаимодополняющих изобретений и разработок, относящихся к новой технологии широкого применения. В результате появляются принципиально новые технологии и продукты». Приводимые в монографии (Устюжанина и Дубовик, ред., 2016) факты и данные приводят к выводу, что в российской экономике становление нового технологического уклада протекает, с одной стороны, в согласии с «эмпирическими правильностями», установленными Н.Д. Кондратьевым (1925), а с другой стороны, для этого процесса характерна, в согласии с позицией В.Е. Дементьева, неоднородность темпов в территориальном, отраслевом и внутриотраслевом аспектах.

² Сложность процесса смены технологических укладов, различие факторов, определяющих его темп на разных его фазах (Дементьев, 2016), асинхронность его протекания в разных отраслях, различная длительность адаптации бизнеса к происходящим переменам в зависимости от отраслевой принадлежности, размера предприятия, степени диверсификации его деятельности, качества человеческого капитала — всё это требует от экономистов, во-первых, научиться достаточно надёжно измерять инновационную активность хозяйствующих агентов, а во-вторых, проводить мониторинг динамики внутренних резервов хозяйствующих субъектов, вовлечённых в процессы технологических перемен.

³ Измерение инновационной активности очень важно для практической научно-технической политики: возможность получения объективных и надёжных оценок такого рода — ключ к существенному повышению эффективности государственных программ технологического обновления и развития.

⁴ Что касается мониторинга резервов повышения эффективности, в период смены технологических укладов потребность в нём резко возрастает. Из-за появления на рынке более передовых технологических решений устойчивое, многолетнее лидерство в эффективности использования ресурсов может моментально смениться безнадежным отставанием. Внимание к результатам такого мониторинга требуется как на уровне корпоративного менеджмента для своевременной корректировки стратегии развития фирмы и тактики борьбы за рынки, так и на уровне экономической политики для своевременного обнаружения проблем, захватывающих целые отрасли — таких, как ослабление позиций отрасли в конкуренции за отдельные виды ресурсов или массовое отставание её предприятий от зарубежных конкурентов в эффективности производства.

⁵ Один из широко распространённых приёмов такого мониторинга — data envelopment analysis (DEA) — непараметрический анализ технологической эффективности (technical efficiency) хозяйствующих субъектов (Farrell, 1957). Ниже мы аргументируем, что результаты такого анализа применимы лишь к тем хозяйствующим субъектам, о которых известно, что они либо вовсе не вовлечены в процесс технологических изменений, либо все они вовлечены в него в равной мере

(что едва ли совместимо с допущением различий в самой технологической эффективности).

6 В контексте смены технологических укладов методика DEA сталкивается с одним серьёзным затруднением. Известно (Nemoto & Goto, 2003), что классический анализ технологической эффективности хозяйствующих субъектов, выполняемый в статической постановке, предполагает, будто субъект способен *моментально* корректировать объёмы условно-постоянных ресурсов, поддерживая их оптимальный уровень. Это, в частности, означает, что хозяйствующие субъекты, инвестирующие в собственное развитие — например, в накопление ресурсов или в освоение новых технологий — получают, при прочих равных условиях, меньший рейтинг в сравнении с теми, кто нацелен только на максимальные продажи в текущем периоде. Этот недостаток отчасти преодолевают методики DDEA, основанные на динамической границе производственных возможностей, как, например, (Nemoto & Goto, 1999; Svetlov & Hockmann, 2007): они принимают во внимание приращение ресурсной базы субъекта. Однако субъект, *осваивающий инновации*, и в этом случае получит, при прочих равных условиях, худшую оценку технологической эффективности, чем субъект, ничего не меняющий в своей хозяйственной деятельности: какая-то часть ресурсов первого из них окажется связана в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, результат которых до их завершения остаётся неосвязаемым, и на тот же объём ресурсов будет приходиться меньше статистически наблюдаемого выпуска и приращения условно-постоянных ресурсов, чем у конкурентов. Таким образом, граница производственных возможностей, построенная любым из вышеупомянутых способов, представляет собой границу *только для субъектов, не вовлечённых в инновационную деятельность*, и не несёт информации о том, какими технологическими возможностями обладает субъект с таким-то ресурсным потенциалом, если он инновационную деятельность осуществляет.

