

## МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ НАСЛОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ШИРОКОГО ПРИМЕНЕНИЯ<sup>1</sup>

Макроэкономика стремится понять источники и природу неравномерности экономического роста. Преобладающей является точка зрения, что в динамике выпуска не наблюдается никакой регулярности, кроме сезонных колебаний (Ромер, 2015). Как следствие, за рамки современной макроэкономики выводятся исследования циклов разной длины (Китчина, Жюгляра, Кузнеца, Кондратьева). Внимание фокусируется на динамике экономических показателей после случайных макроэкономических шоков. Их источниками могут быть технологические и организационные инновации, а, в конечном счете, исследования и разработки. Однако, как правило, вне макроэкономических курсов остается анализ специфики влияния на экономическое развитие таких инноваций, как технологии широкого применения (General Purpose Technologies - GPT).

Этот анализ проливает новый свет на формирование экономических циклов. Речь идет о том, что разработка и организация производства необходимых для новой GPT ресурсов может требовать временного снижения выпуска готовой продукции (Helpman and Trajtenberg, 1998). Спрос на такие ресурсы со стороны уже используемых GPT повышает вероятность перехода к новой GPT (Eriksson and Lindh, 2000). Значительная часть старых GPT продолжает использоваться и после внедрения новых технологий широкого применения. Происходит их своего рода наслаивание.

Актуальной задачей остается раскрытие того, как формируется продолжительность цикла обновления технологической базы производства при ее сохраняющейся неоднородности в условиях, когда ослабляются ограничения на финансовые ресурсы, не фиксируются априори сроки использования разных GPT.

В этой связи дополнительного внимания требует учет инфраструктурных обстоятельств экономической динамики. Не только человеческие ресурсы, но и разные составляющие инфраструктуры приобретают все возрастающее значение в социально-экономическом развитии. Однако зависимость степени реализации потенциала GPT от состояния необходимой для этого инфраструктуры, специфика влияния инфраструктурных объектов на выпуск продукции, на цикличность

---

<sup>1</sup> Исследование выполнено при поддержке РГНФ (проект № 14-02-00330).

экономического развития пока слабо отражены в моделях экономического роста.

Вниманию предлагается модель пересекающихся технологических поколений, наслаивающихся GPT. В отличие от известной модели пересекающихся поколений Даймонда, где люди имеют фиксированный срок жизни, здесь продолжительность существования отдельных технологий не задается экзогенно. Учитывается условно-постоянный характер затрат на формирование инфраструктуры, необходимой для реализации потенциала GPT.

Использование логистических кривых – достаточно стандартный прием для описания динамики технологического развития. Логистические кривые описывают кумулятивный рост с насыщением, наблюдаемый и биологических, и в экономических системах. В экономике насыщение может соответствовать постепенному исчерпанию потенциала используемой технологии. Обычно логистическая функция используется для описания роста системы во времени:

$$y(t) = \frac{A}{1 + de^{-bt}}$$

Здесь  $A$  характеризует потенциал роста системы (наращивания выпуска при данной технологической базе производства),  $d$  – задает стартовые позиции при начале выпуска продукции,  $b$  влияет на скорость исчерпания потенциала.

В логистической форме можно рассматривать и зависимость годового выпуска  $y$  от количества вовлеченных в производство ресурсов  $z$  (где  $z$  – цена этого количества ресурсов):

$$y(z) = \frac{A}{1 + de^{-bz}}$$

При этом в логистической функции в качестве  $z$  фигурирует только часть ресурсов, непосредственным образом определяющая количество произведенной продукции/услуг. Отдельно предлагается учитывать ресурсы  $c$  (где  $c$  – цена ресурсов) в виде инфраструктуры производства, создание которой рассматривается как предварительное условие для его начала. Так объем услуг железнодорожного транспорта опосредованно связан с протяженностью железных дорог, а непосредственно – с количеством эксплуатируемого подвижного состава. Объем выпускаемой продукции промышленного предприятия прямо зависит от количества используемого оборудования, опосредовано – от затрат на возведение (аренду) производственных зданий.

При таких допущениях годовой экономический эффект от использования некоторой технологии можно представить следующим образом:

$$y(z) - r(z + c) = \frac{A}{1 + de^{-bz}} - r(z + c),$$

где  $r(z+c)$  – годовые расходы на использование соответствующих ресурсов. Если, как уже оговаривалось, исходить из отсутствия жестких ограничений на привлечение финансовых ресурсов, то можно допустить формирование ресурсной базы производства за счет кредитных ресурсов, а параметр  $r$  в рассматриваемой формуле годового экономического эффекта интерпретировать как ставку процента по соответствующим кредитам. Другая возможная трактовка этой формулы – экономический эффект при аренде производственных ресурсов, а  $r$  – годовые ставки арендной платы.

Величина  $c$  общих затрат на создание инфраструктуры принимается фиксированной на уровне, позволяющем обеспечить раскрытие потенциала соответствующей технологии. Чем сильнее влияние сетевых эффектов на использование некоторой технологии, тем проблематичней достижение успехов в ее применении при плавном наращивании необходимой инфраструктуры. Очевидно, электромобили будут занимать относительно узкую нишу на автомобильном рынке, пока инфраструктура в виде подзарядных станций не охватит основную сеть автомобильных дорог.