7 В данной статье предлагается методический подход, который при определённых предположениях устраняет этот недостаток классических показателей технологической эффективности, а вдобавок даёт возможность количественного измерения технологических улучшений с позиций хозяйствующего субъекта: насколько меньше был бы выпуск (в заданном ассортименте), если бы технология осталась неизменной.

8 **Теория.** Пусть хозяйствующий субъект осуществляет производственные процессы $\mathbf{x}_0 = (\mathbf{a}_0 \mid \mathbf{b}_0 \mid \Delta \mathbf{a}_0)$ в период $t = 0$ и $\mathbf{x}_1 = (\mathbf{a}_1 \mid \mathbf{b}_1 \mid \Delta \mathbf{a}_1)$ в период $t = 1$. Здесь вертикальная черта означает конкатенацию векторов; $\mathbf{a}_t$ — вектор количества ресурсов (по видам), задействованных либо израсходованных в соответствующем периоде; $\mathbf{b}_t$ — вектор объёмов произведённой продукции (по видам); $\Delta \mathbf{a}_t$ — вектор приращений ресурсов (по видам).

9 Положим, что $\mathbf{x}_t \geq \mathbf{0}$ (в части компонентов вектора $\Delta \mathbf{a}_t$ это условие чрезмерно, и для них его можно опустить, выписав более пространные формулы в сравнении с нижеследующими). В пространстве ресурсов, продукции и приращений ресурсов для обоих периодов зададим границы производственных

возможностей – соответственно F_0 и F_1 . Пусть, далее, $y_{t\tau}$ — проекция вектора x_t на границу производственных возможностей F_τ из точки $z_t = (a_t \mid 0 \mid 0)$. Наконец, определим показатели

10

$$u_{t\tau} = \frac{\|x_t - z_t\|}{\|y_{t\tau} - z_t\|},$$

11 где запись $\|\cdot\|$ означает евклидову норму вектора.

12 Когда имеет место $t = \tau$ и $\Delta a_t = 0$, показатели $u_{t\tau}$ суть коэффициенты технологической эффективности. Если опустить требование $\Delta a_t = 0$, то $u_{t\tau}$ отражают эффективность трансформации ресурсов в продукцию с учётом воспроизводства ресурсной базы. Допуская некоторую вольность, будем пользоваться термином «технологическая эффективность» и в этом случае.

13 При технологии с границей F_1 ресурсы a_0 можно трансформировать в выпуски не меньшие, чем b_0 / u_{01} , и получить прирост ресурсов не меньший, чем $\Delta a_0 / u_{01}$. Зафиксировав технологическую эффективность изучаемого хозяйствующего субъекта на уровне u_{00} , правомерно отнести эффекты в размерах $u_{00}b_0 / u_{01}$ и $u_{00}\Delta a_0 / u_{01}$ на счёт различия между границами производственных возможностей F_0 и F_1 . Таким образом, если технологическая эффективность не меняется во времени, то есть $u_{00} = u_{11}$, то показатель u_{01} / u_{00} представляет собой меру влияния технологических изменений, произошедших в периоде 1 в сравнении с периодом 0, на хозяйственную деятельность субъекта, располагающего ресурсами a_0 . Если технологические изменения прогрессивны, этот показатель не превосходит единицы. Он показывает, чему равен потенциальный выпуск (в заданном ассортименте) субъекта с ресурсами a_0 и технологической эффективностью u_{00} при технологии с границей F_0 , если принять за единицу выпуск (в том же ассортименте) субъекта с теми же ресурсами и той же технологической эффективностью при технологии с границей F_1 . Обратное отношение u_{00} / u_{01} — это норматив роста выпуска в периоде 1 в сравнении с периодом 0. На эту величину возрастет выпуск хозяйствующего

субъекта (в ассортименте, включая прирост ресурсов) в случае, если его технологическая эффективность и ресурсы останутся прежними.

¹⁴ Показатель u_{00} / u_{01} полезен сам по себе; но особенно интересна связанная с ним возможность оценить инновационную активность хозяйствующего субъекта. Для этого сравним величины обратимся к его хозяйственной деятельности в период 1 в сравнении с периодом 0. Переход от величины $\|x_0 - z_0\|$ к величине $\|x_1 - z_1\|$ можно представить следующим образом:

¹⁵

$$\begin{aligned} \|x_1 - z_1\| &= \|x_0 - z_0\| \cdot \frac{\|y_{00} - z_0\|}{\|x_0 - z_0\|} \cdot \frac{\|y_{01} - z_0\|}{\|y_{00} - z_0\|} \cdot \frac{\|y_{11} - z_1\|}{\|y_{01} - z_0\|} \cdot \frac{\|x_1 - z_1\|}{\|y_{11} - z_1\|} = \\ &= \|x_0 - z_0\| \cdot \frac{1}{u_{00}} \cdot \frac{u_{00}}{u_{01}} \cdot \frac{\|y_{11} - z_1\|}{\|y_{01} - z_0\|} \cdot u_{11} \end{aligned}$$

¹⁶ Отсюда

¹⁷

$$\frac{\|x_1 - z_1\|}{\|x_0 - z_0\|} = \frac{u_{00}}{u_{01}} \cdot \frac{u_{11}}{u_{00}} \cdot \frac{\|y_{11} - z_1\|}{\|y_{01} - z_0\|}$$

¹⁸ Таким образом, относительное различие в объёмах выпусков (в заданном ассортименте, вкупе с прибавками ресурсов) в периоды 0 и 1 раскладывается на три множителя: вышеуказанный норматив роста выпуска в условиях технологических изменений; параметр отклонения от этого норматива, образованный отношением показателей технологической эффективности субъекта в периоды 1 и 0; эффект изменения ресурсной базы с a_0 на a_1 .

¹⁹ Показатель u_{00} / u_{01} не зависит от деятельности анализируемого субъекта: он выражает изменение границы производственных возможностей. Если его рассматривать с позиций интересов субъекта, то он отражает изменение (при $u_{00} / u_{01} > 1$ — ужесточение) условий конкурентной борьбы в связи с технологическими изменениями, то есть служит мерой одного из изменений во внешней среде субъекта. Второй множитель u_{11} / u_{00} характеризует приспособление субъекта к этому изменению. Если это соотношение равно единице, хозяйствующий субъект в период 1 получает ту же относительную прибавку к выпуску (в ассортименте) к периоду 0, что и технологические лидеры, функционирующие на границе производственных возможностей. При большем значении можно говорить о догоняющем развитии данного субъекта. Однако и

этот показатель не служит характеристикой усилий хозяйствующего субъекта по улучшению своих конкурентных позиций за счёт повышения отдачи от ресурсов, то есть его инновационной активности. В самом деле, если в исследуемой совокупности хозяйствующих субъектов наблюдается технологический прогресс, то инновационная активность субъекта, когда она недостаточно интенсивна, не страхует от нарастающего отставания от лидеров, но, тем не менее, связывает некоторую часть его ресурсов.

²⁰ Подходящей мерой усилий, которые предприняты субъектом вначале для того, чтобы его технологическое отставание не возрастало, а затем – чтобы оно сокращалось, служит произведение двух рассмотренных выше показателей, то есть u_{11} / u_{01} . Этот показатель равен единице, когда фирма сохраняет неизменными технологические возможности периода 0, то есть ничего не предпринимает для повышения эффективности преобразования ресурсов в продукцию (вкуче с прибавкой ресурсов). При наличии инновационной активности он больше единицы, при утрате технологических возможностей – меньше.

²¹ Далее воспользуемся вместо отношения u_{11} / u_{01} его логарифмом $h = \ln u_{11} - \ln u_{01}$. Логарифм имеет то преимущество, что распределён на интервале $(-\infty; \infty)$ и при отсутствии инновационной активности хозяйствующего субъекта имеет нулевое значение. Назовём величину h *показателем инновационной активности* данного субъекта.

²² **Использование показателя инновационной активности в ДЕА-модели.** Как отмечалось выше, в традиционном анализе технологической эффективности хозяйствующие субъекты при прочих равных условиях получают тем меньший рейтинг, чем выше их инновационная активность. Эта неточность имеет место, если только не удалось каким-то способом исключить из объёма ресурсов каждого субъекта ту часть, которая отвлечена на инновационную деятельность. В известных автору эмпирических исследованиях технологической эффективности такая поправка не делается. Ниже предлагается другой способ, не нуждающийся в данных о ресурсах, вовлечённых в освоение инноваций. Для него требуются: (1) данные как минимум трёх периодов по одной и той же совокупности субъектов (за третий период нужны только данные о ресурсах); (2) выполнение условия $h \geq 0$ для всех субъектов; достаточные основания для предположений о том, что (3) с течением времени показатели инновационной активности каждого субъекта изменяются несущественно и (4) мера h линейно однородна первой степени по затратам ресурсов на инновационную активность. Второе и третье требования можно ослабить, но для целей данной статьи в этом нет необходимости. Четвёртое требование тоже можно смягчить, сформулировав его по отношению не к самой мере h , а к подходящей функции от неё, после чего соответствующим образом изменив процедуру, описанную ниже.