Расходы на необходимую инфраструктуру оказывают сдерживающее влияние на распространение новой GPT. В XIX веке неготовность портовой инфраструктуры к эффективному использованию крупных пароходов (GPT на основе парового двигателя) препятствовала более быстрому переходу к их широкому использованию. В том же веке роль катализатора технологической революции в США сыграло форсированное сооружение железных дорог. С 1880 по 1890 г. их протяженность увеличилась с 93267 миль до 163597 миль. «Модель Т» Генри Форда вошла в историю автомобилестроения. С 1 октября 1908 г. за 19 лет в США продано 15 007 033 автомобилей «Модель Т» Генри Форда. Один из факторов этого – то, что в начале 1920-х годов в США резко возросло строительство дорог.

На готовность экономики активно внедрять новые технологии влияют как величина необходимых вложений в соответствующую инфраструктуру, так и темпы совершенствования этих технологий, включая расширение сферы их применения. Такое совершенствование можно трактовать как постепенное формирование потенциала  $A$ . Представим это формирование в виде еще одной логистической кривой, но уже как функцию от фактора времени:

$$A(t) = \frac{A}{1+qe^{-st}}.$$

Условием ненулевого экономического эффекта от использования новой технологии является выполнение неравенства:

$$\frac{A}{(1+qe^{-st})(1+de^{-bz})} - r(z+c) > 0.$$

Отсюда можно получить некоторый ориентир относительно того, к какому времени  $T$  потенциал новой технологии достигнет порогового

значения  $A(T)$ , обеспечивающего положительный экономический эффект от использования этой технологии. Условием получения такого эффекта является выполнение неравенства:

$$\frac{A}{1 + qe^{-st}} > r(z + c)(1 + de^{-bz}).$$

Даже если  $z=0$ , должно выполняться

$$\frac{A}{1 + qe^{-st}} > rc(1 + d),$$

что после преобразований приводит к неравенству:

$$t > \frac{1}{s} \ln \left[ q \left( \frac{A}{rc(1 + d)} - 1 \right)^{-1} \right]$$

Если, например,  $A=30$ ,  $d=10$ ,  $r=0,05$ ,  $c=40$ ,  $q=10$ ,  $s=0,2$ , то неравенство выполняется при всех  $t \geq T$ , где  $T=17$ . Чем лучше начальное состояние технологии (меньше  $q$ ) и чем быстрее она совершенствуется (больше  $s$ ), тем скорее потенциал новой технологии достигает уровня, при котором экономически оправдано ее использование. Если  $q=5$ ,  $s=0,4$ , то  $T=7$ . Подобный эффект имеет и удешевление требуемых для новой технологии ресурсов, снижение ставок арендных платежей за такие ресурсы.

Более сложным является вопрос об экономической оправданности наложения технологий разных ГРТ. Допустим, что потенциальные возможности технологий, представляющих две пересекающиеся ГРТ, уже определились:  $A_1$  – потенциал первой из них,  $A_2$  – второй. Пусть финансовые возможности привлечения ресурсов  $K$ , необходимых для этих ГРТ, ограничены величиной  $rK$ :

$$r(z_1 + c_1) + r(z_2 + c_2) \leq rK.$$

$rK$  допустимо интерпретировать и как арендные платежи за ресурсы  $K$ , и как проценты по кредиту  $K$ .

Обозначив  $z_1 + c_1$  через  $x_1$ , а  $z_2 + c_2$  через  $x_2$ , задачу оптимального распределения ресурсов между рассматриваемыми технологиями можно представить следующим образом:

$$\frac{A_1}{1 + de^{-b(x_1 - c_1)}} - rx_1 + \frac{A_2}{1 + de^{-b(K - x_1 - c_2)}} - r(K - x_1) \rightarrow \max$$

$$x_1 + x_2 \leq K, \quad x_1 \geq c_1, \quad x_2 \geq c_2.$$

Обозначим через  $H$  соотношение  $A_2/A_1$ . Тогда необходимым условием экстремума в точке  $x_1$  при  $0 < x_1 < K$  и  $x_2 = K - x_1$  является:

$$e^{bx_1} = \frac{e^{b(K - c_2)} - dH^{0,5} e^{0,5b(K + c_1 - c_2)}}{dH^{0,5} e^{0,5b(K - c_1 - c_2)} - d^2}.$$

Отсюда  $x_1 = b^{-1} \ln Q,$

где  $Q = \frac{e^{b(K - c_2)} - dH^{0,5} e^{0,5b(K + c_1 - c_2)}}{dH^{0,5} e^{0,5b(K - c_1 - c_2)} - d^2}.$

Если, например,  $H=4$ ,  $d=10$ ,  $b=0,3$ ,  $K=100$ ,  $c_1=20$ ,  $c_2=40$ , то  $x_1=29,9$ ,  $x_2=70,1$ .

Если ограничение на привлечение ресурсов отсутствует, то при  $d=10$ ,  $b=0,3$ ,  $c_1=20$  и  $A_1=400$  оптимальное  $x_1=33,6$ , при  $A_2=1600$  и  $c_2=40$  оптимальное  $x_2=78,2$ . Следовательно, при таких исходных параметрах и введении ограничения  $x_1 + x_2 \leq K$ , все ресурсы  $K=100$  будут использованы полностью.

Выражение для  $Q$  позволяет представить, как соотношение потенциалов соответствующих технологий ( $H=A_2/A_1$ ) влияет на активность использования старой GPT и, соответственно, на меру переключения экономики на новую GPT. Перераспределение ресурсов в пользу новой технологии усиливается по мере увеличения этого соотношения.