²³ Если указанные условия выполнены, то для построения границы производственных возможностей можно применить итеративный процесс. Вначале для каждого субъекта n решаются по четыре ДЕА-задачи вида

$$\min_{\lambda_{nt\tau}, u_{nt\tau}} (u_{nt\tau} \mid \mathbf{A}_\tau \leq \mathbf{a}_{nt}; u_{nt\tau} \mathbf{B}_\tau \lambda_{nt\tau} \geq \mathbf{b}_{nt}; u_{nt\tau} \mathbf{C}_\tau \lambda_{nt\tau} \geq \Delta \mathbf{a}_{nt}; \lambda_{nt\tau} \geq \mathbf{0})$$

²⁵ для случаев $t = \tau = 0$; $t=0$ и $\tau = 1$; $t=1$ и $\tau = 0$; $t = \tau = 1$. Здесь, как обычно в задачах DEA, $\lambda_{nt\tau}$ — переменный вектор интенсивности эмпирических технологических процессов, матрица $\mathbf{A}_\tau$ состоит из векторов $\mathbf{a}_{nt}$ для всех n , матрица $\mathbf{B}_\tau$ — аналогично из всех векторов $\mathbf{b}_{nt}$, матрица $\mathbf{C}_\tau$ — из всех векторов $\Delta \mathbf{a}_{nt}$. Обозначения с индексом n аналогичны по смыслу введённым выше соответствующим обозначениям, не содержащим этот индекс. Наряду с вышеприведённой, в зависимости от содержания решаемой аналитической задачи можно использовать и другие спецификации задач DEA: например, с переменным или невозрастающим эффектом масштаба. По результатам решений, полученных после приведения задачи к линейной форме, рассчитываются оценки показателей инновационной активности $\hat{h}_n = \ln u_{n11} - \ln u_{n01}$. Эти оценки смещённые, поскольку определённые DEA-задачами непараметрические границы производственных возможностей ещё не учитывают затраты ресурсов на инновационную активность.

²⁶ Затем определяются векторы

²⁷

$$\mathbf{a}'_{nt} = e^{-\hat{h}_n} \mathbf{a}_{nt}$$

²⁸ и матрицы $\mathbf{A}'_\tau = (\mathbf{a}'_{nt})$, после чего в вышеприведённой формулировке DEA-задачи матрицы $\mathbf{A}_\tau$ заменяются на $\mathbf{A}'_\tau$, векторы $\mathbf{a}_{nt}$ на $\mathbf{a}'_{nt}$, и получившиеся задачи вновь решаются для каждого субъекта. По результатам решения вновь корректируются векторы $\mathbf{a}'_{nt}$ и матрицы $\mathbf{A}'_\tau$, и процесс продолжается до выполнения заданного критерия сходимости оценок $\hat{h}_n$. В результате получаем, во-первых, количественные показатели технологического прогресса в разрезе хозяйствующих субъектов, во-вторых, показатели технологической эффективности, откорректированные на инновационную активность.

²⁹ Существенный недостаток предложенного подхода — в принципе устранимый, но ценой дополнительных предположений и при наличии данных за длительный период — связан с тем, что показатель h , равно как и приросты $\Delta \mathbf{a}_{nt}$, в реальности зачастую обусловлен затратами ресурсов не в одном только предшествующем периоде, а в течение продолжительного срока.

³⁰ Вопрос об условиях сходимости итерационного процесса приближения к границе производственных возможностей, учитывающей инновационную активность, в настоящее время не решён. Он требует дополнительных исследований.

³¹ **Терминологическое замечание.** Поскольку приросты ресурсов Δa_t требуют, как правило, товарно-денежных операций, а не только производственных, термины «граница производственных возможностей», «технология», «технологическая эффективность» использованы выше в расширительном смысле. Более подходящими к рассмотренному случаю могли бы быть термины «граница хозяйственных возможностей», «хозяйственная деятельность», «хозяйственная (или деловая) эффективность».

³² **Заключение.** Исследование, представленное выше, привело к двум результатам. Первый результат — построение нового показателя инновационной активности хозяйствующего субъекта, который, в отличие от известных — например, (Кулакин, 2004), — непосредственно оценивает изменение положения этого субъекта относительно границы производственных возможностей, принимая во внимание то обстоятельство, что эта граница тоже меняет своё положение. Второй — разработка (на концептуальном уровне) новой разновидности непараметрической методики анализа технологической эффективности DEA, отличающейся от известных способностью в явной форме учитывать объективную потребность в ресурсах на осуществление инновационной деятельности.

В отсутствие второго результата первый имеет только умозрительную ценность: ведь определение предлагаемого показателя допускает, что две границы производственных возможностей — прежняя и новая — известны. Стандартные процедуры идентификации моделей границ производственных возможностей, вообще говоря, надёжны только тогда, когда для всех агентов, по данным которых осуществляется идентификация, имеет место $h = 0$. Предложенная методика, во-первых, распространяет область применения анализа DEA на ситуацию, когда $h \neq 0$, а во-вторых, позволяет оценить сам показатель h .

Предложенная методика имеет ценность ещё и для прикладных оптимизационных задач с представлением технологий в форме границы производственных возможностей, подобных, например, модели территориально-отраслевой структуры сельского хозяйства России (Светлов и др., 2018). Определив перед составлением таких моделей показатели инновационной активности h , их можно включить в формулировку числовой модели оптимального планирования подобно условно-постоянному ресурсу. Если эту идею удастся довести до практической реализации, то достоверность результатов сценарного анализа, проводимого при помощи таких моделей, может существенно улучшиться.

Библиография:

1. Farrell M.J. The measurement of productive efficiency // Journal of Royal Statistical Society: Series A (General). 1957. №3. P.253-290.

2. Nemoto J., Goto M. (1999) Dynamic data envelopment analysis: modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies // Economics Letters. 1999. №64. P.51-56.
3. Nemoto J., Goto M. Measurement of Dynamic Efficiency in Production: An Application of Data Envelopment Analysis to Japanese Electric Utilities // Journal of Productivity Analysis. 2003. Vol. 19. P. 191–210.
4. Ориентиры развития российской экономики: монография / Под ред. Е.В. Устюжаниной, М.В. Дубовик. Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2016. 256 с.
5. Дементьев В.Е. Постиндустриальная экономика и кондратьевские волны // Кондратьевские волны. 2015. №4. С. 65-82.
6. Дементьев В.Е. Технологическая неоднородность производства и цикличность экономического развития // Журнал экономической теории. 2016. №3. С. 39-50.
7. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры // Вопросы конъюнктуры. 1925. Т.2. Вып. 1. С. 28-79.
8. Svetlov N., Hockmann H. Long-term efficiency of the Moscow region corporate farms during transition (evidence from dynamic DEA) // Economic transition in midlife: lessons from the development of markets and institutions [Электронный ресурс]. Portorož, Slovenia, 2007. URL: <http://www.chinacces.org/files/conference18/Paper/2007418115825.doc> (дата обращения: 29.08.2018).
9. Кулакин Г.К. Научно-технологический потенциал отраслей: инновационная активность организаций // Проблемы прогнозирования. 2004. № 1. С. 133-145.
10. Светлов Н.М., Сиптиц С.О., Романенко И.А. Как улучшить размещение отраслей сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2018. №3. С.13-19.

Quantitative measure of innovation activity on the micro level: a non-parametric approach

Nikolai Svetlov

CEMI RAS

Russian Federation, Moscow

Abstract

A new measure of innovation activity of a decision making unit is introduced. It reflects the shift of the unit in the input-output space relative to the expanding production frontier. To estimate this measure, an iterative procedure is developed making use of a modified DEA linear program. This procedure also estimates technical efficiency scores adjusted for the innovation activity of the specific unit.

Keywords: innovation activity, production frontier, DEA, techno-economic paradigm, technical efficiency

Date of publication: 20.11.2018

Citation link:

Svetlov N. Quantitative measure of innovation activity on the micro level: a non-parametric approach // Herald of CEMI. – 2018. – V. 1. – Issue 1.

URL: <https://cemi.jes.su/s11111110000049-6-1/>. DOI: 10.33276/S0000049-6-1